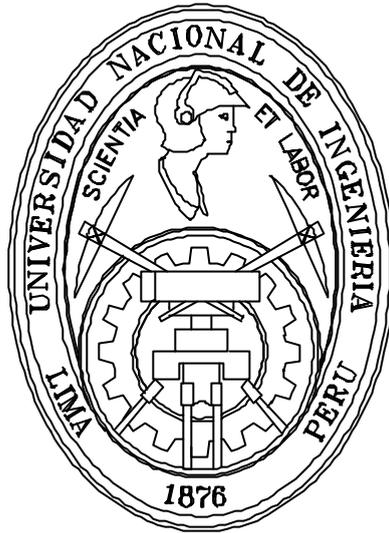


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**«GESTION DE CALIDAD APLICADA
AL PROCESO DE SOLDADURA
PARA EL PROYECTO GAS DE CAMISEA»**

PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR
EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

FAUSTO LEANDRO QUIVOY PERALTA

PROMOCION 1997-I
LIMA-PERU
2004

CONTENIDO

PROLOGO

- 1 INTRODUCCION
 - 1.1 Generalidades
 - 1.2 Alcance
 - 1.3 Premisas
 - 1.4 Resumen ejecutivo
 - 1.5 Terminología

- 2 PROYECTO CAMISEA
 - 2.1 Contexto general del proyecto Camisea
 - 2.1.1 Explotación de los yacimientos
 - 2.1.2 Recorrido del gasoducto
 - 2.2 Gas Natural para Lima y Callao
 - 2.3 Línea del gasoducto para Lima y Callao

- 3 GESTION DE CALIDAD
 - 3.1 La calidad, evolución conceptual y enfoques de gestión
 - 3.2 Gestión de la calidad y organización
 - 3.3 Responsabilidad de la dirección
 - 3.4 Gestión de los recursos
 - 3.5 Realización del producto
 - 3.6 Medición análisis y mejora

- 4 NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS APLICABLES
 - 4.1 Especificaciones técnicas del proyecto
 - 4.2 Norma API 1104 aplicada al proyecto
 - 4.2.1 Proceso de soldadura
 - 4.2.2 Proceso de reparación
 - 4.2.3 Proceso de corte

5 PROCESOS DE SOLDADURA, REPARACION Y CORTE

5.1 Desarrollo de los procesos de soldadura

5.1.1 El ciclo térmico

5.1.2 Soldabilidad

5.1.3 Arco eléctrico

5.1.4 Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)

5.1.5 Proceso de soldadura GTAW

5.2 Procesos de corte de tubería

5.2.1 Clasificación y definición de los procesos de corte

5.2.2 Fundamento del proceso de oxicorte

5.2.3 Ventajas y desventajas del oxicorte

5.2.4 Recomendación para conseguir un corte de calidad

5.2.5 Regulación de la llama para corte

5.2.6 Procedimiento de corte manual

5.2.7 Procedimiento de corte automático

5.2.8 Equipo de corte automático (AUTO PICKLE-S)

5.3 Procesos de reparación de soldadura

5.3.1 Calidad de la soldadura

6 APLICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

6.1 Ensayos utilizados en el proyecto

6.2 Inspección visual

6.2.1 Inspección anterior a la soldadura

6.2.2 Inspección durante la soldadura

6.2.3 Inspección después de la soldadura

6.2.4 Resumen

6.3 Ultrasonido

6.3.1 Conceptos básicos

6.3.2 Efecto piezoeléctrico

6.3.3 Impedancia acústica

6.3.4 Palpadores y generadores de vibraciones

6.3.5 Ley de SNELL

6.3.6 Palpadores y generadores de vibraciones

6.3.7 Propagación de ondas y características de los diferentes medios de propagación

6.3.8 Métodos y sistemas del ensayo mediante ultrasonidos

- 6.4 Radiografía
 - 6.4.1 Ventajas y limitaciones del ensayo por radiografía industrial
 - 6.4.2 Equipos de radiografía industrial
 - 6.4.3 Equipo de radiación gamma
 - 6.4.4 Fuentes de radiación gamma
 - 6.4.5 La practica radiográfica
 - 6.4.6 Indicadores de calidad de imagen
 - 6.4.7 Defectos detectados por el método de radiografía industrial
 - 6.4.8 Evaluación
 - 6.4.9 Resumen de la ejecución del ensayo radiográfico

- 7 COSTOS EN PROCESOS DE SOLDADURA, REPARACION Y CORTE
 - 7.1 Costos relativos a la calidad
 - 7.2 Costos de calidad
 - 7.2.1 Costos de prevención
 - 7.2.2 Costos de evaluación
 - 7.3 Costos de no calidad
 - 7.3.1 Costos de fallas internas
 - 7.3.2 Costos de las fallas externas
 - 7.4 Análisis de costos de soldadura
 - 7.4.1 Constantes, parámetros y nomenclaturas
 - 7.4.2 Ejemplo de calculo de costo de soldadura para tuberías de \varnothing 20"
 - 7.4.3 Calculo de costo de soldadura para tubería de \varnothing 10%
 - 7.4.4 Calculo de costo de soldadura para tubería de \varnothing 8 "
 - 7.4.5 Calculo de costo de soldadura para tuberías de \varnothing 6 " y \varnothing 4½
 - 7.4.6 Resumen de costos de soldadura
 - 7.5 Análisis de costos para la reparación de soldadura
 - 7.5.1 Costo de reparación en la zona de raíz
 - 7.5.2 Costo de reparación en zona de relleno
 - 7.5.3 Costo de reparación en zona de cobertura
 - 7.5.4 Resumen de costos de reparación
 - 7.6 Análisis de costos para el corte de tuberías
 - 7.6.1 Ejemplo de calculo de costo para el corte de una junta de \varnothing 20"
 - 7.6.2 Resumen de costos de corte por junta
 - 7.6.3 Costo total del proyecto

7.7 Análisis de los resultados obtenidos

- 7.7.1 Interpretación de gráficas del capítulo 7
- 7.7.2 Definición del proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao
- 7.7.3 Definición del proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A"
- 7.7.4 Modelo óptimo de los costos de calidad
- 7.7.5 Costo total de calidad y grado de control
- 7.7.6 Costo por no tener implementado un sistema de gestión de calidad para un proceso de soldadura
- 7.7.7 Sistema de gestión de la calidad

CONCLUSION

BIBLIOGRAFIA

PLANOS

APENDICE

- Apéndice A: Manual de calidad
- Apéndice B: Procedimiento operativo de calidad
- Apéndice C: Instrucciones técnicas complementarias
- Apéndice D: Registros
- Apéndice E: Hoja técnica de material de aporte
- Apéndice F: Galería de fotos

PROLOGO

La decisión de realizar el tema de tesis «**GESTION DE CALIDAD APLICADA AL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL PROYECTO GAS DE CAMISEA**», es debido a la importancia que está tomando en nuestros días, la ejecución del Proyecto Gas de Camisea y siendo parte de ésta el proyecto de **RED DE DISTRIBUCION DEL GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO**, donde centraremos nuestra atención en el proceso de soldadura.

La presente tesis sirve como material de consulta a estudiantes, ingenieros, empresas del rubro metalmecánica y demás personas interesadas en conocer cuales son las ventajas económicas que se tiene cuando se implementa un Sistema de Gestión de Calidad para un proyecto.

Para este tipo de proyecto, la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad, nos permite asegurar que la ejecución del proyecto será realizado cumpliendo con las normas y especificaciones técnicas definidas durante el desarrollo de la ingeniería de proyecto.

En la tesis se destaca la aplicación de la Norma Técnica Peruana NTP ISO 9001:2001 para la Gestión de Aseguramiento de la Calidad, y el estándar API-1104-99 para la soldadura de tuberías, debido a la importancia que el proyecto significa para el país y la confiabilidad que debe existir entre las empresas beneficiarias y futuros clientes que se les suministre el Gas Natural.

De acuerdo a lo descrito en los párrafos anteriores, se espera que la presente tesis brinde una visión de la importancia que significa tener implementado un Sistema de Gestión de Calidad para proyectos futuros de esta envergadura.

En el capítulo 1 «**INTRODUCCION**», se indica cual es el propósito de la tesis, especificando que es lo que se espera alcanzar de esta tesis, el método de trabajo empleado (como modelo), el alcance de las actividades que se desarrollarán, y las terminologías que se emplearan en los siete capítulos y las conclusiones.

En el capítulo 2 «**PROYECTO CAMISEA**», tendremos primero una descripción general de todo el Proyecto Camisea y lo que significa para el país, datos generales que nos permitan ver el porque de la importancia del Proyecto Gas de Camisea y lo que busca alcanzar en su vida útil en el país. Como segundo punto los datos generales relacionados con la distribución del Gas Natural para Lima y Callao, los alcances, el mercado a los que tiene proyectado cubrir inicialmente. Finalmente una descripción general de la red de distribución del Gas Natural para Lima y Callao.

En el capítulo 3 «**GESTION DE CALIDAD**», se divide en seis temas de Gestión de Calidad, tomando como modelo la Norma Técnica Peruana NTP ISO 9001:2001, donde se definirán las obligaciones y responsabilidades de los protagonistas que lleven adelante el cumplimiento de los mismos, como las verificaciones y mejoras que se puedan plantear durante la construcción de la Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao.

En el capítulo 4 «**NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS APLICABLES**» describiremos cuales son las especificaciones y normas técnicas que se emplean para la construcción de la Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao, y asegurar la calidad de las uniones soldadas.

En el capítulo 5 «**PROCESOS DE SOLDADURA, REPARACION Y CORTE**», se describen los procesos de soldadura, reparación y corte, se desarrollaran teniendo las consideraciones particulares que se necesitan para el proyecto.

En el capítulo 6 «**APLICACION DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**», describimos cuales son los tipos de Ensayos No Destructivo (END) empleado para el proyecto y se desarrollaran el principio de funcionamiento de cada uno de estos, las cuales se emplearan en la calificación de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores, para que participen en el proyecto y los ensayos a los que son sometidos todas las juntas de empalmes entre tuberías del gasoducto.

En el capítulo 7 «**COSTOS EN PROCESOS DE SOLDADURA, REPARACION Y CORTE**», se definirán e identificarán los costos relativo a la calidad y también se detallaran las formulas empleadas y los cálculos matemáticos que servirán para los análisis de costos en cada uno de los procesos (soldadura, reparación y corte).

En el capítulo «**CONCLUSIONES**», se detallan los resultados de la tesis como:

- El impacto que se tendrá en el Proyecto, de la implementación y desarrollo de un Sistema de Gestión de Calidad, para los procesos de soldadura, reparación y corte.
- El beneficio cuantitativo y cualitativo que se puede alcanzar gracias a la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad.
- Indicadores para el control Gestión de Calidad obtenidos de los costos relativos a la calidad del proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao.
- Se presentaran la interpretación de un conjunto de graficas que nos van a permitir visualizar el comportamiento de cada parámetro analizado del capítulo 7.
- Un análisis del comportamiento de los costos de calidad, costos de no calidad y costos totales de calidad, para un escenario donde el tema de calidad es parte de la empresa, un segundo escenario donde se el tema de calidad es limitado a cumplir las exigencias

mínimas del proyecto y para un tercer escenario optimo, donde todo Gerente General espera alcanzar, cumpliendo con las exigencias que el proyecto requiere y los márgenes de ganancias que espera alcanzar la organización.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1. Generalidades

El presente tema de tesis «GESTION DE CALIDAD APLICADA AL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL PROYECTO GAS DE CAMISEA», esta desarrollada de la experiencia que se obtuvo en la participación del proyecto “RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO”, donde se implemento y se puso en practica un Sistema de Gestión de Calidad para las diferentes disciplinas que comprendió el proyecto, además de otros proyectos similares de tendido de tuberías.

Dentro del proyecto de GAS de CAMISEA esta incluido el proyecto de Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao, el gasoducto de 20” de diámetro para las troncales y de 10¾ 8 ”, 6 ” y 4 ½ y 3½ de diámetro para los ramales. Para la tesis el desarrollo se centrara en el tema la soldadura de tubería en el proyecto Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao.

La presente tesis tiene el objetivo de demostrar que a través de la implantación de un Sistema de Gestión de Calidad para la ejecución del proyecto, en el proceso de soldadura, se consigue reducir los costos de no calidad que se generan durante la ejecución del proyecto. Para lograr el propósito de la tesis se procederá desarrollando el manual de

calidad, los procedimientos generales, procedimientos particulares (instrucciones técnicas) y registro de calidad así como la capacitación de todo el personal involucrado en el proyecto.

De los datos obtenidos durante los primeros 14 meses del proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao, se analizarán las cantidades y los costos unitarios de los procesos, obteniéndose así los costos de calidad y costos de no calidad.

1.2. Alcance

El proyecto de Red distribución de Gas Natural para Lima y Callao comprende el tendido de tuberías de gasoducto que se inicia en distrito de Lurin (City Gate) hasta llegar al Callao (Terminal Station), con un recorrido de 61 km aproximadamente.

Los ramales vienen hacer las derivaciones de la red troncal para abastecer de Gas natural a los clientes Industriales, entre ellos tenemos a: Edegel, Vinsa, Etevensa, Alicorp, Cerámica San Lorenzo, Celima, Corporación Cerámica, sudamericana de fibras, Nestle Perú , Cementos Lima.

La ejecución del proyecto comprende obras civiles, eléctricas y mecánicas, dentro de esta última están consideradas los trabajos de soldadura de las tuberías, a estas uniones le denominaremos juntas soldadas. Por lo tanto el desarrollo de la presente tesis está enfocado únicamente en el análisis de las juntas soldadas.

1.3 Premisas

Uno de los objetivos de esta tesis es presentar un aporte a los futuros proyectos de expansión de las redes de distribución de Gas Natural en el Perú, porque está previsto expandirse e interconectarse redes de distribución entre otros yacimientos y para hacer realidad estas interconexiones el tema de asegurar la calidad de las uniones soldadas no deberá ser ajena a las empresas ejecutoras. Porque tener implementado un Sistema de

Gestión de Calidad trae muchos beneficios, tal como se mostrará con números en las conclusiones.

1.4 Resumen ejecutivo

Una de las conclusiones más importantes de la tesis es haber determinado el beneficio económico que ha alcanzado la empresa ejecutora, por haber implementado un Sistema de Gestión de Calidad para el proyecto (análisis solo para el proceso de soldadura), frente al costo que hubiese significado para la empresa ejecutora reprocesar los productos no conformes luego de los ensayos no destructivos, pues éste es el proceso que finalmente mide la calidad de los trabajos efectuados (juntas soldadas).

Por lo tanto en el proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao donde se ha implementado un Sistema de Gestión de Calidad, teniendo como resultado un índice de rechazo de soldadura de 4.3% y un costo total de calidad es US\$ 245 956, distribuidos en US\$ 178 360 como costos de calidad y US\$ 67 396 como costos de no calidad, pero si el proyecto se hubiese desarrollado en unas condiciones donde el tema de aseguramiento y control de calidad es desatendido, para este caso simularemos llevar el proyecto Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones de un proyecto "A", del cual obtendríamos como resultado un índice de rechazo de 25.9% y por consiguiente tendríamos los resultados siguientes: costo total de calidad es US\$ 425 067, distribuidos en US\$ 54 749 como costos de calidad y US\$ 370 327 como costos de no calidad.

De los datos del párrafo anterior vemos que, si implementamos un Sistema de Gestión de Calidad para el proyecto se está invirtiendo US\$ 245 956 en costo total de calidad, frente a los US\$ 425 067 si no se hubiera implementado un Sistema de Gestión de Calidad. Existe una diferencia de US\$ 179 111 de pérdida, cuando no se invierte en un Sistema de Gestión de Calidad. Esto traducido porcentualmente frente al monto total del proyecto (21 millones de dólares), es invertir el 1.17% empleando un Sistema de Gestión de Calidad frente al 2.02%

sin un Sistema de Gestión de Calidad, además de los plazos de entrega y el desprestigio que significa para la empresa ejecutora no entregar un trabajo de calidad.

1.5 Terminología

- **API 1104-99.**- Estándar de la décima novena edición de setiembre de 1999 con título “Soldadura de tuberías e instalaciones relacionadas”, que fue preparada por el comité que incluye representantes del Instituto de Petróleo, la asociación Americana de Gases, la Asociación de Contratistas de Líneas de tuberías, la Sociedad Americana de Soldadura. La Sociedad Americana para Ensayos no Destructivos, así como representantes de fabricantes de tuberías y personas asociadas con la industrias relacionadas.
- **American Welding Society.**- Asociación Americana de Soldadura (con sede en Miami)
- **Acción correctiva-** Acción tomada para eliminar las causas raíz de una No Conformidad, defecto u otra situación, a fin de evitar su repetición.
- **Acción preventiva-** Acción tomada para eliminar las causas de una No Conformidad potencial, defecto u otra situación potencial no deseada, a fin de evitar su repetición u ocurrencia.
- **Archivo-** Medio físico (folder, carpeta o similar) o informático en el que se mantienen y conservan los Registros y/o documentos resultado de la aplicación del Plan de Gestión de Calidad.
- **Bisel.**- Preparación mecánica de los bordes de la tubería con la finalidad de tener una buena fusión en la soldadura entre dos tuberías adyacentes. Estos biseles responden a un diseño previo definidos en el procedimiento de soldadura.
- **Calificación de procedimiento de soldadura.**- Es un método detallado probado y aprobado y analizado, por el cual puede ser producidas unas Soldaduras de buena calidad y con adecuadas propiedades mecánicas.

- **Certificado de calidad.-** Documento emitido por el fabricante de un producto, en éste se evidencia el control de los parámetros y demás especificaciones técnicas relacionados al equipo o material, y la norma técnica del producto correspondiente.
- **Check-list.-** Registro de control que es utilizado para llenarse mediante un aspa, en donde están detalladas todas las características motivo de control.
- **Compatibilidad entre planos.-** Acción comparativa entre planos de diferentes especialidades, cuyo objeto es guardar concordancia entre los aspectos generales del proyecto como son el "layout", funciones, ubicación, niveles orientaciones, etc.
- **Contratista.-** Empresa que provee materiales o productos a la Obra.
- **Contrato.-** Documento contractual cuyos requisitos son acordados entre la organización y cliente.
- **Corrección.-** Proceso resultante de un SAC debidamente revisada y aprobada, y que su ejecución deberá constituir una solución eficaz a la No Conformidad.
- **Criterios de aceptación y rechazo.-** Definiciones establecidas por la Norma o Código aplicable que rigen como patrón para aceptar o rechazar una discontinuidad detectada en la inspección visual.
- **Carbono equivalente.-** Numero que sintetiza la composición química de un acero en términos de contenido en carbono. Se utiliza para medir la sensibilidad de los aceros a la figuración en frío y calculara la máxima dureza bajo cordón entre otras aplicaciones.
- **Capacidad.-** Volumen de gas natural a transportar por unidad de tiempo. Se expresa normalmente en millón de pies cúbicos por día o millón de metros cúbicos por día.
- **Capacidad contratada.-** Capacidad de transporte requerida o demandada por el cliente al operador de la red principal, según lo establecido en el contrato respectivo.
- **Capacidad garantizada.-** Capacidad de transporte por red principal exigida como mínimo, según lo establecido en el contrato respectivo.
- **City Gate.-** Punto de conexión entre la red de transporte y la red de distribución. El punto de entrega del transportista al distribuidor es el "City Gate".

- **Consumidores independientes.-** Consumidor que adquiere el gas natural por un volumen mayor al definido en el “Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos”.
- **Defecto.-** Es una discontinuidad que toma esa calificación debido a que incumple los criterios de aceptación aplicables al proyecto, en el caso particular de la obra tales criterios están definidos por la norma API 1104-99.
- **Detección de una discontinuidad.-** Es la acción por el uso de una técnica de ensayos no destructivos se detecta una falta de homogeneidad que debe ser reportada en registro de la prueba.
- **Discontinuidad.-** Es toda indicación detectada mediante el uso de una técnica de ensayos no destructivos, y que es reportada en el registro de la prueba realizada.
- **Diseño de junta.-** De acuerdo al procedimiento de soldadura que se emplee, se tiene definido el diseño del bisel para la junta a soldar y la preparación del bisel tiene que responder a las dimensiones de dicho diseño.
- **Dossier.-** Es el conjunto de documentos cuyos contenidos contienen datos e información que demuestran que se ha cumplido con los niveles de calidad exigidos en los diferentes procesos constructivos. Es el entregable final que concreta el concepto de trazabilidad, y además permitirá facilitar los trabajos de operación y mantenimiento durante la vida útil de las redes.
- **Ensayo No Destructivos (END) .-**Son ensayos que se utilizan para ubicar discontinuidades superficiales o internas en las uniones soldadas. Las técnicas aplicables a la ejecución de ensayos no destructivos son concordantes con lo establecido en las especificaciones técnicas contractuales del proyecto.
- **Guía de Entrega.-** Documento que demuestra la entrega de materiales, productos suministrados al proyecto, y que conjuntamente con otros documentos complementarios suministra la información técnica necesaria para efectuar el control de recepción, y la comprobación del cumplimiento de los requisitos de calidad especificados.

- **Gas natural o Gas.-** Mezcla de hidrocarburos en estado gaseoso, constituido primordialmente por metano.
- **GNL.-** Gas natural licuado.
- **Inspección visual (IV).-** Ensayo no destructivo que permite evaluar los defectos superficiales, tales como: Presencia de discontinuidades, aspecto de acabado del cordón de soldadura, limpieza, etc.
- **ITC.-** Instrucciones técnicas de calidad.
- **Indicación.-** Evidencia obtenida mediante el ensayo no destructivo.
- **Materiales a incorporarse en forma permanente.-** La Red de Distribución de Gas Natural en Lima y Callao tiene por objeto trasladar gas natural del punto de recepción, hasta la ubicación geográfica de clientes principales, para tal efecto se construirá la red de ductos de acceso. En consecuencia todo aquel material e insumo que forme parte de la citada red de ductos es el considerado como permanente.
- **No conformidad.-** Incumplimiento de un requisito especificado. La definición se aplica a la desviación de una o varias características relacionadas al Contrato, especificaciones, normas aplicables, etc., de tal forma que el incumplimiento de éstas puede generar costos de no calidad.
- **No conformidad potencial.-** Es aquella No Conformidad no ocurrida, pero que podría originarse de no tomar precauciones adecuadas en los procesos constructivos.
- **Organización.-** Empresa responsable de ejecutar el proyecto de acuerdo al contrato aprobado por el Cliente.
- **Pase de raíz.-** La primera costura o cordón que inicialmente une a dos secciones del tubo.
- **Proyecto "A".-** El proyecto se desarrolla bajo una administración que le resta importancia al tema de Gestión de Calidad y solo se limite a realizar su trabajo cumpliendo con las exigencias mínimas del cliente.
- **PGC.-** Plan de Gestión de calidad que implementa en el proyecto.
- **POC.-** Procedimiento operativo de calidad

- **Procedimiento calificado.-** Es un documento que contiene los datos correspondientes a las variables del proceso aprobados por ensayos destructivos y no destructivos, y que sobre la base de dicho documento se calificará a los soldadores que podrán intervenir en la ejecución de los trabajos de soldadura.
- **Proveedor.-** Organización o persona que suministra un producto.
- **Pruebas de calificación.-** En general las pruebas de calificación se realizan para seleccionar soldadores que cuenten con la suficiente destreza para realizar su trabajo, cumpliendo con las exigencias que señala la norma API 1104, y de esta manera evitar la generación de costos de no calidad por reparaciones de soldadura.
- **QA/QC.-** Es una forma escrita para abreviar la frase Aseguramiento y Control de Calidad, viene del termino en ingles Quality Assurance/Quality Control.
- **Quemadura de arco.-** Son puntos localizados de superficie fundida causados por arcos entre electrodo o entre tierra y la superficie de la tubería.
- **Registro.-** Documento que provee evidencias objetivas de las actividades efectuadas o de los resultados obtenidos.
- **Registros de calidad.-** Son el soporte, bien en papel, microfilm o archivo informático, donde se reflejan y anotan los resultados, de naturaleza variable, que son consecuencia directa o indirecta de la ejecución de actividades relacionadas con la calidad aplicada a la ejecución de la obra.
- **Reparación de soldadura.-** Es el trabajo mediante el cual se procede a sustituir aquellas zonas del cordón de soldadura que por las evidencias objetivas ha sido indicada como no conforme.
- **Requisitos de calidad.-** Necesidades establecidas en términos cuantitativos o cualitativos para las características de una entidad con el fin de permitir su prueba.
- **Revisión del contrato.-** Acciones sistemáticas efectuadas, a fin de asegurar que los requisitos para la calidad se encuentren definidos en forma adecuada, sin ambigüedad, y estén expresados en documentos.

- **Red de alta presión.-** Red de distribución de gas natural que opera a presiones normalmente superiores a la del consumo del gas natural y que es determinada en el contrato.
- **Red de distribución.-** Red de ductos dedicados a la distribución del gas natural desde el, "City Gate", hasta los puntos de entrega establecidos en el contrato.
- **Red principal.-** Red de ductos destinada al transporte de gas natural y a la distribución en la red de alta presión, incluidas las conexiones. Está constituida por la red de transporte y red de distribución.
- **Red de transporte.-** Red de ductos dedicados al transporte del gas natural desde el punto de recepción hasta los puntos de entrega de los consumidores iniciales ubicados fuera del área de concesión de distribución y los puntos de entrega a los concesionarios de distribución. En el caso del concesionario de distribución operando como un usuario de la red de transporte, el punto de entrega es el "City Gate".
- **Soldador calificado.-** Es la persona que se desempeñará como soldador, siempre y cuando haya cumplido con los requerimientos del soldeo establecidos para el proyecto.
- **Solicitud de acción correctiva/preventiva (SAC).-** Es el documento que identifica en que consistirá la corrección, señalará la revisión y aprobación por las funciones adecuadas, y considera además la verificación y conformidad de su cumplimiento.
- **Subcontratista.-** Empresa que provee un servicio a la organización, bajo las mismas condiciones técnicas que demanda la obra.
- **Subcontrato.-** Acuerdo aprobado formalmente entre la organización y el proveedor que requiere el suministro de servicios o productos a un cliente a un costo dado, de acuerdo con los términos y condiciones establecidos en él.
- **Trabajos de soldadura.-** Es el proceso de unión de dos metales de la misma especificación técnica, por medio de la fusión provocada por el aporte de calor localizado y soldadura.

- **Trazabilidad.-** Desde el punto de vista de la norma internacional ISO 9000:2000, se entiende por Trazabilidad: "Capacidad para seguir la historia, la aplicación o la localización de todo aquello que está bajo consideración".
 - a. Al considerar un producto, la trazabilidad puede estar relacionada con:
 - b. El origen de los materiales y las partes.
 - c. La historia del procesamiento.
 - d. La distribución y localización del producto después de su entrega.
- **Transportista.-** Empresa responsable de la operación de la red de transporte en la red principal.
- **LGN.-** Líquidos de Gas Natural.

CAPITULO 2

PROYECTO CAMISEA

a) Generalidades

El gas natural constituye en la era actual la fuente de energía que ofrece las mayores ventajas por ser un combustible limpio, de bajo costo, cuyo uso industrial se adapta a las necesidades modernas y por lo tanto ofrece a los países que lo poseen una ventaja competitiva.

Las ventajas que ofrece el gas natural sobre otras fuentes de energía ha hecho que su utilización siga una curva ascendente desde hace aproximadamente 20 años y en la actualidad representa más del 20% de la energía que se consume en el mundo.

Por más de un siglo el gas fue considerado como un sub producto del petróleo, pero este concepto ya ha cambiado y hay más de 70 países en el mundo PRODUCTORES DE GAS NATURAL, que lo utilizan para su desarrollo industrial y logran así una mayor competitividad debido a un costo menor de la energía, con plantas térmicas generadoras de electricidad y la utilización directa del gas natural como insumo o como una fuente de calor limpia en la industria.

El reemplazo del carbón o del petróleo por el gas natural ofrece por su limpieza ventajas enormes, en lo que respecta a la protección del medio ambiente.

Los generadores eléctricos que utilizan gas natural, son más económicos y progresivamente irán reemplazando a los generadores que usan petróleo o carbón; incluso la generación eléctrica utilizando gas como fuente de energía compete, con ventaja, con una central hidráulica.

Las innumerables ventajas que ofrece el gas natural como fuente de energía ha hecho que se ponga mayor énfasis en la búsqueda de yacimientos de gas en el mundo y es así que en la actualidad las reservas de gas natural casi igualan a las reservas de petróleo.

El gas natural no es fácil de comercializar internacionalmente, cuando se trata de países lejanos; para ello se requiere someterlo a ciertas condiciones de temperatura para llevarlo al estado líquido, almacenarlo en depósitos especiales y transportarlo en buques especiales.

El sistema usual de comercialización del gas es mediante redes de tubería dentro del propio país y desarrollando la interconexión con países vecinos que carecen de gas o lo tienen en cantidad insuficiente.

En realidad, para un país que posee reservas de gas natural, lo importante es impulsar su propio desarrollo obteniendo el mayor valor agregado posible. Sin energía es casi imposible convertir las materias primas en productos terminados que puedan competir en esta era global. Cuando se cuenta con una materia prima, es indispensable disponer de energía barata que permita convertirla en un producto terminado, y el gas natural es justamente una fuente de energía barata con muchas ventajas adicionales sobre otras fuentes de energía.

En el Perú, el gas comienza a tomar importancia tempranamente a principios del siglo XX, en el área de Talara. De otro lado, la situación de las reservas de gas en el Perú cambia sustancialmente en 1984, cuando Shell descubre el gigantesco depocentro de Camisea, con la perforación de las estructuras de San Martín y Cashiriari, que han permitido establecer, hasta el momento, significativas reservas probadas que revertirán en el futuro la actual balanza comercial de hidrocarburos en nuestro país.

Hablar de Camisea es hablar de muchas cosas, según como lo enfoquemos. Si lo queremos ver netamente desde el punto de vista de explotación, es un campo de gas a explotar, si lo vemos desde el punto de vista del desarrollo económico, Camisea es una oportunidad para la utilización de gas como combustible, el reemplazo de los combustibles sólidos y líquidos por un combustible más limpio con las ventajas ambientales que tiene el gas con respecto a los combustibles fósiles normales, es la oportunidad de generación eléctrica a partir del gas, es la obtención de energía barata.

Si lo enfocamos del punto de vista de lo que fuera la licitación del contrato, Camisea se divide en dos módulos o unidades de negocio. Una correspondiente al UPSTREAM incluyendo la operación de yacimiento y de fraccionamientos de líquidos en la costa. Y el otro módulo es el del transporte y distribución incluyendo el gasoducto, el ducho de líquidos y la redistribución en Lima; otra forma de ver Camisea es respecto a las ventajas ambientales del gas. Hoy en día el gas natural está considerado como el combustible de mayor crecimiento en cuanto a demanda, en parte asociado a las reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero que se están aplicando, en parte también a la decisión de algunos países de disminuir su dependencia del petróleo. Por lo tanto es un combustible limpio, sin contaminantes, ni residuos, ni emisiones.

Desde el punto de vista socio-ambiental, Camisea es un campo de gas a explotar, es un trabajo en un ambiente de bosque tropical, pero también es una comunidad de las etnias machiguengas, yines y nanty, es la oportunidad de demostrar que se puede realizar el

desarrollo de un proyecto teniendo en cuenta las premisas del desarrollo sostenible, el respeto a los pueblos que habitan en la zona y la protección ambiental.

b) Gas Natural

El gas natural está constituido por el conjunto de hidrocarburos de las series parafínicas que incluye el etano, y está compuesto por moléculas de energía que contienen muy pocas impurezas y son de combustión limpia.

El principal componente del gas natural es el metano y usualmente el contenido de metano en el gas natural es no menor del 80%. Este gas tiene una variedad de usos, siendo uno de los principales como insumo o combustible en la actividad industrial, así como combustible en las plantas térmicas generadoras de electricidad.

Las tuberías para transporte del gas han ido perfeccionándose a través del tiempo, los chinos, hace siglos transportaban el gas por medio de cañas de bambú; hoy en día, con los avances tecnológicos en la calidad del acero y de las soldaduras, los gasoductos ofrecen la mayor seguridad y garantía y el transporte del gas se realiza a presiones bastante altas, que llegan a las dos mil libras por pulgada cuadrada.

En la figura 2.1 se trata de representar en un color el gas metano que constituye el mayor porcentaje del gas natural, luego los líquidos del gas natural, etano, pentano y otros más pesados, separadamente se consigna el propano y el butano, que con las siglas del GLP representan al gas licuado de petróleo que es de gran utilidad en el consumo doméstico, par cocinas y calentadores.

A nivel mundial, el petróleo ocupa el primer lugar como fuente energética con 40%, el carbón el segundo lugar con 27%, y el gas el tercer lugar con 23%. Y es el gas el que ha tenido el mayor crecimiento en los últimos años. En cambio la energía hidráulica sólo representa 3% a nivel mundial.

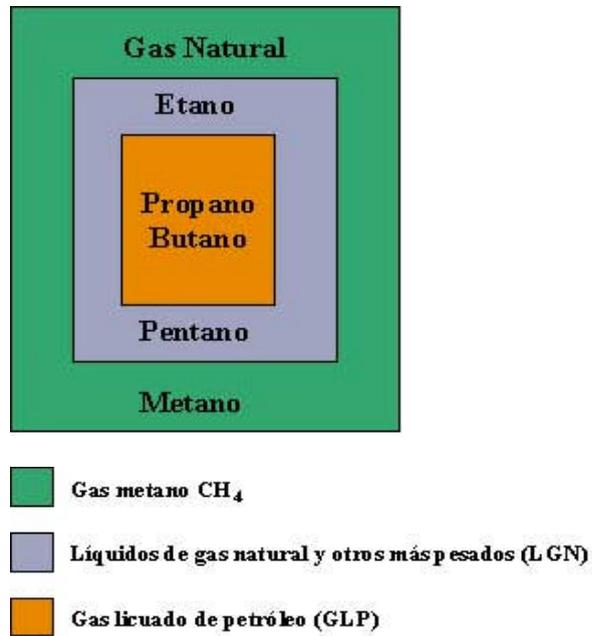


FIGURA 2.1: PRINCIPALES COMPONENTES DEL GAS NATURAL

2.1 Contexto general del proyecto

Las reservas de gas de Camisea están ubicadas al lado oriental de las Cordillera de los Andes, en el departamento del Cuzco, en el valle del bajo Urubamba, provincia de Convención, distrito de echarante. Los yacimientos de Camisea se encuentran sobre las liberas del rio del mismo nombre y los principales se denominan San Martín y Cashiriari

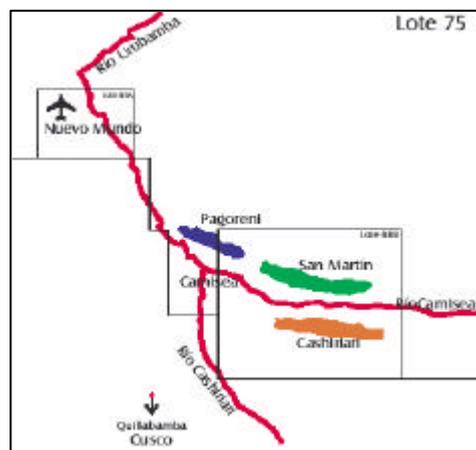


FIGURA 2.2: UBICACIÓN DE CAMISEA

Debido a que el proyecto tiene como objetivo la recuperación máxima posible de líquidos el gas a partir del gas producido, así como de suministrar gas al mercado interno, el plan de desarrollo de las estructuras San Martín y Cashiriari contempla la perforación de pozos productores de gas húmedo y pozos inyectoros de gas seco. De acuerdo al plan de desarrollo se estima que la producción se iniciaría en el año 2004 con un total de 6 pozos operativos en los yacimientos, de los cuales 4 serán pozos productores y 2 serán pozos reinyectores.

El Proyecto consiste en captar y conducir el Gas Natural proveniente de los yacimientos San Martín y Cashiriari hacia una planta de separación de líquidos ubicada en Malvinas, ubicación a orillas del río Urubamba. En esta planta se separan el agua y los hidrocarburos líquidos contenidos en el gas natural y se acondiciona este último para que pueda ser transportado por un Gasoducto hasta los mercados en la costa, mientras que el gas excedente se reinyecta a los reservorios productivos.

Por otro lado, los líquidos del gas obtenidos en la planta de separación son conducidos hasta la costa mediante líneas de tuberías y recibidos en una planta ubicada en Pisco, donde se fraccionan en productos de calidad comercial (GLP, Gasolina y Condensados) y luego se despachan al mercado a través de buques y/o camiones cisterna.

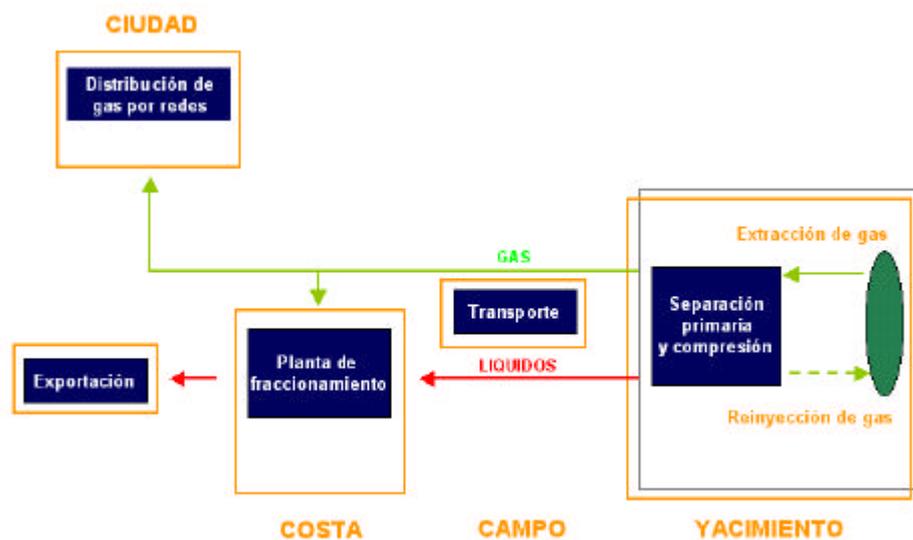
Las instalaciones se han proyectado para una producción inicial de por lo menos 9 Millones de metros cúbicos por día de gas natural, diseñándose el equipamiento en módulos de tal forma que si la producción de gas natural se incrementa con nuevos pozos de desarrollo, sean adicionados nuevos módulos de procesamiento tanto en Malvinas (Camisea) como en Pisco.

2.1.1 Explotación de los yacimientos

El Proyecto Gas de Camisea consiste básicamente en hidrocarburos gaseosos comprobados in situ de alrededor de nueve trillones de pies cúbicos, con unos 600

millones de barriles de líquidos asociados; también comprende este proyecto la construcción de un gasoducto que va a estar exclusivo para Camisea durante diez años y posteriormente quedará disponible a otros proyectos de la región.

El esquema general de producción diseñado para este proyecto tiene un punto de partida en Camisea y un punto de llegada (City Gate) en la ciudad de Lima; comprende la producción del gas, la separación primaria de los líquidos en la planta de Malvinas, abastecer básicamente el mercado limeño y todo el abastecimiento que surgiera a lo



largo de la ruta.

FIGURA 2.3 : ESQUEMA GENERAL DEL PROYECTO CAMISEA

En la costa se construirá una planta de fraccionamiento que permitirá separar esos líquidos en LPG y Condensado, los cuales irán a la exportación y en el eventual caso que Lima lo requiera existirá un oleoducto que llevará el LPG a la ciudad de Lima.

La línea de tuberías partirán de Malvinas a orillas del río Urubamba en el pie de monte selvático, un área ambientalmente muy sensible y donde existen muy malas condiciones de caminos. Posteriormente, entran en las altas cumbres, donde se llega a un pico

máximo de 4800 msnm. Luego de cruzar el Altiplano tienen una caída de 1300 m de cota en menos de 40 km, lo que implica especiales diseños en los caños y, llegando a la llanura costera, el oleoducto se dirigirá hacia la costa para terminar en Pampa de Clarita, mientras que el gasoducto continuará hacia el Norte hasta la ciudad de Lima.

2.1.2 Recorrido del Gasoducto

El transporte incluye la construcción de dos líneas de tuberías, uno para gas natural de 729 km de largo y otro para líquidos de gas natural de 540 km de largo. Las dos líneas de tuberías correrán en paralelo desde los campos de Camisea, ubicados 431 km al este de Lima, hasta la costa peruana, donde la línea de tubería terminará en una Planta de Fraccionamiento y desde donde la línea de tuberías del gas natural se desviará hacia el norte, paralelo a la costa, hasta el City Gate ubicado al sur Lima en Lurín (ver figura 2.4). Las tuberías están diseñados para el transporte inicial de 285 millones de pies cúbicos de gas natural y 50,000 barriles de líquidos de gas natural por día. Las tuberías son de acero resistente a la alta presión según normas internacionales, y poseen un revestimiento externo para protegerlas contra la corrosión.

La ruta de las tuberías empieza en Camisea, en Cuzco, y cruza Ayacucho, Huancavelica, Ica y Lima, teniendo un perfil de elevación de 4,860 m.s.n.m. en su punto más alto. Fue seleccionada considerando el terreno más estable y seguro para el transporte, minimizando los impactos sociales y ambientales, así como respetando las zonas arqueológicas. A fin de impulsar el gas y los líquidos para traspasar los andes, y disminuir su energía al bajar hacia la costa, se construirán cuatro estaciones de bombeo y dos plantas reductoras de presión, respectivamente.

A lo largo del trayecto de las tuberías se tenderá una línea de fibra óptica, la cual registrará alteraciones de presión, temperatura, caudal, etc. en el sistema, lo que permitirá prevenir posibles fallas.

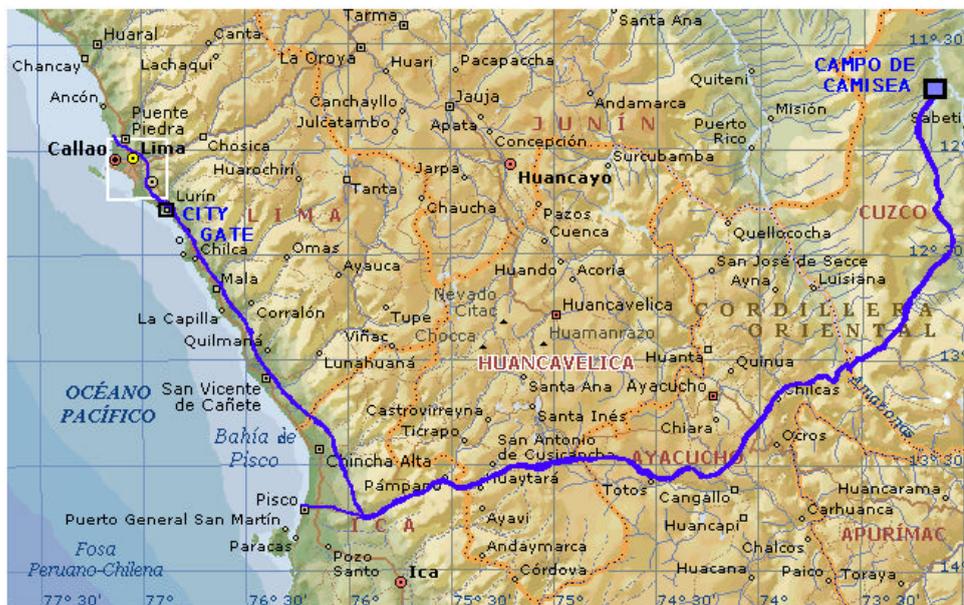


FIGURA 2.4 : TRANSPORTE DEL GASODUCTO

La construcción de la líneas de tuberías se inicia con la apertura de la pista por donde se colocarán los mismos. Luego se nivela la pista para facilitar el movimiento de equipos; se excavan dos zanjas paralelas; se tienden los tubos, se los suelda y se recubre la unión. Posteriormente, la tubería es posicionada dentro de las zanjas y tapada con la misma

tierra extraída durante la excavación, previa remoción de materiales que puedan dañar el revestimiento. La última etapa es la reforestación de toda la zona de trabajo.

2.2 Gas Natural para Lima y Callao

En figura 2.5 se aprecia la traza referencial del gasoducto troncal y sus ramales que han sido instalados en Lima y Callao y cuyas obras de construcción estuvieron a cargo de la empresa contratista peruana Graña y Montero. La traza atraviesa los distritos de Lurín, Pachacamac, Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Santa Anita, El Agustino, San Juan de Lurigancho, Cercado de Lima, San Martín de Porres, Carmen de la Legua Reynoso, Ventanilla y El Callao.

El gasoducto troncal tiene una longitud aproximada de 61 km, y está constituido por una tubería de acero de 20 pulgadas de diámetro (ver figura 2.6).

Los ramales y conexiones del gasoducto troncal atenderán zonas industriales en la Av. Argentina, Av. Universitaria, San Juan de Lurigancho, Lurín, Callao y Ventanilla y están constituidos por tuberías de acero desde 3 a 10 pulgadas de diámetro.



FIGURA 2.5 : RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO



FIGURA 2.6 : TENDIDO DE GASODUCTO TRONCAL

El caudal de diseño de este gasoducto es de unos 7 millones de metros cúbicos por día. A manera de dar una idea concreta de lo que representa esto, si cada hogar de Lima y Callao (aproximadamente 2 millones) estaría conectado a la red, y suponiendo que cada hogar consume 1,5 metros cúbicos por día (consumo de una therma y de una cocina), solo se llegaría a la mitad de la capacidad del gasoducto. Obviamente, el gasoducto contempla también los consumos industriales y comerciales, que son en general los mayores consumidores.

Dentro los consumidores industriales para esta primera etapa que están los siguientes:

- Cerámica San Lorenzo
- Alicorp
- Cementos Lima
- Sudamericana de Fibras
- Ceramica Lima
- Vinsa
- Edegel
- Etevensa

2.3 Línea del gasoducto para Lima y Callao

Todo el gasoducto ha sido diseñado sobre la base de la normativa internacional ANSI / ASME B31.8 “Gas Transmission and Distribution Piping Systems”, así como especificaciones propias de Tractebel llamadas GTS, cumpliendo con las exigencias adicionales del Reglamento de Distribución de Gas Natural por Red de tuberías, aprobado por Decreto Supremo Nº 042-99-EM. Un ejemplo de estas exigencias es el mayor espesor de las tuberías de acero, que es de 11.13 mm, superior a lo que se utiliza para gasoductos de características similares en otros lugares del mundo.

La construcción del gasoducto se realiza igualmente en estricto cumplimiento con las normativas aplicables y de acuerdo a lo establecido en el EIA, y de acuerdo a planos, especificaciones y procedimientos desarrollados durante el proceso de ingeniería. La actividad principal consiste en la excavación de una zanja en la vía pública y la instalación de las tuberías en ella, una vez soldadas. La soldadura se realiza de acuerdo a procedimientos estrictos de soldadura, previamente calificados de acuerdo a normativas específicas internacionales tales como API 1104, en coordinación con el OSINERG. La inspección al 100% de las soldaduras



FIGURA 2.7 : INSPECCION DE ULTRASONIDO

se realiza con la tecnología de punta que es el ultrasonido a través de un sofisticado equipo “Rotoscan”. Este equipo, el cual no tiene impacto medioambiental en la ciudad debido a que no usa fuentes radioactivas como los métodos tradicionales de inspección, se encarga de verificar la óptima calidad de la soldadura después de ser realizada y permite el registro de la información en tiempo real en forma digital en una computadora.

Finalmente, la tapada (mínimo 1.2 m por encima del tubo) y reposición del pavimento se realiza en estricto cumplimiento con los requerimientos de las normas, especificaciones y exigencias de los municipios. La construcción del gasoducto para el tramo de Lima y Callao se inicio en noviembre del 2002, debiendo en operación en agosto del 2004.

Finalmente, indicamos que este gasoducto esta siendo construido bajo la fiscalización permanente de la Gerencia de Fiscalización de Hidrocarburos del OSINERG y por el Ministerio de Energía de Minas mediante la Dirección General de Hidrocarburos y la Dirección General de Asuntos Ambientales.

CAPITULO 3

GESTION DE CALIDAD

Las normas ISO 9000

Introducción

La Organización Internacional de Normalización (ISO), es una federación mundial de organismos nacionales de Normalización, con sede en Ginebra. Los antecedentes de esta organización los encontramos en la Federación Internacional de Asociaciones Nacionales de Normalización. Tras el paréntesis de la II Guerra Mundial, las labores de esta Organización son asumidas por el Comité de Coordinación de Normas de las Naciones Unidas, que sirve de embrión para la actual Organización Internacional de Normalización, fundada en 1947. Dicha organización se articula en comités técnicos que están integrados por miembros de los organismos federados interesados en el objeto de trabajo de la comisión. Una vez elaborado el proyecto de norma, este es enviado a los organismos miembros para su aprobación, la cual requiere el voto favorable de al menos dos terceras partes de los organismos miembros del comité. Tras su aprobación las normas son difundidas internacionalmente a través de los organismos nacionales federados.

Normas ISO 9000:1994

Entre los estándares elaborados y difundidos por la International Standard Organization (ISO) está la familia de normas ISO 9000, que son publicadas por primera vez en Ginebra en 1987. Siete años más tarde fueron actualizadas siendo esta la versión que aun hoy

permanece en vigor y que actualmente está siendo objeto de revisión. Su cometido es identificar los criterios que pueden contribuir a que la empresa satisfaga las necesidades de sus clientes. Para ello se deben establecer y documentar una serie de criterios y especificaciones, que los outputs generado por la empresa deben cumplir. La aplicación de un sistema de calidad basado en estas normas asegura a la dirección de la empresa, y a terceros “clientes y proveedores”, que los procesos y productos de la empresa satisfacen una serie de requisitos.

TABLA 3.1: Normas ISO 9000:1994

Norma	Título
ISO 9001:1994	Sistema de la Calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño, el desarrollo, la producción, la instalación y el servicio postventa.
ISO 9002:1994	Sistema de la Calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la producción, la instalación y servicio postventa.
ISO 9003:1994	Sistema de la Calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la inspección y los ensayos finales.
ISO 9000-1:1994	Normas para la gestión de la calidad y el aseguramiento de la calidad.
ISO 9004-1:1994	Gestión de la calidad y elementos del sistema de la calidad.

Esta familia de normas ISO 9000:1994 (tabla 3.1) está compuesta por cinco documentos que se estructuran del siguiente modo: En primer lugar, encontramos las tres normas propiamente dichas, ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003. En segundo lugar encontramos un conjunto de documentos cuyo objetivo es orientar a las empresas sobre que norma aplicar y el modo de hacerlo, ISO 9000-1 e ISO 9004-1.

Las empresas que diseñan e implantan el sistema de calidad utilizando como marco de referencia alguna de éstas normas, pueden optar por obtener el certificado de calidad. Estas tres normas se basan en un conjunto común de elementos. La principal diferencia entre ellas reside en el número de apartados que las integran veinte en el caso de la norma ISO 9001, 19 para la norma ISO 9002 y 16 para la norma ISO 9003 (tabla 3.2).

TABLA 3.2 : Requisitos que componen las normas ISO 9001, 9002 y 9003

Apartado	ISO 9001	ISO 9002	ISO 9003
Responsabilidades de la dirección	X	X	X*
Sistema de la calidad	X	X	X*
Revisión del contrato	X	X	X*
Control del diseño	X	---	---
Control de la documentación y de los datos	X	X	X
Compras	X	X	---
Control de los productos suministrados al cliente	X	X	X
Identificación y trazabilidad de los productos	X	X	X*
Control de los procesos	X	X	---
Inspección y ensayo	X	X	X*
Control de los equipos de inspección, medición y ensayo	X	X	X
Estado de inspección y ensayo	X	X	X
Control de los productos no conformes	X	X	X*
Acciones correctoras y preventivas	X	X	X*
Manipulación, almacenamiento, embalaje, conservación y entrega	X	X	X
Control de los registros de calidad	X	X	X*
Auditorías internas de la calidad	X	X	X*
Formación	X	X	X*
Servicio postventa	X	X	---
Técnicas estadísticas	X	X	X*

TOTAL DE APARTADOS: 20 19 16

Nota: * Los requisitos son menos exigentes que los correspondientes de ISO 9001.

Tenemos en segundo lugar un conjunto de documentos cuyo objetivo es orientar a las empresas sobre qué norma aplicar y el modo de hacerlo. No se trata de normas propiamente dichas sino de un conjunto de guías que sirven de acompañamiento y apoyo a las tres anteriormente citadas. Estos documentos pueden ser utilizados por cualquier empresa interesada en implantar un sistema de gestión de la calidad pero no son susceptibles de ser certificados por una tercera entidad.

Las nuevas normas ISO 9000:2000

Con el objetivo de atender a las necesidades de las empresas y de reflejar un enfoque de la calidad más amplio, la organización ISO ha iniciado a lo largo del año 1999 una profunda revisión de las normas ISO 9000, dando lugar a una nueva familia que se estructuran del siguiente modo (tabla 3.3).

TABLA 3.3 : Las normas ISO 9000:2000 y sus equivalentes en la versión de 1994

Normas ISO 9000:1994		Normas ISO 9000:2000	
ISO 9000-1:1994	Normas para la gestión de la calidad y el aseguramiento de la calidad	ISO 9000:2000	Sistemas de gestión de la calidad (Principios y vocabulario)
ISO 9001:1994	Sistema de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño, el desarrollo, la producción, la instalación y el servicio postventa.	ISO 9001:2000	Sistemas de gestión de la calidad (Requisitos)
ISO 9002:1994	Sistemas de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la producción instalación y servicio postventa		
ISO 9003:1994	Sistemas de la calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la inspección y los ensayos finales		
ISO 9004-1:1994	Gestión de la calidad y elementos del sistema de la calidad	ISO 9004:2000	Sistemas de gestión de la calidad (Recomendaciones para mejorar)

ISO 9000:2000; Sistema de gestión de la calidad - principios y vocabulario. En el vocabulario se establece la terminología y las definiciones utilizadas en las normas. Igualmente contiene los principios genéricos que inspiran esta nueva versión de las normas. Este documento esta pensado para reemplazar a las normas ISO 8402:1994 e ISO 9000-1:1994 capítulos 4 y 5.

ISO 9001:2000; Sistemas de gestión de calidad - requisitos. Sustituye a las normas ISO 9001:1994, ISO 9002:1994 e ISO 9003:1994. La diferencia principal de esta nueva norma en relación con las que sustituye estriba en que la norma ISO 9001:2000 no solo contempla el aseguramiento de la calidad, también incluye la necesidad de que las empresas

demuestren su capacidad para satisfacer al cliente y mejorar sus procesos de forma continua. El enfoque que subyace a la nueva norma es por lo tanto más cercano a la gestión a la calidad total ya que incorpora la aplicación de principios sobre los que se fundamenta esta última, la atención a la satisfacción de los clientes y la mejora continua.

ISO 9004:2000; Sistemas de gestión de calidad - recomendaciones para llevar a cabo la mejora. Esta norma está estructurada de forma similar a la ISO 9001:2000. Está preparada para uso conjunto con esta última, aunque puede aplicarse por separado a diferencia de la ISO 9001:2000, no está concebida para ser utilizada como una guía para cumplir los requisitos de una norma. La ISO 9004:2000 está pensada para aquellas empresas que quieren ir más allá de los requisitos de la norma ISO 9001:2000, introduciéndose en una dinámica de mejora continua con un enfoque de GCT.

La nueva norma ISO 9001:2000 se articula alrededor de un modelo de procesos, compuesto por cuatro apartados que sustituyen a los veinte requisitos que conformaban la norma ISO 9001:1994. El denominado modelo de procesos (figura 3.1) identifica a la empresa con un conjunto de procesos interrelacionados en él se propone la identificación sistemática y la gestión de los procesos como el elemento clave en la gestión de la calidad de cualquier empresa.

Los cuatro apartados que integran el modelo conforman un sistema iterativo que permite la satisfacción de los clientes y la mejora continua de todos los procesos que se desarrollan en el ámbito de la empresa. El sistema se articula tal como se muestra en la figura 3.1.



FIGURA 3.1 : MODELO DE PROCESOS ISO 9001:2000

Análisis comparativo entre las series de normas ISO 9000:1994 e ISO 9000:2000

El estudio comparado entre la serie de normas ISO 9000 en sus ediciones de 1994 y 2000 nos permite observar las aportaciones que se presentan en ésta última versión. En primer lugar, como se puede apreciar en la tabla 3.3, la norma ISO 9001:2000 sustituye a las anteriores normas ISO 9001, 9002 y 9003. En segundo lugar, la nueva articulación de la norma, alrededor del modelo de procesos, permite presentar un modelo general aplicable a todo tipo de empresas y especialmente a las de servicios. En tercer lugar, la versión del 2000, además de concebir la empresa como un conjunto de procesos, pone el énfasis en el carácter sistémico de la organización y en las interrelaciones existentes entre dichos procesos, en contraste con el enfoque más mecanicista.

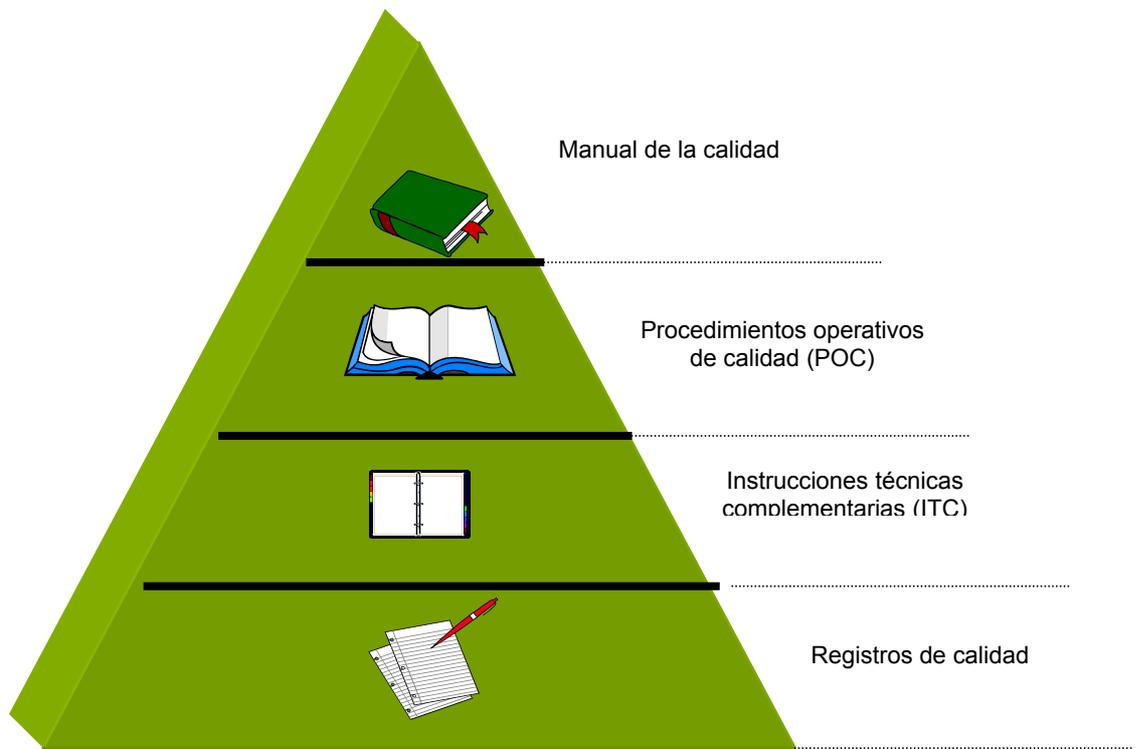


FIGURA 3.2 : ORGANIZACIÓN DOCUMENTAL DEL PGC

Sistema de gestión de la calidad

La implementación de un sistema de gestión de calidad, es un herramienta disponible para toda organización que desea mejorar su forma de trabajo, por eso este modelo sirve para muchas empresas que deseen mejorar su modo de trabajar y administrar sus operaciones. Tal es el caso que aquí se quiere mostrar los resultados beneficiosos que se obtiene debido a esta implementación, pues sus resultados son en el aspecto organizacional como empresa, como control del avance de obra, como beneficio económico debido al control de los productos no conformes, al manejo de ratios para tomar decisiones sobre aspectos que pudieran incidir en forma negativa sobre los trabajos de un área específica y además de la imagen que refleja la empresa ante el cliente, al suministrar un producto de buena calidad y cumpliendo con los plazos de entrega.

Todos estos beneficios podemos alcanzar cuando el responsable de la dirección asume el compromiso que el tema de calidad sea un aspecto que se desarrolle en un proyecto. En un proyecto se dice por que, si bien es cierto que toda empresa que cuenta con una certificación ISO 9001, tiene este sistema funcionando, no es necesario contar con dicha certificación para que esto funcione. El tema de tesis que se está desarrollando “GESTION DE CALIDAD APLICADA AL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL PROYECTO GAS DE CAMISEA”, es un ejemplo claro del como funciona para un proyecto específico y tiene resultados importantes que se pueden justificar económicamente, debido a la decidía de querer realizar un trabajo de buena calidad en forma eficaz y eficiente.

A continuación presentaremos un resumen del modo operativo de la gestión que fue necesario para el logro de los resultados alcanzados:

- La implementación del sistema de aseguramiento de calidad se inicia con la revisión de las exigencias establecidas en las especificaciones técnicas definidas durante el desarrollo de la ingeniería, esto quiere decir, revisión de especificaciones técnicas y planos de construcción. En base a ésta documentación la gerencia del proyecto plantean la política de calidad y los objetivos que se deberá lograr al termino del proyecto. Luego el grupo de profesionales encargados del aseguramiento y control de calidad elaboran toda la documentación general que recomienda la ISO 9000:2000 y los procedimientos operativos de calidad que se muestra en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6, estos documentos deben ser sometidos a aprobación.

TABLA 3.4 : Procedimiento operativo de calidad (POC)

Ítem	Descripción	Código
1	Control de documentos	POC – 01
2	Control de registros	POC – 02
3	Compras	POC – 03
4	Acciones correctivas y preventivas	POC – 04
5	Tratamiento de no conformidades	POC – 05
6	Trazabilidad	POC – 06
7	Auditorias internas	POC – 07

TABLA 3.5 : Instrucciones técnicas complementarias (ITC)

Ítem	Descripción	Código
1	Recepción de materiales y equipos	ITC – 01
2	Calificación de procedimiento de soldadura	ITC – 02
3	Calificación de soldadores	ITC – 03
4	Trabajo de soldadura en campo	ITC – 04
5	Corte y biselado	ITC – 05
6	Inspección y END	ITC – 06
7	Reparación de soldadura	ITC – 07

TABLA 3.6 : Registros de calidad (REG)

Ítem	Descripción	Código
1	Hoja de transmisión de información	REG-01
2	Lista de distribución de documentos	REG-02
3	Propuesta de actualización	REG-03
4	Entrada y salida de documentos	REG-04
5	Listado de proveedores y subcontratistas	REG-05
6	Seguimiento de proveedores y subcontratistas	REG-06
7	Recepción de materiales y equipos	REG-07
8	Especificación de procedimiento de soldadura	REG-08
9	Reg. de calificación de procedimiento de soldadura	REG-09
10	Toma de datos de soldadura	REG-10
11	Relación de soldadores calificados	REG-11
12	Inspección visual de soldadura	REG-12
13	Corte y biselado de tuberías	REG-13
14	Reparación de soldadura	REG-14
15	Accione correctiva y preventiva	REG-15
16	Registro de no conformidad	REG-16

Una labor neurálgica es la difusión e implementación de los procedimientos dentro de la organización tanto para la parte administración como de la ejecución del proyecto. Todos aquellos procesos operativos críticos deben ser registrados para administrar los datos de los resultados de cada inspección y prueba. Dicha información debe ser almacenada y procesada en una base de datos para obtener periódicamente datos estadísticos del estado

de infección y ensayos de cada proceso crítico de control. Los resultados obtenidos de la información recabada de campo debe ser analizada y evaluada para tomar las acciones correctivas y preventivas a tiempo, además de identificar cuales son las actividades que están fuera de control. De esta manera se debe entrar en el ciclo de mejora continua, para esto los resultados deben ser evaluados haciendo un corte cada semana. La mejora continua debe ser impulsado por todos los agentes que están comprometidos en el proyecto como supervisores, inspectores y trabajadores directos.

El departamento de aseguramiento y control de calidad que se encarga de administrar y evaluar los avances de la implementación del sistema de calidad juega un papel importante para el logro de resultados favorables para proyecto.

3.1 La calidad, evolución conceptual y enfoques de gestión

Una mejor calidad exige un menor costo: buena calidad significa buena utilización de recursos (equipos, materiales, información, recursos humanos, etc.), es decir costos más bajos y mayor productividad.

3.1.1 Conceptos de calidad

Es imprescindible conocer a qué convenciones nos estamos refiriendo cuando hablamos de calidad y acotar exactamente qué estamos definiendo, ya que la diversidad de propuestas existentes en la literatura especializada puede crear cierta confusión.

Por otro lado, cuando se habla de calidad no se suele precisar el objeto al que se atribuye esta cualidad, que suele estar en el producto, el servicio, el proceso, o la propia empresa y sus sistemas de gestión.

Garvin (1988) y Reeves y Vendar (1994), realizan una síntesis de las definiciones del concepto en las que pueden encuadrarse, entre otras, las propuestas por los autores más conocidos como Deming, Juran, Feigenbaum o Crosby. Podemos agrupar la mayor parte de las definiciones de calidad dentro de algunas de las cuatro categorías siguientes:

- a) Calidad como *conformidad a unas especificaciones*
- b) Calidad como *satisfacción de las expectativas del cliente*
- c) Calidad como *valor*
- d) Calidad como *excelencia*

a) **Calidad como conformidad.** La calidad entendida como conformidad con unas especificaciones es una idea que surge en el ámbito del taller y de la fábrica de manufacturas. A finales del pasado siglo y a principios de ésta, el objetivo de las empresas manufacturadas era conseguir la producción en masa de productos iguales y sin defectos. Se trataba de conseguir que todas las piezas del mismo tipo fueran iguales e intercambiables. Lo importante, pues, era conseguir una producción estándar que permitiera obtener piezas y productos idénticos. De esta forma la calidad equivale a la no variabilidad de procesos y productos.

La calidad de los productos es medida a través de indicadores cuantitativos, los cuales permiten ver la conformidad de los productos con las especificaciones diseñadas.

Se trata de un concepto útil en mercados de productos industriales, fácil de implantar y administrar, y que puede ser medido y controlado con exactitud. En general, siempre que sea posible identificar correctamente las especificaciones exigidas por el cliente, y siempre que estas tengan un grado suficiente de estabilidad en el tiempo, de tal modo que sea posible la estandarización de procesos y productos. Este concepto de calidad será de muy fácil aplicación.

El mayor inconveniente de esta definición que puede ser aplicada a productos servicios y procesos, es que se centra en la eficiencia pero no en la eficacia. La estandarización necesaria para aplicar este concepto puede perjudicar la capacidad de adaptación de las empresas a los cambios del mercado, abocándolas a una situación de eficiencia interna, pero de dificultad para adaptarse y cumplir sus objetivos.

En efecto, si la empresa concentra sus esfuerzos en materia de calidad, exclusivamente con esta perspectiva interna de mejorar la conformidad de productos, servicios y procesos, sin cuestionarse la utilidad de los propios procesos o las posibilidades futuras de productos y servicios en base a los análisis necesarios del entorno competitivo y de los mercados, las posibilidades de quedar desplazada del mercado son muy altas.

b) **Calidad como satisfacción de las expectativas del cliente.** La evolución de la gestión de la calidad desde una perspectiva muy centrada en la producción hasta perspectivas que integran la dimensión del mercado, ha tenido como consecuencia el dar cada vez mayor importancia a la satisfacción de las expectativas de los clientes como eje central y principio básico de la calidad. En este sentido un producto o servicio será de calidad cuando satisfaga o exceda las expectativas del cliente.

Se trata de una definición enfocada hacia el exterior de la organización por tanto, va a ser especialmente sensible a los cambios del mercado. Si una empresa descubre los factores que conforman las expectativas de sus diversos clientes y es capaz de monitorizarlos, puede afirmarse que habrá adquirido las bases para una ventaja competitiva importante.

El mayor inconveniente de esta definición es que está basada en expectativas de clientes que son difíciles de detectar, medir y ponderar. Cada cliente puede tener un conjunto de expectativas distintas, con ponderaciones también distintas.

Es más, en ocasiones el cliente no tiene expectativas o prioridades, ya que no prevé que producto o servicio va a recibir, bien por ser éste radicalmente nuevo, bien por ser de consumo esporádico o poco habitual.

También debe tenerse en cuenta que un juicio basado en expectativas esta afectado por elementos circunstanciales que escapan, al menos en parte, del ámbito de gestión de la

empresa. Este es el caso de las actitudes previas al acto de consumo y los factores del entorno del sujeto que pueden modificarlas.

c) **Calidad como valor con relación al precio.** Esta concepción es aplicable, con la anterior, a productos y servicios. Los autores que utilizan esta definición entienden que la noción de valor debe ser incluida en la definición de calidad. Propugnan que tanto precio como calidad deben ser tenido en cuenta en un mercado competitivo. Significa lo mejor para cierto consumidor en función del uso actual del producto-servicio y de su mejor precio de venta. Es decir, la calidad de un producto no puede ser desligada de su costo y de su precio.

En el trasfondo de este concepto de calidad como valor, sin embargo, está la concepción económica de que el precio es el primer determinante en la elección del consumidor. Por tanto la calidad se entiende aquí como un concepto subordinado y relativo, lo que implica que se tratará de obtener la mejor calidad posible a un precio dado.

El concepto de calidad incorpora aquí, además una serie de atributos como durabilidad, comodidad, etc., que junto al precio, permiten su concreción en indicadores que ayudan al establecimiento de comparaciones efectivas entre productos, servicios y experiencias de consumo distintas. Tiene la ventaja de que obliga a la empresa a centrarse, al mismo tiempo, en su eficacia con respecto al mercado y en la eficiencia de su gestión económica interna.

d) **Calidad como excelencia.** Este concepto es el más genérico e integrador de las formas de entender la calidad. Se puede aplicar a productos, servicios, procesos, la empresa en su conjunto. De hecho el término excelencia es el más comúnmente utilizado en referencia a la calidad en contextos muy diversos.

Al ser un concepto de uso general y denotar aquello que es lo mejor posible la calidad como excelencia, es un objetivo que permite y exige incorporar el compromiso de todos los integrantes de la organización; y que si es reconocido por el mercado, será fuente de ventaja competitivo, vía diferenciación. Este concepto se aplica a aquellos productos y servicios que reúnen los máximos estándares de calidad en sus diferentes características. El concepto de calidad implica no admitir, en la realización de cualquier tarea, todo aquello que no sea lo mejor, y supone la inversión de las mejores habilidades y materiales en la realización de una tarea, para alcanzar el mejor resultado posible. En definitiva, un producto o un servicio es de calidad excelente cuando se aplican, en su realización. Los mejores componentes y la mejor gestión y realización de los procesos.

3.1.2 Propuesta de síntesis de los diferentes conceptos de calidad

Tomando como punto de referencia a la empresa, podemos agrupar las diferentes definiciones de calidad hasta ahora expuestas utilizando tres perspectivas: una interna, otra de mercado o externa, y otra global.

La perspectiva interna hace énfasis en la eficiencia. Parte del supuesto de que la empresa está ofreciendo productos y servicios que interesan al mercado, y por tanto, lo importante es elaborar el producto o prestar el servicio con una atención especial a los costos y a la productividad respetando lo pactado con el cliente de forma tácita o explícita. Se asume aquí que si un *output* esta elaborando eficientemente, y tiene un rendimiento igualmente eficiente, será adquirido en el mercado.

La perspectiva externa, posterior en el tiempo trata de cubrir las lagunas del enfoque anterior, asumiendo que en los mercados con un alto grado de rivalidad entre competidores, fuerte ritmo de cambio tecnológico, y cambios en los gustos de los consumidores. Es necesario centrarse en el cliente, que es quien va a indicar que productos y servicios necesita, con que características y prestaciones, y a que precio. Esta perspectiva deja en un segundo plano la eficiencia para poner el énfasis en la eficacia y en la satisfacción de los

deseos del cliente, dejando también en un lugar secundario la satisfacción de otros grupos de influencia.

La perspectiva global abarca las dos anteriores. La empresa excelente es aquella que satisface las necesidades de todos los grupos de influencia relacionados con ellas, y además con criterios de eficiencia. Puede entenderse así el estado de excelencia no como un estado de a alcanzar sino como una filosofía de trabajo que da lugar a un proceso dinámico de mejora en el que el objetivo es alcanzar la eficiencia y la eficacia, (o la mayor aproximación a las mismas), cumpliendo, al mismo tiempo, con las exigencias de los diversos grupos de personas que se relacionan con la organización, ya que son quienes justifican y posibilitan su existencia.

En la figura 3.3 se representan de forma grafica las relaciones entre la perspectiva global, propia de la concepción de la calidad como excelencia, y la perspectiva interna y externa de las demás concepciones analizadas. Como puede observarse, tras haber realizado un esfuerzo de análisis y síntesis y calidad podemos concluir que el concepto admite varias y diversas interpretaciones, y que estas formas de interpretación son, en ocasiones, complementarias.

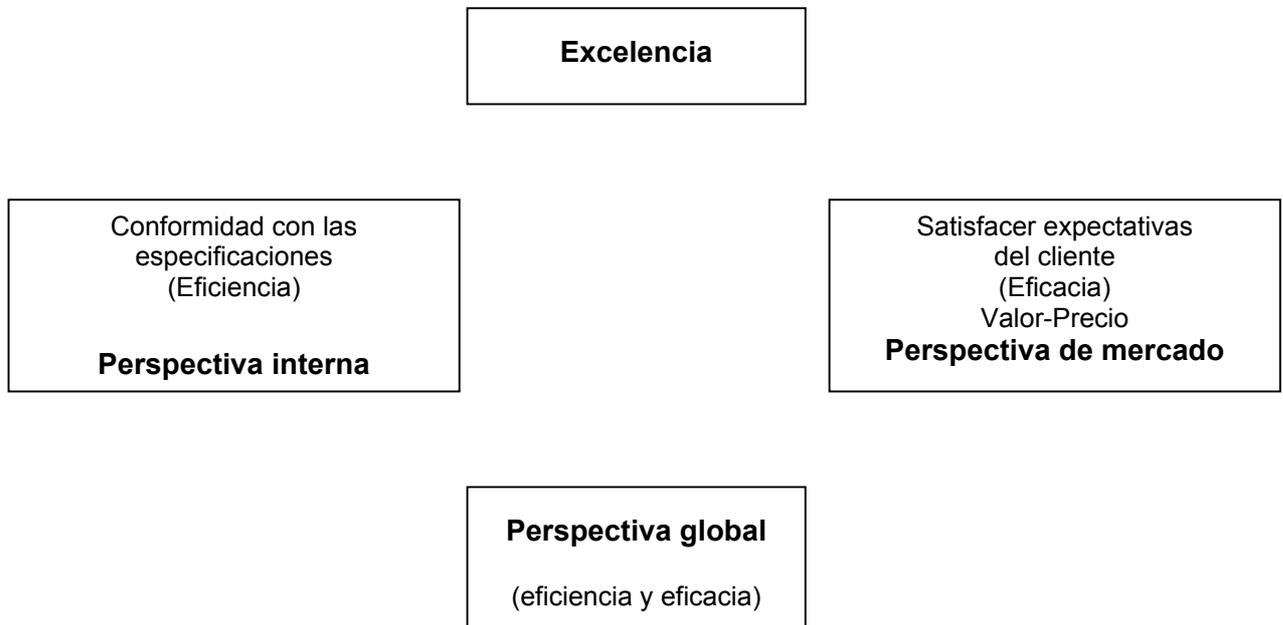


FIGURA 3.3: EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE CALIDAD

3.1.3 Dimensiones de la calidad del producto

Para hacer mas operativo el concepto de calidad, referido estrictamente al producto, es útil la diferenciación que hace Garvin (1988) entre ocho dimensiones de la calidad.

En efecto, según este autor la calidad puede desagregarse en ocho dimensiones o factores, que aunque diferenciables están relacionados: rendimiento, prestaciones, fiabilidad, conformidad, durabilidad, capacidad de servicio, estética, y calidad percibida.

El rendimiento, que hace referencia a las características primarias del producto o servicio. En esta dimensión de la calidad se incluyen aspectos vinculados a las especificaciones básicas exigidas por los usuarios del producto o del servicio, las cuales deben servir como soporte de las prestaciones exigidas.

Otro de los factores, las prestaciones, abarcan una serie de características secundarias que complementan a las anteriores, configurando el servicio o producto completo y el modo en que este satisface necesidades o deseos del consumidor. En medida en que las prestaciones son valoradas positivamente por el cliente, se convierte en un arma competitiva importante.

Fiabilidad, esta dimensión se refiere al rendimiento y prestaciones esperadas de un producto durante un periodo de tiempo. Se mide en función del tiempo que transcurre antes de la primera avería, así como el coste de mantenimiento y reparaciones.

La conformidad, es decir, el grado en que un producto, su proceso de fabricación y/o su diseño se ajustan a unos estándares. Esta dimensión está estrechamente asociada al control estadístico y la normalización de los procesos.

La durabilidad está relacionada con la vida útil del producto, que puede ser entendida de dos modos; a) vida del producto antes de reemplazarlo; b) vida del producto antes de reemplazar sus componentes principales. Desde un enfoque técnico se entiende por durabilidad el periodo de tiempo durante el cual un producto puede ser efectivamente utilizado con un rendimiento y unos requerimientos de funcionalidad por encima de ciertos valores mínimos.

Durabilidad, conformidad, y fiabilidad, son dimensiones de la calidad estrechamente relacionadas y suelen plasmarse en normas y estándares. Estas dimensiones resultan especialmente importantes en la fabricación y comercialización de bienes industriales o de consumo duradero.

La capacidad de servicio, que es la dimensión enunciada más tardíamente está obteniendo un grado de importancia creciente. Se concreta en cuestiones como un servicio rápido,

costo bajo de mantenimiento, y establecimiento de una relación de carácter profesional, entre usuario y proveedor.

La estética, al contrario que la dimensión anterior siempre ha formado parte del concepto de calidad. Se refiere a la respuesta y las reacciones del cliente ante características del producto tales como tacto, sabor, olor, vista, oído, etc. Se trata de una dimensión que, en alguna medida, depende del juicio de cada persona.

Por último, la calidad percibida, refleja la percepción de calidad asociada a determinados productos en función de la imagen y la reputación que se tienen de los mismos, con independencia de que se haya tenido una experiencia de consumo.

3.1.4 Evolución de los enfoques de gestión de la calidad

La evolución de la gestión de la calidad se ha producido en 4 grandes saltos o fases: inspección, control de calidad, aseguramiento de la calidad y gestión de la calidad total. En realidad, la inspección y el control de calidad no pueden considerarse como enfoques de dirección propiamente dicha, ya que, como veremos, están únicamente orientados a resolver problemas de carácter operativo y tienen escasa influencia en la dirección. Los dos grandes enfoques de dirección serían por tanto el aseguramiento y gestión de la calidad total, constituyendo los otros dos mencionados los orígenes de su evolución.

Es importante resaltar que, tal y como muestra la figura 3.4 la secuencia de estas frases o etapas de gestión de la calidad evoluciona hacia una visión cada vez más global, de tal modo que los enfoques más nuevos abarcan a los anteriores. Esta evolución se produce sin rupturas, e incluso la aplicación de unos enfoques u otros puede ser simultánea en la práctica por parte de la empresa; aunque existen saltos cualitativos importantes al pasar de un enfoque a otro.

Tal como muestra la figura 3.4, si nos desplazamos hacia abajo el énfasis se pone en los aspectos más específicamente técnicos y operativos de la calidad, atendiendo a la detención de errores y con una visión reactiva y orientada exclusivamente hacia el producto. Si nos desplazamos hacia arriba el enfoque se hace más proactivo, orientándose a la prevención, a los sistemas y a las personas. Si tuviésemos que definir la orientación de los enfoques con una sola palabra, podríamos, como muestra la tabla 3.7 asociar la inspección con el producto, el control de calidad con los procesos el aseguramiento de la calidad con los sistemas, y la gestión de la calidad total con las personas. Esquema que no necesariamente tiene que ser interpretado en un sentido excluyente, sino mas bien al contrario, ya que como hemos visto en la figura 3.4, las orientaciones o enfoques pueden tener carácter acumulativo. Así una orientación hacia las personas no excluye, en principio, un interés por los sistemas, procesos y productos.

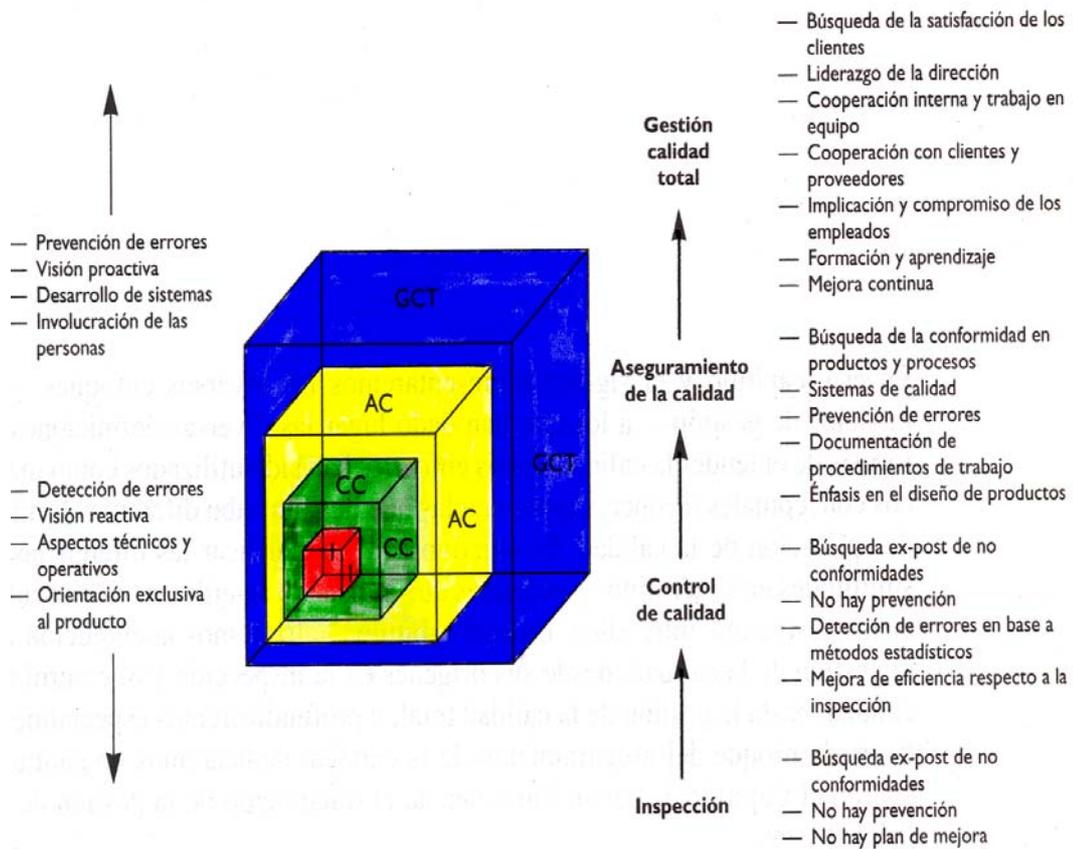


FIGURA 3.4: EVOLUCIÓN DE LOS ENFOQUES DE GESTIÓN DE CALIDAD

TABLA 3.7: Enfoques de gestión de la calidad y sus orientaciones básicas

↻	Gestión de la calidad total (personas)
↻	Aseguramiento de la calidad (sistemas)
↻	Control (procesos)
	Inspección (productos)

3.1.5 Control de la calidad por inspección y control de la calidad

Tradicionalmente el término calidad ha estado asociado a la calidad del producto. Esto supone poner toda la atención en la función de producción y reducir a ella el problema. El objetivo era que el producto cumpliera con unos requerimientos y evitar que los defectos llegaran al mercado. El funcionamiento del departamento de calidad quedaba limitado en un

principio a la primera función de inspección. La calidad era problema de los departamentos de producción e inspección.

3.1.5.1 Control de la calidad por inspección

El control de calidad por inspección está enraizado en los talleres de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, donde las labores de producción e inspección están separadas y son desarrolladas por personas distintas, siendo el inspector el responsable de la calidad. Durante los primeros años del siglo XX se van definiendo las tareas del inspector y refinándose los métodos de inspección. Esta evolución llevó desde la mera observación visual por parte del maestro, de las tareas realizadas por los aprendices y oficiales, hasta el establecimiento de herramientas y medidas que permitían detectar si el producto cumplía con las especificaciones y características establecidas.

La inspección de la calidad abarcaba una serie de actividades muy limitadas, como era recontar, medir, y separar las piezas defectuosas. Además la actividad de inspección se realizaba sobre el producto final, y todos aquellos que no tenían conformidad con la especificación eran desechados o reparados. Se trataba, pues, de un sistema que no incorporaba ninguna actividad de prevención ni ningún plan de mejora. Lo cual implica elevados costos y no contribuye suficientemente a mejorar la eficiencia y la eficacia.

3.1.5.2 Control de la calidad

Está basado en el desarrollo de técnicas estadísticas simples y métodos de representación gráfica, que permitieran ver cuándo las variaciones superaban el rango aceptable. Las técnicas de muestreo se desarrollan partiendo de la base de que la inspección del cien por cien de las piezas es ineficiente. Para solucionar este problema se desarrollaron técnicas que aseguran que inspeccionando un número de piezas defectuosas de un lote.

Estos métodos de muestreo y de control del proceso se popularizan durante la segunda guerra mundial en estados unidos, donde fueron aplicados de modo masivo permitiendo inspeccionar con un número limitado de personas grandes cantidades de productos.

El proceso de control de la calidad, basado en métodos estadísticos, sigue siendo responsabilidad del departamento de producción, que debe conseguir que los productos se ajusten a las especificaciones –atributos y características– establecidas. Aquí el proceso de detección de errores y corrección de los mismos sigue siendo reactivo, ya que se produce una vez finalizado el output, sin que se propongan actividades de prevención. En este sentido, si bien el control de calidad representa un avance significativo respecto a la inspección, ya que es económicamente más eficiente, adolece todavía de los problemas del enfoque precedente: es rígido y mecánico, no es preventivo, y se limita a las funciones productivas, no implicando al resto de la organización.

Una vez que el control de la variación de los procesos y la detección de los errores se realice de modo efectivo, los especialistas enfocarán sus esfuerzos hacia el diseño de métodos de trabajo que permitan evitar los errores antes de que éstos ocurran. Fruto de estos esfuerzos surgen los enfoques de aseguramiento de la calidad y de gestión de calidad total que examinaremos a continuación.

3.1.6 El aseguramiento de la calidad

El origen de este enfoque surge de la necesidad de la industria militar y espacial de estados Unidos, durante los años cincuenta y sesenta, de ofrecer productos ajustados a unas especificaciones dadas. El diseño de los productos, su fiabilidad y rendimiento, pasarán a ser en éstos años factores clave de competitividad, exigiendo el trabajo coordinado de todos los departamentos que participan en el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento del producto.

Este enfoque supone un salto cualitativo importante en la evolución de la gestión de la calidad. En primer lugar pasamos de un enfoque de detección, en el que el objetivo es encontrar el error y el culpable del error, a un enfoque de prevención en el que lo importante es encontrar las raíces del problema y corregirlas, buscando soluciones y estandarizando estas soluciones para evitar que vuelvan a producirse errores. Esto se logra dirigiendo los esfuerzos de la organización hacia la planificación de procedimientos de trabajo y el diseño de productos que permitan prevenir los errores desde su origen. En segundo lugar la calidad pasa de un enfoque limitado a un enfoque más amplio en los que se implican otras partes de la organización.

Así, pues, el aseguramiento de la calidad es un sistema que pone el énfasis en los productos, desde su diseño hasta el momento del envío al cliente, y concentra sus esfuerzos en la definición de procesos y actividades que permitan la obtención de productos conforme a unas especificaciones. El objetivo que se persigue con este enfoque es doble: en primer lugar, que no puedan llegar al cliente productos y servicios defectuosos: y en segundo lugar buscar la manera de evitar que los errores se produzcan de forma repentina.

Para conseguir estos objetivos, el establecimiento del sistema de aseguramiento de la calidad desarrolla un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas, necesarias para proporcionar a los clientes la confianza de que un producto o servicio satisface determinados requisitos de calidad.

Pueden identificarse los conceptos o factores clave que sirven de base a este enfoque. Entre ellos los más importantes a señalar son: la prevención de errores, el control de la calidad, la implicación de un amplio grupo de unidades organizativas en el sistema implantado; el énfasis en el diseño del producto; uniformidad y conformidad de procesos y productos; así como la búsqueda del compromiso de los trabajadores para que los errores no se produzcan.

1 **Prevención de errores.** El primero de los elementos enunciados asume que es menos costoso evitar los errores que permitir que se produzcan. En este sentido Juran (1951) aborda la cuestión de los costos de la calidad desde una nueva óptica, preguntándose qué nivel de calidad es suficiente. A lo cual responde dividiendo los costes de la calidad en evitables y no evitables, y señalando que los segundos se corresponde con los costos de prevención. Los costes evitables serán los derivados de la falta de calidad en los productos y procesos que provocan pérdidas en materiales, horas de trabajo dedicadas al reprocesamiento y reparación, atención de reclamaciones, y las pérdidas financieras y de mercado resultantes de consumidores insatisfechos. Juran afirma que invirtiendo en medios para prevenir los errores, antes de que éstos se produzcan, se van a reducir los costos – costos evitables–, de tal modo que los retornos de la inversión en estos esfuerzos de prevención serán positivos. Este razonamiento de carácter económico, que alude al valor de la inversión en prevención, estimula el interés de los directivos por un problema que hasta ese momento era sólo de los ingenieros y del personal técnico.

2 **Control total de calidad.** Otro de los conceptos que sustenta el enfoque de aseguramiento de la calidad es el denominado control total de la calidad (Feigenbaum, 1956). Este concepto implica que no pueden obtenerse productos de calidad si el departamento de producción es el único implicado. Feigenbaum pone el énfasis en que la calidad es trabajo de todos en consecuencia el control de la misma debe abarcar desde el diseño del producto hasta la entrega del cliente. Por esto define tres tipos de control: el del diseño, el de inputs, y el de procesos productivos, siendo la responsabilidad última del control de calidad de la dirección general. Se remarca aquí, al mismo tiempo, la necesidad de un nuevo tipo de profesional de la calidad, con habilidades de planificación y coordinación, que establezca estándares y medidas de calidad.

El control de la calidad exige el diseño de un sistema de calidad que integre e interconecte las diferentes funciones de la empresa con un objetivo común. El sistema garantiza la coordinación necesaria entre unidades y se convierte en el eje central de la aplicación de

este enfoque. El aseguramiento de la calidad supone por tanto una visión sistemática de la gestión de la calidad que no se da en los enfoques vistos anteriormente.

3 Énfasis en el diseño de los productos. Otro factor en que se apoya el enfoque de aseguramiento de la calidad es el énfasis en el diseño de los productos, que se concreta en una disciplina, la ingeniería de la fiabilidad. El objetivo fundamental de este tipo de diseños es asegurar un funcionamiento aceptable del producto a lo largo del tiempo o de su vida útil.

4 Uniformidad y conformidad de productos y procesos. Asimismo el diseño del producto y del proceso de producción da lugar a unas especificaciones de trabajo. Si la producción se desarrolla en conformidad con dichas especificaciones, y los procesos se desarrollan de manera uniforme, aseguramos que el producto estará libre de defectos o que estos disminuirán sustancialmente, cumpliéndose los requisitos de fiabilidad, durabilidad y rendimiento

5 Compromiso de los trabajadores. Por otra parte el movimiento de cero defectos, introduce en el enfoque de aseguramiento la atención a los recursos humanos. Esta propuesta afirma que si la dirección exige un trabajo perfecto, el camino para obtenerlo es motivando a los trabajadores y monitorizando los procesos, las tres fuentes de error son: La falta de conocimiento, la falta de atención y la falta de medios. Si la dirección procura que no se den estas circunstancias, y si los trabajadores están motivados, los errores no de producirán o disminuirán sustancialmente. La principal aportación del movimiento cero defectos es una filosofía de trabajo en la que el único estándar aceptable es un trabajo perfecto.

3.1.7 Características de la gestión de la calidad total

La evolución hacia este nuevo enfoque es consecuencia de los retos que tiene que enfrentarse las empresas en los mercados actuales, estos retos pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- *Globalización de los mercados*, que ha supuesto un aumento de la competencia al añadir a ésta la dimensión internacional, con una amplitud no conocida anteriormente.
- *Clientes exigentes*, con expectativas y necesidades cambiantes y cada vez más elevadas.
- *Aceleración del cambio tecnológico*, que implica ciclos de vida del producto cada vez más cortos.
- *Éxito de las formas pioneras* más globales y participativas de gestión de la calidad.

Para poder hacer frente a estas nuevas exigencias no es suficiente con los enfoques de calidad precedentes. Es necesario un sistema de gestión de la calidad orientado en su totalidad al mercado; una orientación que, además ha de tener carácter multidimensional y ha de ser dinámica. El carácter multidimensional viene dado porque es necesario competir, dentro de cada sector industrial globalizado, en diseño, precio, tiempo, calidad. capacidad de distribución e imagen de marca. La orientación de la calidad ha de ser también dinámica porque todas las variables que configuran las formas de la competencia, en los actuales mercados caracterizados por grados variables del monopolio, están sometidas a cambios frecuentes como consecuencia de la orientación de las empresas a innovar sus servicios o productos, a diferenciarlos, o a bajar sus costos. En estos mercados pierde importancia el consumidor anónimo y gana el consumidor fidelizado: el cliente.

3.1.8 Diferencias entre los enfoques de aseguramiento de la calidad y de gestión de la calidad total

A partir del análisis realizado de los diferentes enfoques de gestión de la calidad, puede apreciarse la riqueza y profundidad de los cambios que se han producido desde sus inicios hasta los enfoques mas actuales. La inspección y el control de la calidad, al tener su atención exclusivamente centrada y limitada en los procesos directos de producción, no tienen impacto relevante en procesos indirectos de gestión, y por tanto no pueden considerarse como enfoques de dirección general. En realidad, estos enfoques deberían ser

clasificados como precursores de la gestión de la calidad. En cambio, el aseguramiento de la calidad y la gestión de la calidad total, si que tienen un impacto relevante en los procesos generales de dirección.

Dado que los enfoques de aseguramiento de la calidad y gestión de la calidad total los hemos mencionado en los apartados anteriores, poder ahora agrupar las diferencias entre ellos atendiendo a las siguientes categorías: concepto de calidad, filosofía de gestión, impacto sobre la competitividad de la empresa, objetivos, alcance o globalidad del enfoque, métodos de trabajo, gestión de los recursos humanos, y asignación de responsabilidades.

1 Concepto de calidad subyacente. En cuanto a la visión y el concepto de calidad subyacente al AC, en este enfoque la calidad es vista como un problema a resolver a través del establecimiento de sistemas de prevención.

La calidad se entiende aquí como la conformidad con unas normas que expresan las especificaciones. La falta de calidad se mide por el número de desviaciones registradas respecto de la norma.

Por contra la GCT entiende la calidad como una oportunidad para competir. Satisfacer las expectativas del cliente, maximizar el valor para el usuario, y la búsqueda de la excelencia son, en este enfoque, las claves para alcanzar la calidad.

2 Filosofía de gestión. En segundo lugar, en lo que se refiere a la filosofía de gestión que propone el AC, esta es de carácter predominantemente estadístico. Consiste en mantener el cumplimiento de unas especificaciones. La orientación del enfoque es producir bienes y servicios con el nivel de calidad adecuado, desde el diseño del producto hasta la entrega del producto al cliente.

Respecto a la GCT filosofía de gestión es un proceso dinámico, de mejora continua, en el que se persigue mejorar la calidad en todos los aspectos de la organización, buscando la satisfacción del cliente y la del resto de los grupos de interés de la organización.

El carácter predominantemente estático del aseguramiento de la calidad en contraste con el carácter dinámico de la gestión de la calidad puede ser ilustrado utilizando las dimensiones que se aprecia en la figura 3.5, el enfoque de aseguramiento presenta unas exigencias a la empresa que, una vez alcanzadas, la sitúan en un plano de logros en su trayectoria de mejora de la calidad. En dicho plano debe mantenerse para ir renovando las certificaciones conseguidas, y solamente deberá introducir mejoras sustanciales en el caso a que aspire a situarse a un plano superior, que pueda proporcionarle la obtención de certificaciones mas exigentes. La dimensión de mejora de la calidad que caracteriza a la GCT se representa sin embargo a lo largo de un eje vertical, dado que el proceso no se produce a niveles discontinúes o estancos, sino en forma de mejora continua y fundamentalmente dinámica.

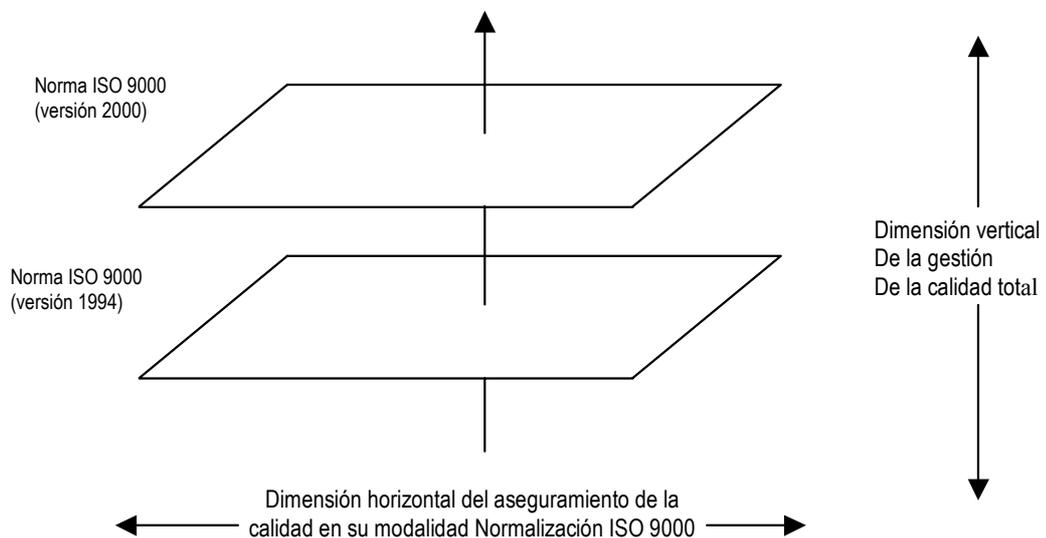


FIGURA 3.5 : DIMENSION HORIZONTAL Y VERTICAL DE LA CALIDAD

3 Impacto sobre la competitividad de la empresa. Aunque se han realizado numerosos estudios para probar el impacto de la gestión de la calidad sobre la competitividad de la empresa, los resultados no son concluyentes, entre otras razones por la dificultad de aislar los efectos de la aplicación de las herramientas de mejora de la gestión, que proporciona la GC, de otras variables que hayan podido incidir en los cambios en la competitividad de la empresa, tanto en el ámbito interno de la misma, como desde el entorno.

Sin embargo, si hay bastante acuerdo en que el impacto de la GCT sobre la competitividad es mayor que el del AC. Aunque para una empresa que parte de un nivel bajo de calidad. implantar un sistema de aseguramiento de la calidad le permite una mejor organización y control de sus procesos y, seguramente, un mejor acceso a mercados y clientes que exijan determinadas certificaciones; al tener este enfoque una orientación exclusivamente interna, y dar poca importancia a la competitividad y a los cambios necesarios para su mejora, se transforma simplemente en un requisito mínimo o en una calificación previa para acceder a mercados. A medida que mas empresas del sector consigan esa calificación, la ventaja obtenida desaparecerá. La GCT tiene, sin embargo, una perspectiva mas abierta al entorno y mas dinámica respecto a las mejoras necesarias para competir. El desarrollo de los principios que subyacen en la GCT, que como hemos visto incluyen extremar la atención a la satisfacción de los clientes, el compromiso con los objetivos de la empresa de directivos y empleados, la cooperación, la mejora continua la formación, así como generar un clima de confianza y aprendizaje en la organización, parece que en principio, por las razones apuntadas, si que tienen mas posibilidades de incidir en la mejora de las capacidades de la empresa y en su competitividad en el mercado.

4 Objetivos. La tercera de las categorías enunciadas hace referencia a los objetivos. En el AC se busca hacer las cosas bien a la primera. Se trata de minimizar los costos derivados de errores, tanto para la empresa como para el usuario, cumpliendo una serie de normas explicitadas en un sistema documental que permite prevenir los errores en todas las fases del proceso de producción. Se trata en definitiva de maximizar la eficiencia.

La GCT persigue, sin embargo, como una característica esencial de su enfoque, la satisfacción de los clientes externos e internos, poniendo un énfasis especial en la eficacia y diseñando objetivos de carácter estratégico que orienten a la empresa hacia el mercado.

5 Alcance o globalidad del enfoque. Estos dos enfoques de gestión de la calidad también se diferencian claramente en su alcance o globalidad, el AC implica fundamentalmente a todos los departamentos relacionados con el proceso productivo, mientras que la GCT alcanza a toda la organización, con la dirección general especialmente comprometida y ejerciendo la función de liderazgo. En el enfoque de GCT todos los procesos de la organización, directos e indirectos, se ven afectados.

6 Métodos de trabajo. Respecto a los métodos de trabajo empleados, el AC se centra en el establecimiento de estándares y en la sistematización de los procesos a través de la elaboración e implantación de un sistema documental. El nivel de desempeño de los procesos se evalúa aquí en función del número de desviaciones respecto a la norma documentada.

En la GCT, en lo que se refiere a los métodos de trabajo, lo más relevante es que, dando por descontado el correcto establecimiento de procesos y estándares, se precede al diseño de un sistema de objetivos. Para ello se parte de la base que proporciona el conocimiento y la comprensión de las necesidades y expectativas de los clientes, y se cuenta con la movilización de toda la organización en pro del cumplimiento de esos objetivos. Asimismo, se cuenta con un amplio repertorio de técnicas y herramientas para facilitar estas decisiones y tareas. Su evaluación se realiza utilizando indicadores establecidos por la organización, que permitan medir el nivel de cumplimiento.

7 Gestión de los recursos humanos. La gestión de recursos humanos también es distinta en cada uno de estos dos enfoques de gestión de la calidad. En el AC se busca que las personas tengan las aptitudes adecuadas para el desempeño de su tarea según las especificaciones. Los procedimientos se establecen determinando quien realiza cada tarea y el modo como debe realizarla. En el AC se da una importancia secundaria al trabajo en equipo y a otros dispositivos de enlace. La coordinación se logra a través del establecimiento de normas.

Para la GCT, el desarrollo, implicación y compromiso de las personas, son consideradas como una fuente de ventaja competitiva que permite la diferenciación respecto de los competidores. La formación continua, el desarrollo de carreras, la motivación de los empleados vía programas de reconocimiento, la delegación de poder y, sobre todo, la cooperación, el trabajo en equipo y el desarrollo organizativo, son las guías de la GCT en los recursos humanos de la empresa. Todo ello es coherente con el hecho de que las habilidades normalizadas, la adaptación mutua y la cohesión a través de valores y creencias compartidas, son aquí mecanismos de coordinación extremadamente importantes.

8 Asignación de responsabilidades. Por último, la asignación de responsabilidades es otra de las cuestiones en las que emergen diferencias. En el AC, el departamento de calidad se encarga del diseño de estándares, elaboración y control de documentación, así como de la implantación de los estándares y control de su cumplimiento. El equipo de dirección realiza un seguimiento periódico de los indicadores de resultados del sistema, y el énfasis se pone en el control.

En el caso de la GCT, el departamento de calidad se encarga de establecer objetivos y diseñar planes de actuación relacionados con la calidad. Asimismo, los directivos del departamento de calidad impulsan el diseño y desarrollo del plan de formación y ejercen como consultores para otros departamentos. Todos los miembros del equipo de dirección son responsables de liderar la GCT y de hacer el seguimiento del sistema. La GCT

propugna, además, el autocontrol de todos los miembros de la organización en su ámbito de responsabilidad.

En definitiva, mientras en el AC el directivo sigue ejerciendo la función de control, en la GCT ejerce, sobre todo, la de líder y facilitador, fomentando un estilo de dirección participativo. De este modo en la GCT la responsabilidad del proceso reside en los múltiples individuos o equipos que lo gestionan, porque así lo permiten los niveles de liderazgo y participación que implica esta forma de gestión.

3.2 Gestión de la calidad y organización

3.2.1 Repercusión de la GC sobre el diseño de puestos

3.2.1.1 Grado de especialización de los puestos de trabajo

En cuanto al grado de especialización o división horizontal y vertical de los puestos de trabajo, en el caso de la implantación de un sistema de gestión de calidad basado en el enfoque de aseguramiento, las normas de uso general que están siendo adoptadas por las empresas (ISO 9001:1994, ISO 9000:2000) no explicitan la necesidad de ningún cambio. De hecho los trabajadores de los departamentos afectados por este enfoque pueden continuar desarrollando la misma variedad de tareas, sin que se produzcan necesariamente cambios en la capacidad de planificación de las mismas; es decir: ausencia de cambios en las formas de división horizontal y vertical del trabajo. No obstante pueden llevarse a cabo o producirse cambios sobre el diseño de puestos, como consecuencia de la implantación de un sistema de aseguramiento, y es necesario señalar que en las diferentes observaciones que pueden realizarse al respecto los resultados son cualquier cosa menos uniformes y unívocos.

En efecto, podemos encontrar empresas que implantan sistemas de aseguramiento basados únicamente en la documentación de los procedimientos, y en las que no se produce ampliación horizontal ni vertical del puesto; empresas que implantan un sistema avanzado de aseguramiento, en el que existen elementos de GCT, y en las que se produce

una ampliación del puesto en sentido horizontal y vertical; y empresas que al implantar un sistema de aseguramiento sí modifican el puesto de trabajo en alguna medida, ampliándolo sólo en su dimensión vertical, o en su dimensión vertical y horizontal (esto último ocurre, principalmente, en empresas con diseños organizativos rudimentarios o poco desarrollados). En cualquier caso puede decirse que, en general, como fruto de la necesaria formalización y documentación de los procesos en la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad, los operarios tienen una visión más completa de su trabajo y, por tanto, es probable que ganen en capacidad de control sobre el mismo; al mismo tiempo que ello establece condiciones para una mayor participación: participación por sugerencias u otras formas más completas de participación.

En el caso de la gestión de la calidad total la implantación de este sistema, con sus objetivos de atención al cliente y mejora continua, implica la necesidad de que todos los trabajadores se sientan parte de la empresa y comprendan la trascendencia de su trabajo sobre el resultado final de la misma. Si la aplicación equilibrada del conjunto de principios motores de la GCT facilita que se alcancen las condiciones de socialización, clima organizativo o valores comunes, y participación y compromiso, parece lógico que dentro de los límites marcados por el área de responsabilidad asignada y por la naturaleza del trabajo a desarrollar, se incremente la gama de actividades de cada trabajador y su capacidad de planificación sobre las mismas.

Además, si como instrumento de mejora se desea implantar la filosofía del cliente interno reforzando la participación del trabajador en la mejora de las tareas que desarrolla; es necesario incrementar su capacidad de planificación de las mismas, y aumentar la variedad de tareas que es capaz de desempeñar (aunque no las desarrolle habitualmente), produciéndose por tanto una ampliación horizontal y vertical del puesto de trabajo. Por otro lado, si se quiere aumentar la coordinación entre trabajadores y mejorar su enfoque para la mejora de los procesos, es necesario que éstos conozcan tanto su tarea como las de los que les preceden y suceden en el proceso; lo cual facilita la creación de puestos de trabajo,

unidades organizativas y estructuras, en las que trabajadores agrupados en equipos o en unidades laterales conocen y gestionan procesos de trabajo.

3.2.1.2 Grado de formalización y estandarización

Cuando se implanta en una empresa un sistema de aseguramiento de la calidad, la finalidad que se persigue es garantizar la calidad de una manera documentada. Esto lleva implícito un incremento en la formalización de las tareas de aquellos miembros de la organización afectados por el proceso de documentación. De hecho, los principios que forman la base del enfoque de aseguramiento llevan a la formalización de políticas de gestión, procesos operativos y métodos de evaluación, que limitan la actuación de los miembros de la organización y garantizan la conformidad y calidad de los productos o servicios de la empresa. Así, pues, se incrementa el lado de formalización y estandarización mediante la incorporación de normas y documentación aplicables tanto a los puestos como a los flujos de trabajo.

En el caso de la gestión de la calidad total también se produce un incremento en el grado de formalización y estandarización, pero de modo distinto. La formalización no es tan consustancial a la GCT como lo es al AC, y su grado de aplicación dependerá de hasta qué punto la organización se plantee como objetivo la rigurosa conformidad de procesos y productos, y de si además más de aplicar GCT desea obtener la certificación en base una normativa de aseguramiento de la calidad. Si la GCT se aplica en una organización que o bien ya tiene como experiencia previa la aplicación de AC, o bien la está aplicando simultáneamente a la GCT, el grado de formalización de los proceso de trabajo será previsiblemente alto.

Por otro lado, al abarcar la GCT con mayor profundidad a todos los departamentos, y al orientar la realización de las tareas a los requerimientos del cliente, el grado de variabilidad de las diferentes actividades y procesos se eleva, ya que el número de contingencias que pueden presentarse es mayor. Por tanto la formalización de procesos es insuficiente, o en

algunos casos puede ser incluso inadecuada, para asegurar una regularidad de los comportamientos en el trabajo, razón por la cual se llevan a cabo formas de estandarización no sólo a través de la aplicación de normas sobre la tarea o el flujo de trabajo, sino también mediante el control del rendimiento o la normalización de los resultados, y mediante la normalización del comportamiento a través de la socialización.

La formalización del trabajo en la GCT presenta otra diferencia significativa con respecto a la del aseguramiento. En la GCT el proceso de elaboración de normas para estandarizar las tareas es, frecuentemente, participativo. Además, en los casos en que las normas son elaboradas contando con la opinión de los miembros de la organización, su asimilación es más sencilla y más completa. Un importante producto adicional de esta forma de implantar la formalización es la socialización, que queda reforzada con los valores y creencias que la dirección, a través del liderazgo, trata de difundir y establecer en la organización.

3.2.1.3 Formas de control del rendimiento y los resultados

Este control se realiza a través del uso combinado de la supervisión, la normalización de procesos y la normalización de los resultados. La diferencia entre el enfoque de aseguramiento y el de GCT radica básicamente en la composición de dicha combinación. Mientras en el primero el control se realiza, fundamentalmente, a través de la normalización de procesos de trabajo, que sustituyen a la supervisión directa; la implantación del enfoque de GCT supone el uso amplio de la normalización de los resultados, la socialización y los valores comunes, como mecanismo de control.

Por consiguiente la implantación de la GCT implica el control del rendimiento a través del uso de variables de acción directa y de acción indirecta. En lo que se refiere a variables de acción directa, el uso de los niveles adecuados de centralización y formalización permitirá obtener recompensas intrínsecas en la realización de las diferentes actividades y facilitará la participación y la socialización. En lo que respecta a las variables de acción indirecta, éstas corresponden al despliegue de políticas orientadas a la gestión de personas y al

establecimiento de sistemas de remuneración y reconocimiento, para fomentar actitudes positivas en el esfuerzo por satisfacer al cliente externo e interno, la cooperación y en general, el comportamiento acorde con los principios de la GCT.

3.2.1.4 Grado de formación y grado de adoctrinamiento

La implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad incide en la formación de quienes realizan las diferentes tareas, según sus respectivas necesidades de formación. Ahora bien, el contenido de la formación suele ceñirse, de forma bastante estricta, a lo necesario para el cumplimiento de las especificaciones contenidas en el sistema documental, de modo que la formación, en lo que se refiere a su contenido, es tratada de forma muy limitada. La norma ISO 9001 exige que cada departamento identifique los requisitos de formación necesarios para desempeñar las tareas que le competen, así como que se organice la formación pertinente y el registro documental de asistencia a los correspondientes cursos. Así mismo se especifica que las actividades más complejas deben ser realizadas por personal con la debida calificación.

Cuando el enfoque es de gestión de la calidad total, la formación resulta un elemento clave. De hecho es considerada como una de las fases imprescindibles en el proceso de implantación y como uno de los factores básicos de éxito junto con el liderazgo de la dirección. Si se quiere aplicar el principio de que el trabajador que desempeña la tarea es quien debe gestionarla, porque es quien tiene un conocimiento más directo de la misma, es necesario asegurarse que posee los conocimientos necesarios para ejecutar y controlar las tareas que le han sido encomendadas. La formación, en el contexto de la GCT, se concibe de modo amplio tanto en alcance -todos los miembros de la organización- como en contenidos. El criterio guía que se aplica es que quien realiza el trabajo es quien debe recibir la formación. Por tanto, es en los niveles operativos de la organización donde se van a concentrar los mayores esfuerzos, si bien es cierto que los primeros en formarse van a ser los miembros del comité de dirección quienes, además de asimilar los conceptos de la GCT, van a ser responsables de transmitirlos al resto de la organización. Así pues, la formación

se realizará para todos y en cascada, descendiendo por la jerarquía de la organización, de este modo se compromete a la dirección con la GCT y se mejora el aprovechamiento de los recursos.

En lo que se refiere a los contenidos de la formación, éstos serán amplios e incluirán, entre otros, desde conocimientos relacionados con el puesto de trabajo y técnicas de seguridad, hasta actividades de desarrollo organizativo como formación en métodos de evaluación y coordinación, trabajo en equipo, administración del tiempo, técnicas de presentación, y enfoque de atención al cliente. El contenido específico de cada actividad formativa estará en función de quienes vayan a recibirla, pudiéndose distinguir cuatro grandes grupos: alta dirección, mandos intermedios y técnicos, personal de línea, y miembros de los equipos de mejora. Así mismo la formación, además de ser adecuada en contenido, debe serlo en el modo y tiempo de impartirla. Los miembros de la organización deben recibirla justo a tiempo, es decir, cuando vayan a utilizarla en el desempeño de sus tareas; de lo contrario el efecto de la misma puede ser contraproducente, provocando desmotivación y desaprovechamiento. Respecto a los métodos a utilizar, debe combinarse la formación interna con la que se imparte desde el exterior, y la formación en el aula con la formación en el puesto. Igualmente se contempla la adquisición de habilidades en el exterior de la organización.

Otro de los requisitos de la formación es su carácter continuo, ya que va a ser uno de los medios para generar nuevas actitudes y facilitar el desarrollo de una nueva cultura basada en los principios específicos de la GCT. Esta afirmación es especialmente relevante para las pequeñas y medianas empresas, que con frecuencia carecen de políticas articuladas de dirección de recursos humanos. Una de las conclusiones obtenidas en un estudio empírico realizado con una muestra de pequeñas y medianas empresas valencianas, subraya que conseguir motivación para la calidad es el tema más frecuente de los programas de formación desarrollados en el marco de los planes de calidad de estas empresas, y también es el aspecto de la formación al que los directivos atribuyen más importancia. En contraste

con ello eran muy escasas las medidas aplicadas por estas empresas para motivar desde sus direcciones de recursos humanos, y la mayor parte de las intervenciones en el marco de los programas de calidad estaban más orientadas a los aspectos técnicos que a los humanos. La mayoría de estas empresas confiaba casi exclusivamente en la formación como el medio para motivar y ordenar los incentivos de los empleados.

Por consiguiente, la formación, tal y como ha venido aplicándose en la gestión de la calidad, tiene el doble papel de cambiar aptitudes (conocimiento y habilidades) y actitudes (asunción de principios, creencias y valores), de forma tal que es posible diferenciar en estos programas de formación para la calidad entre tres tipos de conocimiento:

1. Conocimiento general de métodos para la mejora de la calidad.
2. Aplicación de estos métodos a la empresa en particular, lo cual requiere un entendimiento profundo de los problemas específicos de la misma.
3. Conocimiento de los principios, valores y objetivos de la organización, con el fin de ordenar los incentivos y socializar.

Así, pues, la formación, especialmente en la GCT, se convierte en una variable de diseño de capital importancia como elemento de socialización e integración de los miembros de la organización, y va a proporcionar flexibilidad y capacidad de coordinación y control a la misma, facilitando su adaptación a los cambios especialmente cuando éstos son continuos e inciertos, y facilitando así mismo la asimilación de nuevos conocimientos o tecnologías y la capacidad de su transferencia. La formación es, de este modo, la variable de diseño organizativo que permite la verdadera implicación de todos los miembros de la organización en la mejora continua de los procesos, actuando tanto como variable de acción instrumental directa que lleva a los miembros de la organización a asimilar las habilidades necesarias para el desempeño de las tareas como en la forma de variable de acción indirecta en la medida en que influye sobre las actitudes y modifica comportamientos.

En lo que se refiere al adoctrinamiento de los miembros de la organización en la GCT, éste no va a realizarse principalmente mediante el discurso teleológico o la exhortación doctrinal. Además del importante papel de la formación ya analizado anteriormente, la implantación de un sistema de GCT supone la realización de actividades de socialización y comunicación a través de diversos medios: conversaciones con directivos, pizarras, murales y revistas; introducción de estímulos a la participación, tanto de directivos como de empleados, y tanto en forma individual como en equipo; y establecimiento de recompensas mediante la vinculación participación por sugerencias-reconocimiento y formas destacables de desempeño-reconocimiento. Estas actividades van a facilitar la asimilación, por parte de empleados y directivos, de la visión y la misión de la compañía, así como el establecimiento de un conjunto de valores compartidos. Esta forma de adoctrinamiento sigue los criterios de gestión de la calidad al unir las ideas a la práctica, o vincular las ideas estrechamente a la forma de diseño de la organización y al uso de las variables de diseño. En este sentido, se trata de imbuir valores, metas y principios, a través del uso coherente y sistemático de variables relacionadas con la gestión de las personas y su comportamiento liderazgo, selección, formación y desarrollo, diseño de carreras profesionales, criterios de promoción y a través del diseño de los sistemas de recompensa y ordenación de incentivos que, actuando como variables de acción indirecta, tratan de cambiar actitudes y fomentar comportamientos.

En la tabla 3.8, presentamos el resumen de los cambios más importantes que se esperan en cuanto a las variables de diseño de puestos, al aplicar los enfoques de aseguramiento de la calidad y de gestión de la calidad total, tal como hemos descrito en estos epígrafes. No queremos, sin embargo, finalizar este apartado en señalar por una parte, la relación sistémica que guardan entre sí las variables de diseño de puestos y las variables de las demás dimensiones de diseño; y por otra parte destacar que, tal como hemos comprobado con las variables analizadas, mientras los cambios que implica el enfoque de aseguramiento se realizan básicamente a través de variables de acción instrumental directa, en el caso de la GCT se requiere el uso combinado de éstas y de las variables de acción indirecta.

TABLA 3.8 : Repercusiones de la gestión de calidad sobre el diseño de puestos

Variables	Aseguramiento de calidad	Gestión de calidad total
Grado de especialización o división horizontal	☹️No implica necesariamente cambios en este parámetro. En general el titular de este puesto conoce y desarrolla igual número de tareas, tras la implantación del sistema.	☹️Decremento importante en el grado de especialización. Se fomenta la visión amplia del proceso. Los titulares de los puestos conocen las tareas precedentes y sucesivas.
Grado de especialización o división vertical	☹️No supone cambios en la división vertical del trabajo en cuanto a capacidad de toma de decisiones, aunque sí que se incrementa la capacidad de inspección y control de los operarios sobre el resultado de la tarea.	☹️Decremento importante. Quien desempeña la tarea gana capacidad de toma de decisiones y de control sobre la misma.
Grado de formalización	😊😊Se produce un incremento en el grado de formalización de políticas de gestión, procesos operativos y métodos de evacuación. El incremento de formalización es sustancial especialmente en los niveles operativos: tareas, procesos, flujos de trabajo, y otras actividades susceptibles de formación.	😊😊Se incrementa la formalización del comportamiento de los miembros de la organización, en las unidades de trabajo con tareas más rutinarias, a través del establecimiento de normas, reglas, y normalización de tareas y flujos de trabajo. Sobre todo si se aplica simultáneamente con aseguramiento de la calidad. El incremento de normalización se produce en todas las unidades que componen la organización, a través de normas, reglas, criterios y pautas de comportamiento.
Formación	😊Se producen variaciones limitadas al proveer, a los miembros de las unidades afectadas por el sistema de la formación necesaria para manejar el sistema documental.	😊😊Se forma a todos los miembros de la organización. El objeto es dotarles de conocimientos suficientes para desarrollar sus tareas eficazmente y que tengan capacidad para decidir sobre las mismas. La formación se utiliza además para difundir y hacer que se asimilen los principios y valores de la GCT.
Adoctrinamiento	☹️En general no se observan y no se esperan cambios en esta variable con la aplicación de este enfoque.	😊😊Se vincula aquí la socialización al diseño de la organización, a través de diferentes medios y actividades de comunicación y participación, y formas de recompensa; y a través de variables ligadas a la gestión de las personas, tales como el liderazgo la formación y el desarrollo, o las formas de promoción. Todo ello facilita un mayor grado de socialización mediante la interiorización de la visión y misión de la empresa.

3.2.2 Repercusiones de la gestión de la calidad sobre la estructura organizativa

3.2.2.1 Agrupación de puestos de trabajo en unidades

La implantación de un sistema de gestión de la calidad, parece compatible con cualquier tipo de estructura departamental. Así mientras organizaciones ejemplares en el campo de la calidad como la planta IBM de Rochester, mantienen estructuras departamentales por funciones: otras, como el Grupo Antolín Irausa S.A., han diseñado unidades organizativas. La conclusión que parece obtenerse de la observación de estos casos es que la implantación de un sistema de gestión de la calidad no tiene por qué suponer, necesariamente, un cambio en el criterio de agrupación de unidades. No obstante, también podemos encontrar casos de empresas ganadoras de premios de calidad como Ericsson España, que han reducido los niveles jerárquicos de su estructura organizativa desde seis hasta tres y que han planteado nuevos criterios de agrupación de unidades poniendo más énfasis en la agrupación por grupos de clientes. A la vista de estos ejemplos se hace necesario profundizar en los cambios que implica sobre las unidades la implantación de un sistema de gestión de calidad, tratando de distinguirlos de cambios producidos por otros motivos, como puedan ser nuevas necesidades organizativas a las que tiene que hacer frente la organización por cambios en el entorno y/o en la estrategia de la empresa.

Otro factor que corrobora que los criterios para la formación de unidades no tienen que estar necesariamente afectados por la implantación de la gestión de la calidad, es que ni las normas ISO ni ninguno de los criterios del premio Europeo de la Calidad hacen referencia explícita a esta cuestión. Sin embargo, Conti y Goetschy Davis, insisten en que las estructuras funcionales altamente jerarquizadas y burocratizadas impiden la implantación efectiva de la GCT, y el mismo Conti y James afirman la necesidad de diseñar estructuras cuyas unidades estén agrupadas atendiendo a los clientes y a los procesos, más que a las funciones.

Sería necesario aclarar que la incompatibilidad entre la GCT y el criterio funcional de agrupación de unidades se produce en la medida en que los departamentos existentes

creen barreras que dificulten la comunicación y la conexión efectiva de los procesos. Por tanto, es necesario derribar las barreras existentes entre los departamentos y, para lograrlo, se pueden tomar iniciativas que van desde el cambio de criterio de agrupación de unidades hasta la implantación de flujos de información y autoridad horizontales, o el establecimiento de dispositivos de enlace. Es decir, antes de cambiar variables de diseño más «duras» o que tienen un carácter más permanente y -estable agrupación de unidades y tamaño de las mismas- se puede hacer uso de variables «blandas» o más fáciles de modificar sistemas de planificación, dispositivos de enlace o coordinación, y sistemas soporte de los procesos de información, para adaptar la estructura organizativa a las necesidades de la empresa.

Así, pues, podemos concluir que cualquiera que sea su enfoque, la implantación de un sistema de gestión de la calidad no tiene en principio que implicar, necesariamente, un cambio en la forma de agrupación de los puestos en unidades. Incluso si el enfoque de gestión de la calidad aplicado es de GCT, la organización puede mantener la estructura departamental existente reforzando al mismo tiempo la coordinación entre puestos y departamentos con diferentes dispositivos de enlace: grupos de trabajo, puestos de enlace o directivos de proyectos, y sistemas de información comunicación. El uso de estas variables más blandas -por que aun formando parte de la estructura organizativa pertenecen a la parte menos estable o permanente de la misma-, permitirá reforzar la comunicación, coordinación y control entre puestos y departamentos, y enfatizar la importancia de los procesos y la orientación a clientes, productos y servicios, sin modificar la forma básica de las unidades.

Es necesario señalar, sin embargo, que cabe también la posibilidad de que la implantación de la gestión de la calidad afecte a la agrupación de las unidades, en cuyo caso es más probable que el cambio venga de la mano de la GCT. En lo que se refiere a la aplicación del sistema de AC, sólo si tras la implantación del sistema documental se observan importantes interdependencias no tenidas en cuenta anteriormente cabe alguna posibilidad de reajustes departamentales. En el caso de la GCT podemos esperar que las modificaciones se

produzcan con más frecuencia, dada la necesidad por parte de la organización de adaptarse a la orientación a clientes, a los productos y servicios, y a la gestión integrada de los procesos. La GCT facilitará entonces el cambio desde una estructura con mayor importancia de las unidades funcionales, a otra en la que tendrán un peso específico mayor las unidades por producto, mercado, clientes o proyectos; o bien a una estructura matricial en la que haya un equilibrio entre unidades funcionales y por productos; o bien pueden darse otras formas como las compuestas por unidades laterales o superfuncionales, o por unidades espejo-imagen, que facilitan la coordinación transversal de la organización.

3.2.2.2 Tamaño de las unidades

Aunque la implantación de un sistema basado en el enfoque de aseguramiento, en principio, no tiene por qué implicar cambios en el tamaño de las unidades, el aumento en la formalización característico de este enfoque puede capacitar a la organización para ampliar el tamaño de las mismas. En efecto un incremento en la normalización de las tareas a reducir las necesidades de coordinación a través de la supervisión directa por lo que el ángulo de autoridad y el tamaño de las unidades implicadas en el proceso puede ser aumentando. Si nos atuviésemos, por tanto, estrictamente a los efectos que cabe esperar de la coordinación a través de la formalización, sí que podríamos esperar cierto aumento del tamaño de los departamentos afectados y la reducción de niveles jerárquicos y puestos directivos medios y bajos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el seno de los departamentos puede necesitarse también una coordinación de tipo interpersonal, en cuyo caso sería preferible no aumentar el tamaño para no obstaculizar estas relaciones de coordinación.

Este análisis se hace más complejo en el caso de la gestión de la calidad total. En la implantación de un sistema de gestión de la calidad basado en los principios de la GCT, es evidente que la organización va a buscar mejorar la comunicación entre sus miembros para que sea abierta y continuada, de modo que se facilite el desarrollo efectivo de procesos orientados a la mejora continua y a la satisfacción del cliente. Así mismo se fomentará el

trabajo en equipo y la cooperación informal en los departamentos, todo lo cual llevará a la necesidad de unas unidades no excesivamente grandes para facilitar las relaciones personales en el seno de los departamentos. Pero, por otro lado, la normalización de los procesos de trabajo facilita la ampliación del tamaño de las unidades y la reducción de niveles jerárquicos; además de que la existencia de un número excesivo de niveles jerárquicos entre quienes toman las decisiones y quienes las ejecutan, o entre quienes realizan propuestas de mejora y quienes las ratifican, desanimará a los trabajadores de línea en lo que respecta a las iniciativas y participación en los procesos de mejora.

Así, pues, el efecto de la implantación de un sistema de GCT es doble. Por una parte se puede incrementar el tamaño medio de las unidades de carácter operativa en las que se sustituye la supervisión y control directos por normas y formalización sobre la tarea o sobre el flujo de trabajo. Y por otro lado, el tamaño medio de la unidad se reduce en aquellas partes de la organización en las que la implantación del sistema de GCT hace, necesario estimular relaciones entre los miembros para facilitar la adaptación mutua. No podemos por tanto asegurar que domine el efecto de la mayor formalización, que llevaría a un aumento del tamaño de las unidades y a una reducción del número de niveles jerárquicos en favor de estructuras más planas.

Respecto de los niveles jerárquicos debe añadirse un argumento importante: el problema no está sólo en el número de niveles jerárquicos, sino en el papel que juegan éstos. De hecho es indispensable un cambio en el papel que juegan los mandos, pasando de meros supervisores a líderes de equipos de trabajo de carácter permanente. Así como también es necesario destacar el importante papel que cumplen los directivos medios en la gestión del conocimiento y de la información, con la que ello tiene de importancia para la adecuada implantación de la GCT.

3.2.2.3 Referencias o normas básicas que gobiernan con carácter estable a la organización

La estructura también está formada por el conjunto de referencias o normas básicas que gobiernan con carácter estable la formulación y el cambio de los planes y programas de una organización. Esto viene dado por el modo en que la dirección y la organización perciben la misión de la empresa y la forma en la que los objetivos fundamentales deben ser alcanzados; por la organización formal y las formas de dirección arraigadas en la organización, que establecen el marco para las decisiones y las acciones; y por las creencias y concepciones básicas dominantes en la organización, a partir de las cuales sus miembros interpretan y atribuyen significados y valores a las cosas. La cuestión, por tanto, es: ¿en qué medida se modifican estas referencias básicas al implantar un sistema de AC o de GCT?

La implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad no lleva, necesariamente, a modificaciones en las referencias o normas básicas que gobiernan de forma estable la organización. Como hemos dicho anteriormente la implantación del sistema implica un trade off muy relevante entre formas de coordinación y control basadas en la centralización -o en la vigilancia directa a través de la supervisión-, y formas de coordinación y control basadas en la formalización y en la documentación de procesos; pero este cambio, orientado a formalizar actividades y procesos, conocer el origen de los problemas, clarificar responsabilidades y evitar costos de no calidad, se lleva a cabo sin que tenga que implicar modificaciones relevantes en las referencias o normas que subyacen y orientan el funcionamiento de la organización.

De todos modos, en una reflexión de mayor alcance teórico, debe decirse que aun dentro de los límites estrictos de la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad, puede producirse, efectivamente, cierto nivel de cambio en las referencias o normas básicas que sirven como base para las actuaciones de la organización. En la medida en que se extiende la formación a los trabajadores para poder documentar los procesos, y en la medida en que

los trabajadores pasan a desarrollar labores de inspección de su propio trabajo aun cuando tengan que recurrir a técnicos o directivos para la resolución de las anomalías, se modifica, en alguna medida, algo más básico que el conjunto de reglas y procesos formalizados y documentados: en cierta medida cambian las referencias o el pensamiento básico desde el cual se gestiona la organización, si bien dentro de límites que no modifican sustancialmente la estrategia de la empresa.

En la medida en que la implantación del sistema de aseguramiento lleve a una forma avanzada de aseguramiento de la calidad, que implica un cierto desplazamiento hacia la GCT, el trade off no se realizará únicamente entre centralización y formalización, sino entre centralización, de una parte, y formalización y socialización de otra, lo que sí que tendrá implicaciones de cierta relevancia en las referencias normas básicas que subyacen al funcionamiento de la organización.

En la gestión de la calidad total, el cambio en las referencias o normas básicas que gobiernan la organización no está condicionado por las características limitativas del sistema de gestión; más bien al contrario: la capacidad de evolución y perfeccionamiento del sistema de GCT depende de la profundidad con la que implanten sus principios, y por tanto de la medida en la cual la organización sea capaz de transformar los programas básicos y las concepciones y creencias básicas a partir de las cuales se gobierna. En este sentido son fundamentales, para modificar los sistemas de referencia y las concepciones básicas, los principios de enfoque global de dirección y estrategia de la empresa, objetivos propósito estratégico de la empresa, liderazgo compromiso de la dirección. Participación compromiso, clima organizativo, misión compartida, y cambio cultural; si bien estos principios, han de implantarse con el apoyo de otros principios que tiene una relación más estrecha con el diseño y las formas de funcionamiento material de la organización.

Por consiguiente en la GCT, el cambio en las normas y formas de funcionamiento explícitas como consecuencia de que se incorporan los avances en el aseguramiento de la calidad, esta al servicio de los cambios en las referencias y normas básicas de funcionamiento de la

organización, que se modifican como consecuencia de que la implantación de GCT se fundamenta en la aplicación de sus principios.

3.2.2.4 Dispositivos de enlace entre puestos y unidades

La implantación de un sistema de gestión de la calidad basado en el aseguramiento de la calidad no supone en principio, necesariamente, la utilización de dispositivos de enlace. No obstante durante la documentación del sistema puede ser conveniente establecer formas de enlace. Si el proceso de documentación es participativo, especialmente en el caso de procesos interfuncionales, se hará necesaria la coordinación entre los distintos departamentos afectados a la hora de definir responsabilidades y estándares, por lo que serán útiles equipos de trabajo que contribuya a realizar la función de enlace. También pueden crearse equipos de carácter permanente, el denominado comité de calidad, que está formado por los técnicos y directivos responsables de la implantación y seguimiento del sistema. Si por el contrario, el proceso de documentación es menos participativo y es desarrollado en mayor medida por los técnicos. Especialmente los del departamento de calidad, estos, en el momento de la firma de documentos e implantación de los mismos, desarrollarán tareas propias de directivos integradores, facilitando la coordinación entre los departamentos o puestos de trabajo afectados.

En definitiva, la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad no implica necesariamente el uso de dispositivos de enlace, aunque estos enlaces pueden ser convenientes en las situaciones descritas en el párrafo anterior. En todo caso el aseguramiento de la calidad implica un uso limitado de los dispositivos de enlace.

En lo que se refiere a la gestión de la calidad total. Un sistema de GCT sí que implicará la utilización masiva de dispositivos de enlace, que contribuirán a la comunicación abierta y continua entre los miembros de la organización, y al establecimiento de una nueva cultura de cooperación. Concretamente, el equipo de trabajo, en todas sus formas, es el mecanismo que va a ser aplicado de forma generalizada en toda la organización,

permitiendo así la mejora de la adaptación mutua -comunicación cara a cara- y un mayor entendimiento, necesarios para la gestión de procesos y la resolución de problemas.

Así, pues, la implantación de un sistema de GCT debe ir acompañada de despliegue generalizado de equipos de trabajo, que contribuyan a resolver diferentes tipos de problemas y, entre ellos, los enlaces y el ajuste entre las diferentes unidades de la organización. El centro neurálgico de dicho sistema se corresponde con el comité de calidad, encargado de dirigir y coordinar el sistema de gestión de la calidad, así como los objetivos y trabajos de los equipos de mejora, encargados de la resolución de problemas concretos de calidad en el marco de un proyecto. Este entramado de grupos de diversa índole facilita la adaptación mutua en los distintos miembros y departamentos de la organización y posibilita que, trabaje a partir de una base de conocimientos consistente y común, generándose un diseño organizativo.

No obstante, como es lógico, la implantación de estos dispositivos de enlace debe estar relacionada con la necesidad de su utilización. Los equipos de trabajo tienen un costo en tiempo y recursos, por lo que su aplicación debe estar justificada para coordinar esfuerzos de la organización en la consecución de determinados objetivos.

3.2.2.5 El sistema decisor. La variable estructural "centralización"

Para estudiar de un modo más completo la influencia de la implantación de un sistema de gestión de la calidad sobre las variables de diseño organizativo, vamos a analizar ahora las variaciones que se producen en el grado de centralización de la toma de decisiones en la organización.

Podemos decir que la implantación de un sistema de gestión de la calidad, con un enfoque de aseguramiento, no implica necesariamente descentralización de la toma de decisiones en sentido vertical. Así, por ejemplo, las normas de referencia de la serie ISO 9000 no hacen mención alguna a la necesidad de delegar la capacidad de decidir a lo largo de la

línea jerárquica. Sin embargo, el enfoque de aseguramiento sí que supone un grado importante de descentralización horizontal a favor de técnicos y personal calificado, es decir, a favor de quienes van a diseñar y planificar los procedimientos y el sistema documental necesario, para obtener y mantener las especificaciones de la norma.

No obstante los procesos documentados permiten a los operarios, dentro de las normas y las áreas de responsabilidad establecidas, tomar decisiones relacionadas con la inspección del propio trabajo; y en el caso de sistemas de aseguramiento de la calidad avanzados, decisiones relacionadas con la resolución de ciertas anomalías y el control. Lo cual sí que implica descentralización vertical en sistemas que responden, fundamentalmente, al aseguramiento de la calidad. En lo que se refiere a la gestión de la calidad total, en sintonía con el principio específico de participación y compromiso de los miembros de la organización, la implantación de la GCT y el establecimiento de una cultura de gestión basada en la participación y el compromiso, y orientada a la satisfacción del cliente y la mejora continua, va a suponer un incremento del grado de descentralización en ambos sentidos vertical y horizontal.

La descentralización o delegación de capacidad para tomar decisiones, de carácter vertical se realizará «de modo controlado», lo que quiere decir que las decisiones más importantes, de tipo estratégico, continuarán en manos de la dirección general. A la descentralización vertical ayuda el uso de mecanismos de planificación y evaluación del desempeño como dirección por objetivos que aplicados con las debidas precauciones facilitan el uso de la normalización de resultado como mecanismo de control del rendimiento. La otra cuestión importante en la delegación vertical de capacidad para tomar decisiones es la clara asignación de responsabilidades en los distintos nivel jerárquicos y a los diferentes miembros de la organización. Otro de los elementos que van a facilitar la descentralización, necesaria para que exista participación, compromiso y mejora continua, es la implantación de sistemas de información que permitan disponer de la información relevante para la toma de decisiones.

La participación de los empleados en el proceso de decisión, bien a un nivel de sugerencias o bien a un nivel de mayor implicación, se lleva a cabo normalmente a través de los equipos de trabajo. La estructura de estos equipos está formada en la cúspide por el comité de calidad, y en la base se encuentran los equipos de mejora, los círculos de calidad, y los equipos de proyectos, entre otros, sirviendo todos ellos para reducir el tiempo de desarrollo y lanzamiento de nuevos productos y procesos y al mismo tiempo como plataforma para la implantación de la filosofía de mejora continua de procesos, a todos los niveles de la organización. Para que estas actividades puedan desarrollarse, y tengan los efectos deseados sobre ahorro de tiempo y filosofía de mejora continua, es necesaria la asignación de medios y autonomía a los equipos de trabajo, por lo que en estos equipos se delegará capacidad de decisión desde la línea jerárquica. Esta forma de descentralización es complementaria con la mayor autonomía y autocontrol de los empleados en sus puestos de trabajo, tal como vimos al estudiar la variable nivel de especialización o división vertical de los puestos de trabajo. Así mismo la implantación de un sistema de GCT implica la descentralización en sentido horizontal de la toma de decisiones, hacia los técnicos y especialistas del staff encargados de facilitar y difundir la aplicación del programa de calidad en la empresa.

Además del análisis expuesto sobre la forma efectiva en que se produce la descentralización en los casos de AC y de GCT, debe recordarse, especialmente en relación con la gestión de la calidad total, el carácter estructural de la variable centralización. Esta variable recorre toda la estructura jerárquica, desde la alta dirección hasta el diseño de puestos, y el grado de descentralización o nivel en el cual se detecta capacidad para tomar decisiones se relaciona de forma crítica con los niveles de participación y satisfacción en el trabajo, como condiciones que facilitan la socialización y los valores comunes.

3.2.2.6 La variable estructural "formalización"

La variable formalización definida como el conjunto de reglas y actividades estandarizadas, o procesos y actividades que la empresa ha de realizar según especificaciones que constan por escrito, recorre al igual que la centralización el conjunto de la estructura. En la medida en que la formalización es insuficiente, especialmente en pequeñas empresas con una elaboración escasa de su organización, un aumento en la formalización puede mejorar el diseño de los puestos de trabajo y los procesos y viceversa, una formalización por encima de lo que requiere el tipo de actividades a realizar desincentivará y contribuirá a inhibir la participación y el compromiso con la tarea. Por tanto, al igual que en el caso de la variable centralización, el grado de formalización se relaciona de forma crítica con los niveles de participación y satisfacción en el trabajo, como condiciones necesarias para obtener socialización y valores comunes.

TABLA 3.9 : Repercusiones de la gestión de la calidad sobre la estructura organizativa

Variab les	Aseguramiento de calidad	Gestión de calidad total
<p> Criterios de agrupación de unidades </p>	<p> ☺/☹ Varía solamente en el caso de que tras la normalización de tareas y flujos de trabajo, se observen interdependencias hasta entonces no contempladas. </p>	<p> ☹ Se adoptará el criterio que facilite la comunicación entre unidades de trabajo y el desarrollo efectivo de procesos. Se tendrá a unidades orientadas al proceso, al producto o al mercado. </p>
<p> Tamaño de las unidades </p>	<p> ☹ Se puede ver afectado. Las menores necesidades de supervisión y control, debido a la normalización de tareas y procesos, permiten un ámbito de control más amplio y unidades de mayor tamaño. </p>	<p> ☹/☹ Tendencia al aumento del tamaño de las unidades al incorporar la GCT los avances en la formalización de procesos provenientes del aseguramiento. Se reduce sin embargo el tamaño de las unidades allí donde la necesidad de comunicación y coordinación interpersonal aumenta. Debe tenerse en cuenta el cambio de papeles desempeñados por los directivos medios, para comprender los posibles cambios en el tamaño de las unidades. </p>
<p> Referencias o normas básicas que gobiernan la organización </p>	<p> ☺☹ En sentido estricto estas normas básicas, sobre las que se sustenta la formulación y aplicación de los planes y programas de la organización, no cambian al implantar un sistema de AC. Se producirán cambios, en alguna medida, cuando se trate de un sistema de aseguramiento avanzado. </p>	<p> ☹☹☹ Se produce aquí una profunda transformación de las referencias o normas básicas sobre las que se apoya la organización. La implantación de los principios de la GCT, apoyada en el desarrollo de los principios motores, permite alcanzar los niveles de socialización sobre los que se sustenta la mejora continua. </p>
<p> Dispositivos de enlace (Puestos de enlace) </p>	<p> ☹ En general, la implantación del sistema supone un uso limitado de estos dispositivos. Los técnicos del departamento de la calidad asumen el papel de enlace, facilitando la coordinación de tareas y el intercambio de información entre departamentos. </p>	<p> ☹☹ Se va producir una utilización generalizada e incentiva de este tipo de dispositivos que facilita la adaptación mutua. Dos figuras a desatacar aquí son los técnicos de calidad y los facilitadores de los equipos de trabajo. </p>
<p> (Comités y equipos de trabajo) </p>	<p> ☹ Se crea a menudo un comité de calidad para coordinar la aplicación. Durante la fase de implantación pueden formarse equipos de trabajo para el desarrollo de documentos y especificaciones. </p>	<p> ☹☹ Se pone en marcha una estructura de equipos de trabajo compuesta por comités permanentes y equipos de mejora que son el soporte del proceso de mejora continua. </p>
<p> Grado de centralización del sistema decisor (vertical) </p>	<p> ☺☹ No se contempla en las normas de implantación del sistema delegación del poder de toma de decisiones hacia los niveles más bajos de la jerarquía. Puede aparecer delegación en un sistema de AC avanzado. </p>	<p> ☹☹ Se produce delegación de capacidad de toma de decisiones a favor de los niveles más bajos de la jerarquía, y también se promueve la participación de los empleados, sobre todo mediante equipos de trabajo. </p>
<p> (Horizontal) </p>	<p> ☹☹ Se produce delegación del poder de toma de decisiones desde la línea jerárquica hacia el personal de apoyo formado por técnicos y especialistas (staff). </p>	<p> ☹☹ Se produce delegación del poder de toma de decisiones a favor de los técnicos y especialistas; sobre todo a favor de los miembros del staff encargados de la facilitación y difusión del programa de calidad. </p>
<p> Grado de formalización </p>	<p> ☹☹ Aumenta de forma notable al implantar la documentación. </p>	<p> ☹☹ Se asume el nivel de formalización propio del AC. En general el sistema de AC ya está implantando o se implanta de forma simultánea. En GCT, además, se aplican de forma más extensa y global formas de normalización relacionadas con el comportamiento. </p>

3.2.3 Repercusiones de la gestión de la calidad, sobre los procesos de información- decisión

3.2.3.1 Procesos o flujos de información

En lo referente a los flujos de información, la implantación de un sistema con un enfoque de aseguramiento de la calidad implica la explicitación de los diferentes canales de información y del contenido que por ellos debe fluir. Al delimitar las tareas y las diferentes responsabilidades estamos señalando, al mismo tiempo, con quién debe establecer comunicación y qué debe comunicar para ordenar actividades y procesos que generen productos y servicios de conformidad a la norma y a los estándares. Los procesos de información deben estar diseñados de tal modo que sea posible corregir y prevenir las no conformidades; en este sentido no sólo será necesario establecer controles adecuados y recoger información significativa sino que para ello es necesario también establecer canales de comunicación eficaces mediante los cuales se disponga, en el momento preciso y por parte de la persona oportuna, de la información relevante. Por tanto, el enfoque de aseguramiento de la calidad implica, para una estructura organizativa dada:

- a) El establecimiento eficaz de los flujos de información necesarios para el control de las no conformidades en la organización
- b) Los flujos de información necesarios para conseguir el funcionamiento eficiente del sistema

Los canales por los que fluye la información son fundamentales entre los operarios técnicos y directivos, de las diferentes funciones relacionadas con cualquier proceso productivo, en sentido horizontal; y entre operarios y técnicos o mandos intermedios, en sentido vertical.

El impacto o la repercusión sobre los procesos de información de la implantación de un sistema de aseguramiento, depende de la situación de la empresa en el momento de la implantación. Si es una empresa bien gestionada y con sistemas de información desarrollados, el impacto de la implantación será casi inexistente. Si la empresa tiene una

estructura y unos procesos poco desarrollados, el impacto de la implantación del sistema de aseguramiento de la calidad será de cierta importancia sobre los procesos de información.

La implantación de procesos o flujos de información en un sistema de gestión con un enfoque de gestión de la calidad total, supone cambios de mayor variedad y calado. Implica la creación y gestión sistemática de nuevos flujos de información relacionados con el ámbito externo de la empresa, tanto a nivel estratégico como operativo, para poder coger y canalizar información referente a las necesidades y expectativas de los clientes, y para gestionar relaciones de cooperación con los proveedores. En lo que se refiere a información sobre las expectativas y necesidades de los clientes. En lo que se refiere a crear canales de comunicación a diferentes niveles entre nuestra organización y las de nuestros proveedores, para así poder hacer efectiva la aplicación del principio de cooperación con proveedores, aquí es fundamental establecer el número de canales adecuados y en el nivel jerárquico oportuno, para no saturar los existentes y que la información llegue del modo más directo posible a quienes la necesitan.

En lo que se refiere a los filtros de información relacionados con el ámbito interno de la empresa y orientados a la coordinación de los diferentes puestos de trabajo y unidades organizativas, la implantación de la GCT conlleva la creación de una tupida red de canales de información en sentido vertical, y, sobre todo, en sentido horizontal, que facilite las relaciones y la coordinación a través de la adaptación mutua. Esto es debido a que la mejora de los procesos, el desarrollo de nuevos productos o servicios, y sobre todo la gestión eficaz de los mismos, exige la relación coordinada entre individuos y departamentos con habilidades y conocimientos muy dispares. De hecho, la extensión del sistema de calidad a toda la organización ya implicaba la necesidad de establecer dispositivos de enlace equipos inter funcionales que posibilitaran la comunicación abierta entre individuos de diversas unidades y departamentos, cuyas tareas son interdependientes y en las que es necesaria la coordinación y el intercambio de información.

El establecimiento de flujos de comunicación directa se va a realizar en el seno de las diferentes unidades de trabajo, en reuniones ejecutivas e informativas, a través de la comunicación fluida y de doble vía entre subordinados y administradores y, sobre todo, en el seno de los diferentes equipos de trabajo. Así estos flujos de información comunicativa actúan, junto con los sistemas de evaluación y control del desempeño basados en la formalización de tareas y el control del output, como componentes importantes del sistema de información para facilitar el funcionamiento de todos los procesos que se desarrollan en el seno de la organización. Todo ello es parte importante del sistema de relaciones y de coordinación que permite la participación y el compromiso de los miembros de la organización, y el establecimiento de procesos de mejora continua en los que es necesaria la cooperación de todos los miembros, y señaladamente la de los especialistas de las distintas unidades de la organización.

En síntesis, la implantación de un sistema de GCT supone la creación de múltiples canales de información relacionados con el exterior, y la creación de múltiples canales entre las diferentes unidades que componen la empresa. Esta red multidireccional y multinivel, como hemos dicho, es imprescindible como soporte para permitir la participación y la actuación conjunta de todos los miembros de la organización, para favorecer la mejora continua de procesos y productos, y para la adaptación permanente a los cambios provocados bien por las exigencias del mercado, bien por los avances de la tecnología (tabla 3.10).

TABLA 3.10 : Repercusiones de la aplicación de la gestión de la calidad sobre los procesos de información-decisión

Variables	Aseguramiento de calidad	Gestión de calidad
Flujos de información internos (Coordinación, comunicación)	☞☞ Se articulan de modo paralelo a los procesos formalizados. Su incremento depende fundamentalmente del estado o desarrollo de la organización en la que el sistema se implanta.	☞☞☞ Se incrementa su uso tanto en el ámbito externo como en el ámbito interno de la empresa; y en el ámbito se interno se incrementa tanto en dirección vertical –en ambos sentidos- como horizontal. Permite la comunicación abierta entre todos los miembros de la empresa, y son necesarios para coordinar el trabajo de las unidades con autonomía de decisión.
(Correspondientes a actividades de control)	☞☞☞ Se crea una importante red para transmitir la información referente a no conformidades o situaciones de las que los datos permiten predecir una anomalía.	☞ Se incrementan estos flujos. En muchos casos actúan como feedback para unidades o equipos que controlan su trabajo.
Flujos de información externos	☞ No existe relación directa	☞☞☞ Se desarrolla un gran numero de ellos a diversos niveles organizativos. Permiten comunicación de doble vía. Críticos para orientarse al cliente y cooperar con proveedores.
Flujos de información-decisión	☞☞ Existe cierta desviación de los flujos de información-decisión hacia técnicos del departamento de calidad debido a la elaboración de las normas y procedimientos, y en algunos casos, hacia operarios que efectúan autocontrol de procesos o procedimientos.	☞☞☞ Se producen variaciones importantes en la dirección y sentido de circulación de la información-decisión: flujos verticales de sentido ascendente; flujos horizontales entre unidades y equipos; y se reducen los flujos verticales de sentido descendente.

3.2.3.2 Procesos o flujos de decisión

En lo que se refiere a los flujos de información-decisión o flujos de adopción de decisiones, los cambios probables tras la implantación de un sistema de gestión de la calidad están íntimamente relacionados con los criterios de agrupación de unidades, tamaño de las unidades, dispositivos de enlace, y forma en la cual la empresa establece el sistema decisor, correspondientes a la estructura organizativa; y con el grado de especialización vertical y horizontal del puesto, la formación y el nivel de socialización existente en la organización.

En lo que se refiere a los procesos o flujos de adopción de decisiones en el enfoque de aseguramiento de la calidad, este enfoque supone cierta participación de personal técnico, sobre todo del departamento de calidad, en el proceso de elaboración de estándares y procedimientos. Lo que implica que, en alguna medida, se produce delegación de capacidad de adopción de decisiones hacia los técnicos, relacionada con la formación y articulación del sistema de aseguramiento, y que estos técnicos, por consiguiente, ejercen decisiones o flujos de decisión relacionados con las formas de funcionamiento del sistema. Considerando el sistema de aseguramiento de la calidad en sentido estricto, ésta es toda la delegación de capacidad de decisión que se produce.

Sin embargo en la medida en que los empleados participan en la inspección de su propio trabajo -en el marco de las normas establecidas-, parte de la supervisión del trabajo operativo -y por tanto las decisiones y los flujos de decisión correspondientes-, quedan en manos de los operarios, que comparan lo obtenido con lo planificado según las especificaciones contenidas en las normas, y comunican las no conformidades a la dirección, Por tanto en muchos casos o en la mayoría de ellos, pueden observarse ciertas modificaciones en los procesos o flujos de toma de decisiones que afectan en alguna medida a quienes realizan el trabajo directo.

La aplicación de la gestión de la calidad total conlleva modificaciones mucho más intensas ya que supone la creación de nuevos y múltiples flujos de información-decisión. Son los individuos, debidamente formados, o los equipos de trabajo quienes en gran medida inician el proceso de toma de decisiones, implementan, y supervisan las decisiones. Dependiendo de su trascendencia las decisiones deberán ser ratificadas por los directivos de diversos niveles. Así pues, un flujo de información decisión típico en una empresa que ha implantado la GCT es el siguiente: el operario, el técnico, o el equipo de trabajo, identifica un problema o posibilidad de mejora y, tras el análisis de las causas, propone una actuación. Dependiendo de la trascendencia de la decisión a adoptar y del volumen de recursos necesario para su implementación, la dirección ratifica la propuesta, la deniega, o propone

un estudio más profundo de la misma. Si es ratificada, será ejecutada por quien o quienes la propusieron, que también supervisarán la eficiencia y eficacia de la acción. Cuando la decisión definitiva tenga un alcance superior al ámbito de actuación de los proponentes, ello exige comunicación y consultas a los niveles directivos correspondientes, y que éstos la ratifiquen; siendo también necesario comunicar las decisiones que se toman para conseguir la mejora. Dicho de otro modo: se producen flujos de información decisión en los que se acude a una instancia superior cuando el proceso requiere el respaldo de la dirección a ese nivel. Este arquetipo del proceso de toma de decisiones nos ayuda a comprender qué nuevos flujos de información decisión se van a desarrollar en el seno de la empresa, tanto en dirección vertical como horizontal (tabla 3.9).

Una vez analizados los cambios en la dimensión organizativa que hace referencia a los procesos de información decisión es necesario observar qué modificaciones son necesarias en los sistemas de evaluación y control.

3.2.4 Repercusiones de la gestión de la calidad sobre los sistemas de medición, evaluación y control del desempeño

La implantación de un sistema de gestión de la calidad con un enfoque de aseguramiento de la calidad supone, como ya hemos visto, un uso intensivo de la normalización y formalización de procesos y tareas. Este hecho, además de garantizar la sistematización de tareas, reduce la importancia de la supervisión o vigilancia directa como sistema de evaluación y control del desempeño. Por tanto, lo que se produce es, de forma importante, sustitución de la supervisión el control realizado por los directivos, por el control realizado a través de normas explicitadas y documentadas que permiten controlar las tareas con un grado de detalle tan alto como se considere necesario. Por tanto, el control de la tarea continúa siendo estricto, sólo cambia el mecanismo utilizado para ello.

En la medida en que el sistema de aseguramiento sea un sistema avanzado, el trade off se realizará mediante la sustitución de centralización y supervisión por niveles mayores de formalización y socialización.

En cuanto a la forma en que influye la implantación de un sistema de gestión de la calidad total sobre las formas de medición, evaluación y control la implantación de un sistema con un enfoque de GCT implica el uso combinado de varios sistemas de evaluación y control del desempeño, cada uno de ellos respondiendo a unas necesidades específicas de la organización. La intensidad y grado de uso de esos sistemas o formas de evaluación dependerá de las características de la organización, y de la forma en que ésta responde a sus condicionantes de tamaño, sistema técnico, y grado de variabilidad e incertidumbre del entorno en el que actúa. Los sistemas de control del desempeño que preconiza la GCT son la normalización de tareas a través del diseño de procesos, la normalización de resultados a través del establecimiento de objetos, finalmente, la socialización través de la asunción de creencias, valores y principios comunes. Todo lo cual lleva a un menor uso de las formas de coordinación y control basadas en la centralización.

La implantación de los principios de GCT se facilita sobre la base de una serie de procesos y tareas estandarizados y controlados. La normalización de éstos es imprescindible para mantener unos parámetros de calidad controlados que, son la plataforma necesaria para asentar la filosofía de mejora continua y la construcción de ventajas competitivas. Por este motivo se considera la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad como un paso previo muy importante en el proceso de establecimiento de la GCT. Así, pues, podemos concluir que la normalización de tareas y procesos constituye un sistema de evaluación y control clave en la GCT, y que su uso será intensivo especialmente en aquellas áreas de la empresa que trabajan sobre una base estable de relaciones cliente-proveedor o que desempeñan tareas con un grado de variabilidad limitado. Es importante subrayar que sin el control de procesos y su estandarización, sería imposible establecer las necesidades de mejora así como el diseño e implantación de las mismas.

Por otro lado la descentralización de la toma de decisiones que se corresponde con los principios de la GCT, va a exigir la utilización de otros sistemas de medición, evaluación y control del desempeño: el control del output y la socialización. Si se cede o se detecta la capacidad de toma de decisiones hasta los últimos niveles de la jerarquía -porque ello favorece la solución de los problemas concretos por quienes tienen más conocimiento de los mismos, y porque ello facilita la socialización-, es necesario acompañarlo del establecimiento claro de responsabilidades para cada unidad de trabajo. En este sentido la Dirección por Objetivos (DPO), es un sistema de planificación-control que facilita esta tarea.

Respecto a la implantación de un sistema de GCT y el uso de la DPO, es necesario remarcar que la DPO deberá ser aplicada conforme a los principios de la GCT. Esto se traduce en que se reforzará el carácter participativo y cualitativo en el proceso de establecimiento de objetivos, y en que los objetivos normalizados van a ser asignados a grupos de trabajo y no a individuos; por consiguiente la valoración del rendimiento se realizará preferentemente sobre grupos y sistemas. Al mismo tiempo los resultados normalizados estarán estrechamente relacionados con los objetivos de la organización, y serán expresados en términos de satisfacción del cliente y orientados al largo plazo.

Esto implicará que aun cuando estén cuantificados los resultados normalizados: dos tendrán un importante contenido cualitativo y no sólo estrictamente financiero.

Pero lo que tiene más interés es que la implantación de un sistema de GCT impele a los directivos a usar variables de diseño tales como la formación y la socialización. La variable formación, como ya hemos argumentado, se utiliza en la GCT con un alcance más amplio que el que se lleva a cabo en el aseguramiento. De hecho en la GCT se contempla el desarrollo de un plan de formación dirigido a todos los miembros de la organización como uno de los elementos clave de éxito del proceso de implantación, a través del cual se controlan, de manera indirecta, formas de desempeño y comportamientos.

En cuanto a la socialización o los niveles de socialización y valores comunes existentes en la organización, ésta es una variable de comportamiento fundamental para el ejercicio del control en la GCT. En efecto, en la medida en que haya un diseño satisfactorio de las políticas de personal en sentido amplio -grupos de variables-, existirán niveles de centralización y formalización que proporcionen recompensas intrínsecas a la realización de las diferentes actividades y tareas, y faciliten la socialización y los valores comunes en la empresa. En este sentido, para valores satisfactorios de las demás variables en la medida en que se delega capacidad de decisión en los niveles inferiores y los trabajadores asumen implicación y compromiso con su tarea el trabajo. El trabajo se cualifica a través de la participación; lo cual tiene consecuencias sobre las formas de evaluación y control: los elementos de participación que encierran el trabajo son menos susceptibles de control eterno mediante la supervisión, y menos identificables a través de las comprobaciones de la conformidad o la formalización. En este sentido la mejora continua, la adaptación a las necesidades del cliente, y obtención de niveles de calidad excelentes, se sustentan en niveles de socialización valores comunes que sirven de soporte a la participación y el compromiso, y al mismo tiempo permiten formas de control mediante las que evaluar y controlar lo que de otro modo sería objeto de difícil e insatisfactoria medición.

Abundando en las ideas del párrafo anterior la medida en la que existen valores y creencias comunes es un potente mecanismo que condiciona los criterios de actuación y las formas de decisión. La descentralización es posible sólo si su forma de control es sustituida por la normalización o por los niveles; de socialización y valores comunes. Si se produce una sustitución suficiente entre centralización y valores comunes, entonces es posible la descentralización de la toma de decisiones sin perder el control de la organización como el sistema orientado a un fin –unidad de propósito- ya que aunque las unidades de trabajo se autoadministren y controlen, actuarán con criterios comunes y hacia los mismos objetivos generales.

Una cierta relevancia en el control del comportamiento basado en la socialización y los valores comunes, es necesario en la organización que implanta un sistema de GCT. La socialización y los valores comunes como forma de control es el tipo de control que más posibilita la verdadera implicación de todos los miembros de la organización hacia la consecución de los objetivos de la empresa. Así mismo esta forma de control facilita, por un lado, la sustitución de la supervisión estricta por el liderazgo participativo o consultivo, y por otro, el uso de la comunicación directa en la coordinación de las distintas unidades de trabajo.

TABLA 3.11 : Repercusiones de la gestión de la calidad sobre los sistemas de evaluación y control del desempeño

Variables	Aseguramiento de calidad	Gestión de calidad
Supervisión directa	⤵ Desciende el uso de la supervisión directa en aquellas unidades de trabajo en las que se implanta el sistema documental	⤵⤵ Desciende el uso de este mecanismo de coordinación en toda la organización, por el aumento de la formalización de los procesos de trabajo y por el incremento de la socialización y el autocontrol de los empleados sobre sus tareas.
Normalización de tareas y procesos de trabajo	⤴⤴ Se intensifica el uso de la normalización de tareas y procesos como mecanismo de control y evaluación dominantes, especialmente en las unidades de trabajo más afectadas por la implantación del sistema y en los niveles inferiores de la jerarquía.	⤴⤴ Se intensifica el uso de la normalización de tareas, procesos y flujos. Especialmente en aquellas unidades que desarrollan tareas repetitivas o estandarizables y en un ambiente previsible.
Normalización de resultados	⤴ Se utiliza como sistema de control en tareas y procesos para conocer la existencia de no conformidades.	⤴⤴ Se incrementa el uso de este sistema de evaluación y control de desempeño, en aquellas unidades organizativas con responsabilidades claramente definidas y poder de decisión.
Socialización y valores comunes	➡ No existen aquí esfuerzos orientados a obtener socialización. La formación está limitada a los aspectos directamente relacionados con la documentación del sistema, y con las modificaciones en proceso y procedimientos. Si el sistema de aseguramiento es avanzado, aparecerá en alguna medida la socialización como mecanismo de coordinación y control.	⤴⤴⤴ El uso e importancia de la socialización se incrementa de forma notable hasta llegar a ser uno de los sistemas de evaluación y control clave para la aplicación de este enfoque. La formalización, y la aplicación del conjunto de principios motores, contribuye aquí a establecer las condiciones que permiten socialización y valores comunes.

3.2.5 Repercusiones de la gestión de la calidad sobre el papel desempeñado por los miembros de la organización

3.2.5.1 Cambios en el papel de la alta dirección

La implantación de un sistema de gestión de la calidad con un enfoque de aseguramiento no hace referencia explícita al compromiso de la dirección ni al diseño de una estrategia. Sin embargo, sí que se especifica el papel de ésta como impulsora del sistema ya que es la estrategia quien debe proporcionar los recursos necesarios para la implantación del sistema de calidad. Además se espera que la dirección participe en la revisión periódica del mismo, apoyándose para ello en su base documental. La dirección general va a compartir el papel de impulsora del proyecto junto con el departamento de calidad, que va a ser el encargado de mantener el esfuerzo de implantación por parte de los departamentos implicados en el sistema de aseguramiento.

En el caso de la implantación de un sistema de gestión de la calidad total el rol de la alta dirección además de sufrir cambios va a resultar un factor clave de éxito. En la GCT se concibe la dirección desde una visión holística, se le exige el diseño de una estrategia que integre la calidad, y que promueva la calidad con su propio comportamiento, visible; que sirva de ejemplo. Esto, junto con acciones de comunicación y la participación en actividades de reconocimiento y mejora ayudará a fomentar los principios básicos de la GCT.

Así, pues, se espera de la dirección general y de sus colaboradores que actúen como arquitectos del cambio, desarrollando un liderazgo efectivo apoyado en un conjunto de creencias y objetivos claros. Su trabajo es por tanto, el desarrollo de una estrategia y unos planes de soporte adecuados así como la definición de una estructura de administración de procesos y tareas apropiada. El desarrollo de este papel se va a concretar en una serie de actividades nuevas de la dirección. Así, además de actuar como modelos, aplicando en sus tareas los principios de la GCT, los directivos van a desempeñar actividades de formadores, de facilitadores del trabajo en equipo y otras iniciativas de mejora, y de auditores del sistema. Otro nuevo rol que va a desarrollar la dirección es el de fomentar la comunicación

fluida y de doble vía, el director va a tomar la responsabilidad de conocer y hablar con sus empleados.

Quizás el cambio más importante que debe asumir la alta dirección en su tarea con la aplicación de la GCT es el de cambiar su papel de administrador por el de líder. Esto implica que deben indicar el camino a los demás, generando una visión, y orientar a los miembros de la organización hacia el cumplimiento de una misión común, es decir dedicar esfuerzos a actividades de adoctrinamiento y socialización, dejando que sean ellos quienes organicen sus tareas para poder alcanzar los objetivos comunes. Por tanto, implica cambiar el rol de controladores del grado de cumplimiento de los objetivos, para pasar a ser los que generan compromiso y entusiasmo para que los miembros de la organización deseen alcanzar sus metas.

La tabla 3.12 presenta el resultado del análisis del cambio de roles de la alta dirección a consecuencia de la aplicación de la GCT, para ello nos hemos servido de la clasificación de estos roles propuesta por Mintzberg. A partir de este análisis podemos afirmar, en términos generales que la implantación de los sistemas de GCT refuerza aquellos papeles relacionados con las relaciones interpersonales, y que reduce, en general, la importancia relativa de los relacionados con la decisión, ya que el sistema de toma de decisiones se descentraliza y se fomenta el autocontrol de cada uno sobre su propio trabajo.

En efecto, si atendemos a la clasificación de papeles desempeñados por la alta dirección propuesta por Mintzberg, y analizamos los cambios que se producen en los mismos a consecuencia de la aplicación de la GCT, comprobamos que los roles relacionados con las relaciones interpersonales de cabeza visible y de líder quedan muy reforzados, por la intensificación de las tareas de representación ante otras empresas e instituciones, y la mayor visibilidad de la alta dirección ante los propios miembros de la organización. Así como el liderazgo que se exige a los directivos. El papel de enlace, aun siendo importante,

sobre todo para llevar a cabo una estrecha cooperación con proveedores y clientes, y con otras empresas, se comparte más con otros puestos directivos y no directivos.

Los roles relacionados directamente con el uso de la información experimentan efectos en dos sentidos diferentes, por un lado los tres papeles: monitor, difusor y portavoz, son muy importantes por la aplicación de la administración basada en hechos, por la mayor transparencia en la gestión, y por la mayor frecuencia e intensidad en la cooperación con el entorno. Pero esta tendencia se ve aminorada por el hecho de que los altos directivos realizan estas tareas con mayor cooperación, bien compartiéndolas entre ellos mismos en equipo de trabajo, bien delegándolas a otros directivos o técnicos.

De los roles relacionadas con la toma de decisiones el único rol que sale reforzado con la aplicación de la GCT es el rol de emprendedor o empresario, dada la necesidad por parte de la dirección de intensificar la tarea de iniciador del cambio y de captar oportunidades dentro y fuera de la organización para conducirlo. Sin embargo, los otros tres roles de este grupo, gestor de anomalías, asignador de recursos y negociador, pierden cierta importancia, sobre todo el primero debido a la descentralización de la toma de decisiones.

TABLA 3.12 : Repercusiones de la gestión de la calidad sobre los roles desempeñados por la alta dirección

Rol directivo	Cambios producidos
Cabeza visible	☺☺ Se ve reforzado su papel como punto de referencia tanto para el entorno como para los miembros de la empresa. La intensificación de la cooperación con cliente y proveedores, con instituciones y con otras empresas hace muy necesarias sus labores de representación. Este rol se intensifica también en revelación con los miembros de la propia organización debido a su participación en actos importantes, en formación y en reconocimientos.
Líder	☺☺ Este papel gana mucha importancia, ya que es primordial en su labor de implicación y generación de compromiso e involucración con los objetivos de la organización, así como la promoción de equipos de trabajo.
Enlace	☺☺ Aunque continua desarrollando esta tarea, -especialmente para fomentar la cooperación con proveedores y clientes-, ahora la comparte con otros miembros de la organización: directivos medios, e incluso técnicos y otros empleados que no desarrollan tras de dirección.
Monitor Difusor Porta voz	☺☺☺ El papel de difusor se ve reforzado por la aplicación del principio de la administración basada en hechos. El papel de difusor de la información hacia adentro de la organización se ve reforzado por la búsqueda de la transparencia en la gestión, y el papel de portavoz también se intensifica por la labor de conexión con el entorno. En estos cambios la gestión de la información se realiza de forma mucho más compartida con otros miembros de la organización.
Emprendedor	☺☺ Este papel gana importancia tras la implantación de la GCT, ya que la alta dirección es la principal protagonista para iniciar el cambio y para explorar nuevas oportunidades en el entorno y en el interior de la organización.
Gestor de anomalías	☺☺ Esta labor ahora es desarrollada por otros miembros de la organización y de forma especial por los equipos de trabajo.
Asignador de recursos	☺☺ Continua ejerciendo este rol pero con finalidades distintas. Ahora lo hace como facilitador de la labor de otras personas o de los equipos de trabajo.
Negociador	☺☺ Esta tarea es desempeñada e intensificada por la Dirección pero compartida con personas que no ocupan cargos directivos.

Por tanto, podríamos afirmar que en la labor directiva, en la GCT, ganan importancia las relaciones interpersonales, se reducen sus fuentes de poder tradicionales, y es mediante el desarrollo de liderazgo como se consigue que las cosas se realicen, y en lo relativo a las tareas directivas vinculadas a la gestión de la información y la toma de decisiones, aparecen reforzadas las que podríamos denominar tareas directivas de concepción, reduciendo su importancia las de ejecución porque pueden ser delegadas o compartidas.

3.2.5.2 Cambios en el papel de los directivos medios

En el caso de la implantación de un sistema de aseguramiento, el papel de los mandos intermedios se verá afectado de dos maneras. En primer lugar, durante el propio proceso de implantación van a participar en la definición y documentación del sistema de calidad concretamente definirán las responsabilidades competencias y relaciones entre el personal particularmente en aquellos casos en que se necesita libertad para prevenir no conformidades, aportar soluciones y verificarlas (ISO 9001:1994, ISO 9001:2000). El grado de importancia de este papel va a variar en función del protagonismo que asuman los técnicos (internos o externos) en el proceso de documentación. Otra de las funciones de los directivos intermedios es la aprobación de los documentos y de sus sucesivas modificaciones, Es importante remarcar en este punto que, en función de lo participativo que sea el proceso de documentación y del papel asumido por los técnicos, el papel del mando intermedio puede variar desde el de protagonista hasta el de mero ratificador (con su firma) de un documento en cuya elaboración apenas ha colaborado. Una vez implantado el sistema, los directivos o mandos intermedios ven reducidas sus tareas de supervisión y control y pueden asumir más tareas de coordinación y planificación, Esto va a permitir, por ejemplo, que con el mismo número de mandos intermedios la organización pueda afrontar situaciones con mayor grado de diversidad y complejidad.

Por otro lado, la implantación de un sistema de gestión de la calidad total supone cambios muy importantes en el papel de los directivos medios, ya que se reduce de modo muy importante su rol de supervisor, que ahora es sustituido por la socialización y el autocontrol, y su rol de solucionar problemas concretos, que ahora es desempeñado por los equipos de mejora, Por contra, los directivos medios van a tener un papel muy importante a desempeñar como responsables de identificar y liderar tareas de concepción en proyectos de mejora, Su actuación como facilitadores y líderes de los equipos de trabajo es fundamental ya que, si la implementación de la GCT depende del funcionamiento efectivo de los equipos de trabajo, el funcionamiento de éstos depende del contexto organizacional

en el que desarrollan sus actividades y especialmente del apoyo que reciben de los facilitadores, es decir, de los directivos medios y los técnicos de la organización.

Otros roles fundamentales que van a pasar a desempeñar los mandos intermedios son los de ayudar a la alta dirección en la tarea de comunicar a toda la organización los principios de GCT, y dinamizar el uso de la información a todos los niveles, lo cual es muy necesario para la gestión del conocimiento, En este sentido se ocupan no solamente de facilitar la transmisión de información y de que exista suficiente participación en la discusión de la información, también actuando como modelos -de forma ejemplar- y como formadores.

En definitiva el directivo medio, al igual que el alto directivo, experimenta un cambio cualitativo importante en sus responsabilidades y tareas, pasando de mero supervisor y controlador a facilitador, líder y gestor de la información y el conocimiento. Esto también va a suponer un cambio en sus interacciones, ahora su atención se centrará más en sus colaboradores y menos en sus superiores, ya que pasa a jugar un papel importante en la transmisión y establecimiento del sistema de gestión de la calidad en los niveles inferiores de la organización.

Tras este análisis, no resulta sorprendente que la mayoría de los expertos, en la aplicación de la gestión de la calidad total coincidan en señalar que una de las condiciones necesarias para la efectiva implantación de estos sistemas es la implicación, compromiso y liderazgo de la dirección. Esto es, efectivamente, indispensable para lograr la implicación de todos los empleados en la mejora continua.

3.2.5.3 Modificaciones en el papel de los empleados de la base de operaciones

En el caso de un sistema de aseguramiento, el rol fundamental de todos los trabajadores es el de cumplir las especificaciones e instrucciones de trabajo descritas en el sistema documental. De los más cualificados se espera que participen en el proceso de documentación de las tareas y procesos que desarrollan, y una vez implantada la norma,

todos ellos desarrollarán actividades de control del rendimiento y de control del proceso. La información que obtienen la revertirán al sistema de información de la empresa y podrá ser utilizada en la toma de decisiones en otras partes de la organización.

Tras la implantación de un sistema basado en los principios de gestión de la calidad total se espera que todos los trabajadores, al igual que en el enfoque de aseguramiento, se responsabilicen de cumplir los procedimientos acordados y documentados. Así mismo también es su responsabilidad el uso correcto del material y el equipo. Otras tareas que se espera que desempeñen los empleados son la participación en las actividades de detección de no conformidades y en la formación de nuevos empleados. El gran cambio en el papel desempeñado por los trabajadores de línea, en un sistema de GCT, consiste en la oportunidad que tienen de participar en actividades de mejora, así como el hecho de que se les atribuya capacidad de auto evaluar su tarea y disfrutar de cierta libertad de acción en el desarrollo de la misma. A este respecto el trabajador de línea adquiere un nuevo rol fundamental que es el de participante en los equipos de mejora. En este ámbito el empleado asume, en una medida que es relevante para la organización, el papel de investigador y analista de problemas así como de diseñador de soluciones y planificador de actividades. Así pues, tras la implantación de un sistema de GCT los trabajadores de línea van a ser «dueños» de un proceso y, por tanto, responsables de revisarlo y mejorarlo constantemente, además de tomar parte a través de los diversos mecanismos de participación establecidos, en las actividades generales de mejora continua.

3.2.5.4 Modificaciones en el papel de los técnicos

Otro de los grupos de la organización cuyo cambio de rol vamos a analizar es el de los técnicos. En el caso de la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad, éste es el grupo que va a asumir mayor protagonismo, ya que son quienes van a desempeñar el papel preponderante en la normalización de las tareas y procesos. El proceso de documentación del sistema, el mantenimiento de éste, el sistema de archivo, distribución y la retirada del mismo van a ser responsabilidad de los técnicos. Sus actividades les van a

obligar a variar su actuación, intercambiando tareas de tipo técnico (ensayos y calibraciones) por actividades de coordinación y movilización del resto de miembros de la empresa. Entre sus responsabilidades, además de documentar el sistema, suele estar la de mantener informada a la dirección general de la marcha del mismo, y la de coordinar a los departamentos implicados en la ratificación e implantación del sistema documental.

Por otro lado, la implantación de un sistema de gestión de calidad total también va a suponer para los técnicos un profundo cambio de rol. Ahora que todos los miembros de la organización son responsables de la calidad, los técnicos pasan a realizar labores de coordinadores, consultores internos y diseminadores de información entre departamentos. Su papel es facilitar los conocimientos técnicos y la información necesaria para que los miembros de la organización, bien de modo individual, bien integrados en equipos, puedan desarrollar actividades de mejora continua. En definitiva, cambian el papel de resolutores de problemas por el de formadores y consultores internos. Siguen siendo responsables del mantenimiento y renovación del sistema documental pero en este caso, la son como meros coordinadores de un proceso en el que participan todos los miembros de la organización.

3.2.6 Modificación de las variables de diseño y su influencia en la implantación de la gestión de la calidad

Este punto es importante, aunque en diferente medida, en los casos de aseguramiento de la calidad y en los de implantación de un sistema de gestión de la calidad total. En la medida en que los cambios relacionados con la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad consisten, fundamentalmente en cambiar formas directas de control basadas en la centralización por formas de control técnicas e impersonales basadas en la formalización con un aumento limitado en la participación y compromiso de los trabajadores, la influencia de las modificaciones en el diseño sobre el sistema de gestión tienen un carácter fundamentalmente técnico. Cuestión esta que se confirma con el uso que el aseguramiento de la calidad hace de la formación. Esta variable es muy importante para la racionalización y control del sistema, pero, al mismo tiempo, la forma en que es utilizada en la implantación

del aseguramiento implica cambios limitados en lo que se refiere a participación de los trabajadores.

TABLA 3.13 : Repercusiones de la gestión de la calidad sobre el papel desempeñado por los miembros de la organización

Grupos	Aseguramiento de calidad	Gestión de calidad total
Alta dirección	<p>☺☺ Impulsa el proceso de implantación y mantenimiento del sistema, dotando los recursos necesarios y revisando de forma periódica los indicadores del sistema.</p> <p>Las normas exigen su apoyo expreso a la documentación elaborada</p>	<p>☺☺☺ Son responsables de diseñar la visión y la misión y los objetivos a más alto nivel. Se intensifica su papel de empresarios.</p> <p>Cambian el rol de administradores por el de líderes del cambio. Dedicar más tiempo a interactuar con otros miembros de la organización, impartiendo formación, asistiendo a reuniones o visitando las distintas unidades de trabajo. Es importante su nivel de compromiso y entusiasmo con la mejora de la calidad.</p>
Directivos medios	<p>☺☺ Participan en la elaboración del sistema documental. Ratifican los documentos a aplicar en su unidad de trabajo.</p> <p>Dedicar menos tiempo a la supervisión y el control de tareas, incrementando de forma notable su papel de planificadores de actividades y gestores de proceso.</p>	<p>☺☺☺ Cambian el papel de supervisores y controladores por el de líderes que impulsan las actividades de mejora continua en sus unidades de trabajo. Asumen el papel de líderes de los equipos de mejora.</p> <p>Contribuyen de forma importante a gestionar y planificar el proceso que su unidad de trabajo desempeña. Es importante su papel como gestores de la información y del conocimiento para traducir los objetivos generales de la empresa en acciones concretas.</p>
Empleados de la base de operaciones	<p>☺ Desempeñan sus tareas ajustándose a las especificaciones indicadas en el sistema documental.</p> <p>Asumen, en alguna medida, parte del control y proporcionan datos que alimentan el sistema de indicadores de resultados.</p>	<p>☺☺ Además de desempeñar sus tareas ajustándose a las normas de sistema documental, y realizar los controles especificados, participan en las actividades de mejora continua realizando propuestas y participando en los grupos de mejora. Ahora tienen mucha mayor autonomía para controlar sus tareas y tomar decisiones sobre el modo de realizarlas.</p>
Técnicos	<p>☺☺ Asumen un papel preponderante en el proceso de documentación del sistema. A sus tareas de tipo técnico añaden otras de coordinación y movilización de resto de miembros de la organización.</p>	<p>☺ Abandonan el rol de únicos responsables del mantenimiento del sistema y asumen tareas de formación y consultoría.</p>

En la gestión de la calidad total, en cambio, las modificaciones sobre la forma de dirección y las variables de diseño provocadas por la implantación del sistema, llevarán a cambios sustanciales en el funcionamiento del conjunto de la organización y de sus miembros. Cobra aquí especial relevancia una forma de dirección que enfatiza más la explicación de las ideas y el comportamiento ejemplar que el uso autoritario de la jerarquía; lo cual implica una forma atractiva de ejercer el liderazgo y de inclinar al cumplimiento de los objetivos mediante el

entendimiento y la convicción. Si además en la GCT la formación se transforma en un instrumento que alcanza objetivos técnicos, y que simultáneamente alcanza objetivos de difusión de los conceptos básicos de la GCT ayudando a comprender el sistema y a la integración de los miembros de la organización en los objetivos generales, todo ello contribuirá a establecer niveles satisfactorios de socialización y valores comunes en la organización.

3.3 Responsabilidad de la dirección

3.3.1 Compromiso de la dirección

El liderazgo, compromiso y la participación activa de la alta dirección es esencial para desarrollar y mantener un sistema de gestión de la calidad para lograr beneficios para todas las partes interesadas. Para alcanzar estos beneficios es necesario establecer, mantener y aumentar la satisfacción del cliente. Para esto la alta dirección debería considerar acciones tales como:

- Establecer una visión, políticas y objetivos estratégicos coherentes con el propósito de la organización
- Liderar la organización con el ejemplo, con el fin de desarrollar confianza entre el personal
- Comunicar la orientación de la organización y los valores relativos a la calidad y al sistema de gestión de la calidad
- Obtener directamente retroalimentación sobre la eficacia y eficiencia del sistema de gestión de la calidad
- Proveer la estructura y los recursos necesarios para apoyar los planes estratégicos de la organización

3.3.2 Enfoque al cliente

Toda organización tiene partes interesadas, cada una con necesidades y expectativas. Las partes interesadas de las organizaciones incluyen:

- Clientes y usuarios finales
- Personal de la organización
- Dueños/inversores
- Proveedores y aliados de negocios

3.3.3 Política de la calidad

La alta dirección debería utilizar la política de la calidad como un medio para conducir a la organización hacia la mejora de su desempeño.

La política de la calidad de la organización debería tener una consideración igual, y ser coherente con las otras políticas y estrategias globales de la organización.

Al establecer la política de la calidad, la alta dirección debería considerar:

- El nivel y tipo de mejoras futuras necesarias para el éxito de la organización
- El grado esperado o deseado de satisfacción del cliente
- El desarrollo de las personas en la organización
- Los recursos necesarios para cumplir con los requisitos de la norma ISO 9001

3.3.4 Planificación

1 Objetivos de la calidad. La planificación estratégica de la organización y la política de la calidad proporcionan un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos de la calidad. La alta dirección debería establecer estos objetivos para conducir a la mejora del desempeño de la organización. Los objetivos deberían poderse medir con el fin de facilitar una revisión por la dirección.

Los objetivos de la calidad deberían comunicarse de tal manera que el personal de la organización pueda contribuir a su logro. Debería definirse la responsabilidad para efectuar el despliegue de los objetivos de la calidad. Los objetivos deberían revisarse sistemáticamente y modificarse si fuera necesario.

2 Planificación de la calidad. La dirección debería asumir la responsabilidad de la planificación de la calidad de la organización. Esta planificación debería enfocarse en la definición de los procesos necesarios para cumplir eficaz y eficientemente los objetivos de la calidad y los requisitos de la organización coherentemente con la estrategia de la organización.

Entre la información de entrada para una planificación se incluyen:

- Las estrategias de la organización
- Los objetivos definidos de la organización
- La evaluación de los requisitos legales y reglamentarios
- La evaluación de los datos de desempeño de los productos y procesos
- Las lecciones aprendidas de experiencias previas,
- Los datos relacionados con la evaluación de los riesgos y la atenuación de los mismos

3.3.5 Responsabilidad, autoridad y comunicación

1 Responsabilidad y autoridad. La alta dirección debería definir y después comunicar la responsabilidad y autoridad con el objeto de implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad eficaz y eficiente.

Se le debería atribuir al personal de la organización la responsabilidad y autoridad que le permita contribuir en el logro de los objetivos de calidad y establecer su participación, motivación y compromiso.

2 Representante de la dirección. La alta dirección debería designar y dotar de autoridad a un representante de la dirección para gestionar, dar seguimiento, evaluar y coordinar el sistema de gestión de la calidad. El propósito de esta designación es aumentar la eficacia y eficiencia de la operación y de la mejora del sistema de gestión de la calidad. El representante debería depender de la alta dirección y comunicarse con los clientes para asuntos relacionados con el sistema de gestión de la calidad.

3 Comunicación interna. La alta dirección de la organización debería definir e implementar un proceso para la comunicación de la política de la calidad, los requisitos de calidad, los objetivos de la calidad y los logros. Proporcionar esta información puede ayudar a la mejora del desempeño de la organización y compromete directamente a las personas en el logro de los objetivos de la calidad.

Los siguientes son ejemplos de actividades de comunicación:

- Comunicación conducida por la dirección en las áreas de trabajo
- Medios audiovisuales y electrónicos, tales como correo electrónico o sitios en la red (websites)
- Encuestas a los empleados y esquemas de sugerencias

3.3.6 Revisión por la dirección

La alta dirección debería desarrollar la actividad de revisión por la dirección más allá de la verificación del sistema de gestión de la calidad, convirtiéndola en un proceso que se extienda a la totalidad de la organización y que evalúe también la eficiencia del sistema. Mediante su liderazgo, la alta dirección debería estimular el intercambio de nuevas ideas con discusiones abiertas y evaluación de la información de entrada, durante las revisiones por la dirección.

1 Información para la revisión. La información de entrada para evaluar la eficiencia y la eficacia del sistema de gestión de la calidad debería considerar al cliente y debería incluir:

- El estado y los resultados de los objetivos de la calidad y de las actividades de mejora
- Los resultados de las auditorías y de las autoevaluaciones de la organización
- Los resultados de actividades de estudios comparativos (benchmarking)
- El desempeño de los proveedores
- Las nuevas oportunidades de mejora
- El control de no conformidades de procesos y productos
- Los efectos financieros de las actividades relacionadas con la calidad

2 Resultados de la revisión. Mediante la extensión de la revisión por la dirección más allá de la verificación del sistema de gestión de la calidad, los resultados de la revisión por la dirección pueden ser utilizados por la alta dirección como elementos de entrada para los procesos de mejora. La alta dirección puede utilizar este proceso como una poderosa herramienta para la identificación de oportunidades para la mejora de desempeño de la organización.

3.4 Gestión de los recursos

La alta dirección debería asegurarse de que los recursos esenciales tanto para la implementación de las estrategias como para el logro de los objetivos de la organización se identifican y se encuentran disponibles. Esto debería incluir los recursos para la operación y mejora del sistema de gestión de la calidad, así como para la satisfacción de los clientes. Los recursos pueden ser personas, infraestructuras, ambiente de trabajo, información, proveedores, recursos naturales y recursos financieros.

3.4.1 Provisión de recursos

Para mejorar el desempeño de la organización deberían considerarse recursos, tales como:

- recursos tangibles tales como mejores instalaciones de realización y apoyo

- Recursos intangibles tales como la propiedad intelectual
- Recursos y mecanismos para alentar la mejora continua innovadora
- Estructuras de organización, incluyendo la gestión de proyectos y la gestión matricial necesarias
- Incremento de la competencia del personal a través de la formación, educación y aprendizaje dirigidos

3.4.2 Recursos humanos

1 Participación del personal. La dirección debería mejorar tanto la eficacia como la eficiencia de la organización, incluyendo el sistema de gestión de la calidad, mediante la participación y el apoyo de las personas. Como ayuda en el logro de sus objetivos de mejora del desempeño, la organización debería promover la participación y el desarrollo de su personal, a través de:

- proporcionando formación continua
- Definiendo sus responsabilidades
- Facilitando la comunicación de información abierta y en ambos sentidos
- Revisando continuamente las necesidades de su personal
- Investigando las razones por las que el personal se incorpora a la organización y se retira de ella

2 Competencia, toma de conciencia y formación. La dirección debería asegurarse de que se dispone de la competencia necesaria para la operación de la organización.

La consideración de necesidades de competencia incluye fuentes tales como:

- Demandas futuras relacionadas con los planes y los objetivos estratégicos y operacionales
- Anticipación de las necesidades de sucesión de la dirección y de la fuerza laboral
- Evaluación de la competencia individual del personal para desempeñar actividades definidas

La planificación de las necesidades de educación y formación debería tener en cuenta el cambio provocado por la naturaleza de los procesos de la organización, las etapas de desarrollo del personal y la cultura de la organización.

El objetivo es proporcionar al personal los conocimientos y habilidades que, junto con la experiencia, mejoren su competencia.

La educación y la formación deberían enfatizar la importancia del cumplimiento de los requisitos y las necesidades y expectativas del cliente.

3.4.3 Infraestructura

La dirección debería definir la infraestructura necesaria para la realización de los productos teniendo en cuenta las necesidades y expectativas de las partes interesadas. La infraestructura incluye los recursos tales como la planta, espacio de trabajo, herramientas y equipos, servicios de apoyo, tecnología de la información y de comunicación e instalaciones para el transporte.

3.4.4 Ambiente de trabajo

La dirección debería asegurarse de que el ambiente de trabajo tiene una influencia positiva en la motivación, satisfacción y desempeño del personal con el fin de mejorar el desempeño de la organización. La creación de un ambiente de trabajo adecuado, como combinación de factores humanos y físicos.

3.5 Realización del producto

3.5.1 Planificación de la realización del producto

La alta dirección debería asegurarse de los procesos de realización y de apoyo así como de la red de procesos asociados de manera tal que la organización tenga la capacidad de

satisfacer a sus partes interesadas. Si bien los procesos de realización resultan en productos que aportan valor a la organización, los procesos de apoyo son también necesarios para la organización y aportan valor de manera indirecta.

Todo proceso es una secuencia de actividades relacionadas o una actividad que tiene tanto elementos de entrada como de salida. La dirección debería definir los resultados requeridos de los procesos, y debería identificar los elementos de entrada y las actividades necesarias para su logro.

La interrelación de los procesos puede ser compleja, dando como resultado redes de procesos. Para asegurar la operación de la organización, la gestión debería reconocer que el resultado de un proceso puede convertirse en el elemento de entrada de uno o más procesos.

La dirección debería identificar los procesos necesarios para la realización de productos que satisfagan los requisitos de los clientes. Para asegurarse de la realización del producto deberían tomarse en consideración los procesos de apoyo asociados, así como los resultados deseados, las etapas del proceso, las actividades, los flujos, las medidas de control, las necesidades de formación, los equipos, las metodologías, la información, los materiales y otros recursos.

El enfoque basado en procesos asegura que los elementos de entrada del proceso se definan y registren con el fin de proporcionar una base para la formulación de requisitos que pueda utilizarse para la verificación y validación de los resultados. Los elementos de entrada pueden ser internos o externos a la organización.

Los resultados del proceso que se hayan verificado frente a los requisitos de entrada del proceso, incluyendo los criterios de aceptación, deberían considerar las necesidades y expectativas del cliente. Para propósitos de verificación, los resultados deberían registrarse

y evaluarse contra los requisitos de entrada y los criterios de aceptación. Esta evaluación debería identificar las acciones correctivas, las acciones preventivas o las mejoras potenciales necesarias en la eficacia y eficiencia del proceso.

3.5.2 Procesos relacionados con el cliente

La dirección debería asegurarse de que la organización ha definido procesos aceptados mutuamente para la comunicación eficaz y eficiente con los clientes. La organización debería implementar y mantener dichos procesos para asegurarse de la comprensión adecuada de las necesidades y expectativas de las partes interesadas, y para que facilite su traducción a requisitos para la organización. Estos procesos deberían incluir la identificación y revisión de la información pertinente y deberían involucrar activamente al cliente.

Los siguientes son ejemplos de información pertinente para el proceso:

- Requisitos del cliente
- Investigación de mercado, incluyendo datos del sector y del usuario final
- Requisitos del contrato
- Análisis de los competidores
- Estudios comparativos (benchmarking)
- Procesos debidos a requisitos legales o reglamentarios

La organización debería comprender completamente los requisitos del proceso del cliente antes de iniciar sus acciones de cumplimiento. Este entendimiento y su impacto deberían ser mutuamente aceptables para los participantes.

3.5.3 Diseño y desarrollo

La alta dirección debería asegurarse de que la organización ha definido, implementado y mantenido los procesos de diseño y desarrollo necesarios para responder a las necesidades y expectativas de sus clientes.

En el diseño y desarrollo de productos o procesos, la dirección debería asegurarse de que la organización no sólo sea capaz de considerar su desempeño y función básicos, sino también todos los factores que contribuyen al cumplimiento del desempeño del producto y del proceso esperado por los clientes.

1 Elementos de entrada para el diseño y desarrollo. La organización debería identificar los elementos de entrada del proceso que afectan al diseño y desarrollo de los productos y facilitan el desempeño de los procesos para satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes. Estas necesidades y expectativas externas, asociadas con las necesidades internas de la organización, deberían ser apropiadas para realizar su traducción a requisitos de entrada para los procesos de diseño y desarrollo.

Los elementos de entrada relativos al producto basados en la apreciación de las necesidades y expectativas de los usuarios finales, así como las del cliente directo, pueden ser importantes. Tales elementos de entrada deberían formularse de tal forma que el producto pueda verificarse y validarse.

El resultado debería incluir la información necesaria para permitir la verificación y validación de los requisitos planificados.

Los siguientes son ejemplos de resultados del diseño y desarrollo:

- Datos que demuestren la comparación entre los elementos de entrada y los resultados del proceso
- Especificaciones de producto, incluyendo los criterios de aceptación
- Especificaciones de proceso
- Especificaciones de materiales
- Especificaciones para los ensayos/pruebas
- Requisitos de formación de personal
- Información para el usuario y el consumidor
- Requisitos de compras

- Informes de los ensayos/pruebas de calificación

Los resultados del diseño y desarrollo deberían compararse con la información de entrada para proporcionar la evidencia objetiva de que los resultados han alcanzado los requisitos del proceso y del producto.

2 Revisión del diseño y desarrollo. La alta dirección debería asegurarse de que se designa al personal apropiado para gestionar y conducir las revisiones sistemáticas para determinar el logro de los objetivos del diseño y desarrollo. Estas revisiones pueden llevarse a cabo en puntos seleccionados del proceso de diseño y desarrollo, así como a la finalización del mismo.

Para el proyecto de red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao no es aplicable el proceso de diseño y desarrollo, pues está solo referido al proceso constructivo del gasoducto.

3.5.4 Compras

1 Proceso de compras. La alta dirección de la organización debería asegurarse de que se definen e implementan procesos de compra eficaces y eficientes para la evaluación y el control de los productos comprados, con el fin de satisfacer las necesidades y requisitos de la organización, así como aquellos de las partes interesadas.

Para asegurarse del desempeño de la organización, la dirección debería asegurarse de que los procesos de compras consideran las siguientes actividades:

- La identificación oportuna y precisa de las necesidades y especificaciones del producto comprado
- La evaluación del costo del producto comprado, tomando en cuenta su desempeño, precio y entrega
- Las necesidades y criterios de la organización para verificar los productos comprados

- Los procesos ligados a un proveedor especial
- Sustitución de la garantía para productos comprados no conformes
- Requisitos logísticos
- Identificación y trazabilidad del producto
- Conservación del producto
- Documentación, incluyendo los registros
- Control del producto comprado que se desvía de los requisitos
- Acceso a las instalaciones de los proveedores
- Historial de la entrega, instalación y aplicación del producto
- Identificación y mitigación de los riesgos asociados con el producto comprado

2 Proceso de control del proveedor. La organización debería establecer procesos para identificar las fuentes potenciales de materiales comprados, para desarrollar proveedores o aliados de negocios existentes y para evaluar su capacidad para suministrar los productos requeridos, con el fin de asegurar la eficacia y eficiencia de todos los procesos de compras.

3.5.5 Producción y prestación del servicio

1 Operación y realización. La alta dirección debería ir más allá del control de los procesos de realización con el fin de lograr tanto el cumplimiento de los requisitos como la obtención de beneficios para las partes interesadas. Esto puede conseguirse mediante la mejora de la eficacia y eficiencia de los procesos de realización y de los procesos de apoyo relacionados, tales como:

- La reducción de desperdicios
- La formación del personal
- La comunicación y el registro de la información
- El desarrollo de la capacidad del proveedor
- Los métodos de procesamiento y rendimiento del proceso
- Los métodos de seguimiento

2 Identificación y trazabilidad. La organización puede establecer un proceso para la identificación y trazabilidad que va más allá de los requisitos con el fin de recopilar datos que puedan utilizarse para la mejora.

La necesidad para la identificación y la trazabilidad puede provenir de:

- El estado de los productos, incluyendo las partes componentes
- El estado y la capacidad de los procesos
- Datos del desempeño de estudios comparativos (benchmarking) tales como la mercadotecnia (marketing)
- Los requisitos del contrato, tales como la capacidad de recuperación del producto

3 Propiedad del cliente. La organización debería identificar las responsabilidades con relación a los bienes y otros activos propiedad de los clientes que se encuentren bajo el control de la misma, a fin de proteger su valor.

4 Conservación del producto. La dirección debería definir e implementar procesos para el manejo, embalaje, almacenamiento, conservación y entrega del producto para prevenir el daño, el deterioro o el mal uso durante el procesado interno y la entrega final del producto. La dirección debería involucrar a los proveedores y a los aliados de negocios en la definición e implementación de procesos para proteger el material comprado.

3.5.6 Control de los dispositivos de seguimiento y de medición

La dirección debería definir e implementar procesos de seguimiento y medición eficaces y eficientes, incluyendo métodos y dispositivos para la verificación y validación de los procesos y productos para asegurarse de la satisfacción del cliente. Estos procesos incluyen encuestas, simulaciones y otras actividades de seguimiento y medición.

3.6 Medición, análisis y mejora

Los datos de las mediciones son importantes en la toma de decisiones basadas en hechos. La alta dirección debería asegurarse de la medición, recopilación y validación de datos para asegurar el desempeño de la organización y la satisfacción de las partes interesadas. Esto debería incluir la revisión de la validez y del propósito de las mediciones y el uso previsto de los datos para asegurarse del aporte de valor para la organización.

3.6.1 Orientación general

Los resultados del análisis de datos de las actividades de mejora deberían ser uno de los elementos de entrada de la revisión por la dirección con el fin de proporcionar información para mejorar el desempeño de la organización.

La medición, el análisis y la mejora incluyen las siguientes consideraciones:

- Los datos de las mediciones deberían convertirse en información y conocimiento beneficiosos para la organización
- La medición, el análisis y la mejora de los productos y procesos deberían usarse para establecer prioridades apropiadas para la organización
- Los estudios comparativos (benchmarking) de procesos individuales deberían emplearse como una herramienta para mejorar los procesos
- La autoevaluación debería considerarse en forma periódica para evaluar la madurez del sistema de gestión de la calidad y el nivel del desempeño de la organización y para definir las oportunidades de mejora del desempeño

3.6.2 Seguimiento y medición

La alta dirección debería asegurarse de que se utilizan métodos eficaces y eficientes para identificar áreas para mejorar el desempeño del sistema de gestión de la calidad.

1 Seguimiento y medición de la satisfacción del cliente. El seguimiento y la medición de la satisfacción del cliente se basan en la revisión de la información relacionada con el

cliente. La recopilación de dicha información puede ser activa o pasiva. La dirección debería reconocer que hay muchas fuentes de información relativas al cliente, y debería establecer procesos eficaces y eficientes para recopilar, analizar y utilizar esta información para mejorar el desempeño de la organización. La organización debería identificar fuentes de información del cliente y del usuario final disponibles, internas o externas, tanto en forma escrita como verbal.

Ejemplos de fuentes de información sobre la satisfacción del cliente incluyen:

- Quejas del cliente
- Comunicación directa con los clientes
- Cuestionarios y encuestas
- Recolección y análisis de datos subcontratados

2 Auditoría interna. La alta dirección debería asegurarse del establecimiento de un proceso de auditoría interna para evaluar las fortalezas y debilidades del sistema de gestión de la calidad. El proceso de auditoría interna actúa como una herramienta de gestión para la evaluación independiente de cualquier proceso o actividad designado.

Es importante que la dirección asegure la toma de acciones de mejora como respuesta a los resultados de la auditoría interna. La planificación de auditorías internas debería ser flexible a fin de permitir cambios en el énfasis basados en los hallazgos y en las evidencias objetivas obtenidos durante la auditoría. En el desarrollo de la planificación de la auditoría interna deberían considerarse los elementos de entrada pertinentes provenientes del área a auditarse.

Los siguientes son ejemplos de aspectos a considerar en las auditorías internas:

- La implementación de los procesos
- Las oportunidades para la mejora continua
- El uso de técnicas estadísticas
- El uso de tecnologías de la información

- El análisis de datos del costo de la calidad
- Las actividades de mejora

3 Seguimiento y medición de los procesos. La organización debería identificar métodos de medición y realizar mediciones para evaluar el desempeño del proceso. La organización debería incorporar estas mediciones en los procesos y utilizarlas en la gestión del proceso.

Las mediciones deberían utilizarse para gestionar operaciones del día a día, para evaluación de los procesos que puedan ser adecuados para mejoras continuas o escalonadas, así como para proyectos de mejora significativa, de acuerdo con la visión y los objetivos estratégicos de la organización.

4 Seguimiento y medición del producto. La organización debería establecer y especificar los requisitos de medición (incluyendo los criterios de aceptación) para sus productos. La medición del producto debería planificarse y realizarse para verificar que se han alcanzado los requisitos de las partes interesadas y que se han utilizado para mejorar los procesos de realización.

3.6.3 Control del producto no conforme

La alta dirección debería dotar de autoridad y responsabilidad al personal dentro de la organización para informar sobre no conformidades en cualquier etapa de un proceso con el fin de asegurar la oportuna detección y disposición de las no conformidades. Debería definirse la autoridad para dar respuesta a las no conformidades, para mantener el logro de los requisitos del proceso y del producto. La organización debería controlar de manera eficaz y eficiente la identificación, segregación y disposición de productos no conformes con el fin de evitar su uso no intencionado.

La organización también puede considerar el registro de información de aquellas no conformidades que son corregidas en el transcurso normal del trabajo. Tales datos pueden proporcionar información valiosa para mejorar la eficacia y la eficiencia de los procesos.

Revisión y disposición de las no conformidades. La dirección de la organización debería asegurarse del establecimiento de un proceso eficaz y eficiente que tome en cuenta la revisión y la disposición de las no conformidades identificadas. La revisión de las no conformidades debería conducirse por personal autorizado para determinar si requiere atención alguna tendencia o patrón de ocurrencia. Las tendencias negativas deberían considerarse para la mejora y como información de entrada para la revisión por la dirección cuando se consideran metas de reducción y necesidades de recursos.

3.6.4 Análisis de datos

Las decisiones deberían basarse en el análisis de datos obtenidos a partir de mediciones e información recopilada tal y como se describe en esta Norma. En este contexto, la organización debería analizar los datos de sus diferentes fuentes tanto para evaluar el desempeño frente a los planes, objetivos y otras metas definidas, como para identificar áreas de mejora.

El análisis de los datos puede ayudar a determinar la causa de los problemas existentes o potenciales y por lo tanto guiar las decisiones acerca de las acciones correctivas y preventivas necesarias para la mejora.

La información y datos de todas las partes de la organización deberían integrarse y analizarse por la dirección de la organización para evaluar eficazmente el desempeño global de la organización. El desempeño global de la organización debería presentarse en un formato adecuado para los diferentes niveles de la organización.

3.6.5 Mejora

La dirección debería buscar continuamente mejorar la eficacia y la eficiencia de los procesos de la organización, más que esperar a que un problema le revele oportunidades para la mejora. Las mejoras pueden variar desde actividades escalonadas continuas hasta proyectos de mejora estratégica a largo plazo.

1 Acción correctiva. La alta dirección debería asegurarse de que se utiliza la acción correctiva como una herramienta para la mejora. La planificación de la acción correctiva debería incluir la evaluación de la importancia de los problemas y debería hacerse en términos del impacto potencial en aspectos tales como costos de operación, costos de no conformidad, desempeño del producto, seguridad de funcionamiento, seguridad y satisfacción del cliente. En el proceso de acciones correctivas debería participar personal de las disciplinas apropiadas. Igualmente, debería enfatizarse la eficacia y eficiencia de los procesos cuando se tomen acciones, y debería realizarse un seguimiento de las acciones para asegurar que se alcanzan las metas deseadas. Debería considerarse la inclusión de las acciones correctivas en la revisión por la dirección.

Durante el seguimiento de las acciones correctivas, la organización debería identificar las fuentes de información y recopilar la información para definir las acciones correctivas necesarias. La acción correctiva definida debería enfocarse a eliminar las causas de las no conformidades para evitar que vuelvan a suceder.

2 Prevención de pérdidas. La dirección debería planificar la mitigación de los efectos de las pérdidas para la organización con el fin de mantener el desempeño de los procesos y productos. Debería aplicarse la prevención de pérdidas en la forma de planificación, a los procesos de realización y a los de apoyo, a las actividades y a los productos para asegurar la satisfacción de las partes interesadas.

Para que la planificación de la prevención de pérdidas sea eficaz y eficiente, ésta debería ser sistemática. Debería basarse en datos procedentes de métodos apropiados, incluyendo la evaluación de datos históricos de tendencias, y los aspectos críticos del desempeño de la organización y sus productos, con el fin de generar datos en términos cuantitativos.

3 Mejora continua de la organización. Para ayudar en el aseguramiento del futuro de la organización y la satisfacción de las partes interesadas, la dirección debería crear una cultura que involucre a las personas de manera activa en la búsqueda de oportunidades de mejora del desempeño de los procesos, las actividades y los productos.

La dirección debería apoyar tanto las actividades de mejora continua progresiva inherentes a los procesos existentes, como las actividades que aprovechen las oportunidades de mejora significativa, con el fin de conseguir el máximo beneficio para la organización y para las partes interesadas.

CAPITULO 4

NORMAS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS APLICABLES

El proyecto Gas de Camisea tiene un conjunto de normas y especificaciones técnicas sobre el cual se sustenta el desarrollo de la ingeniería, donde se señalan cuales son los requerimientos que se deben cumplir en cada actividad, control o inspección. De acuerdo a esto y para el desarrollo del tema de tesis el alcance de las normas que se describirán en este capítulo están relacionadas directamente con el material base (tuberías API 5L X56 PSL2), material de aporte (electrodos y consumibles) y las exigencias que existen para la calificación de procedimientos de soldadura, calificación de soldadores, inspecciones y ensayos destructivos y no destructivos, etc.

Como el tema de tesis está relacionada directamente con la soldadura de tuberías de la Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao, estaremos refiriéndonos a la norma API 1104-99, por que así lo señala la especificación técnica del diseño de ingeniería

4.1 Especificaciones técnicas del proyecto

Para el desarrollo del tema de tesis sobre la red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao, se cuenta con las especificaciones técnicas elaboradas por Tractebel, estas desarrollan capítulos por disciplinas y actividades, donde se detallan parámetros de control y puntos de inspección. Las especificaciones técnicas hacen referencia a estándares para cada actividad crítica, como es el caso de la soldadura, donde se establece, que se debe cumplir con los requerimientos que recomienda el estándar API-1104-99.

De acuerdo con lo expuesto, todos los trabajos que se realizan para soldar las tuberías deberán estar de acuerdo con la especificación técnica del proyecto (parte 6 y 7) y el estándar API-1104-99, última edición.

Por ejemplo la parte 6 de la especificación técnica del proyecto, se refiere a la soldadura y respaldada por el estándar API-1104-99, por tanto en el contenido de la parte 6 de la especificación técnica existen recomendaciones que son complementarias con el estándar y el alcance de esta especificación comprenden los siguientes temas:

- 6.1.- Calificación de soldadores
- 6.2.- Procedimiento de calificación de la soldadura
- 6.3.- Soldadura de elementos de la tubería de construcción
- 6.4.- Registros de datos de soldadura y numeración de la misma

Otro ejemplo es la parte 7 de la especificación técnica del proyecto y está referida a la “inspección y ensayo de la producción de la soldadura” y define los ensayos que se deben realizar, los criterios de aceptación a emplear, y hace referencia a los siguientes temas:

- 7.1.- Generalidades
- 7.2.- Ensayos de juntas soldadas y criterios de aceptación
- 7.2.- Identificación de soldador(es) incompetente(s)
- 7.3.- Implementación de ensayos no destructivos
- 7.4.- Anuncios de los resultados de los ensayos
- 7.5.- Inspección de los pases por el contratista
- 7.6.- Reparaciones puntuales y corte de soldadura defectuosas
- 7.7.- Distribución de los costos de los ensayos

4.2 Norma API 1104 aplicada al proyecto

El empleo del estándar API 1104-99 se hace obligatorio para el proyecto de Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao, porque así se dispuso en las especificaciones técnicas del proyecto y es parte del contrato.

El estándar que vamos a emplear e interpretar es el API 1104 edición décimo novena de septiembre de 1999, cuyo título es “Soldaduras de tuberías e instalaciones relacionadas”.

El propósito de este capítulo, es interpretar el estándar cumpliendo con las obligaciones que se señalan, bajo las condiciones de trabajo que se presentan en la práctica, y además que el tener que soldar en medio de la ciudad rodea de viviendas y habitantes, por lo general al borde de la pista o línea férrea.

La interpretación o aplicación del estándar nos va permitir obtener juntas de buena calidad.

Para esto debemos de:

- Emplear procedimientos debidamente ensayados y aprobados
- Elegir el material de aporte mas adecuado
- Definir el diseño de la junta
- Establecer los parámetros de soldeo
- Obtener soldaduras ejecutadas por soldadores calificados de acuerdo a este estándar
- Evaluación y aprobación de las juntas cumpliendo con los criterios de aceptación establecidos en el estándar API 1104-99, etc.

Para el tema de tesis revisaremos las recomendaciones del API 1104-99 y estos temas los vamos a relacionar con la soldadura, reparación y corte, de acuerdo a esto la interpretación que vamos a realizar estará en función del avance cronológico para ejecutar soldaduras de buena calidad. Esto nos va llevar a revisar, analizar e interpretar los capítulo 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 del estándar API 1104-99. La interpretación del estándar se dividirá en 3 etapas:

- 4.2.1 Proceso de soldadura
- 4.2.2 Proceso de reparación
- 4.2.3 Proceso de corte

4.2.1 Proceso de soldadura

4.2.1.1. Especificación del procedimiento de soldadura



En el párrafo 4.2.1 Tuberías y conexiones, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Este estándar es aplicable a las soldaduras de tuberías y conexiones que conforman las siguientes especificaciones:

- a) API Spacification 5L
- b) Especificaciones ASTM aplicables

Este estándar también se aplica para materiales con composición química y propiedades mecánicas que cumplen con una de las especificaciones listadas en los ítems a y b, aun cuando los materiales no estén manufacturados en concordancia con la especificación.

Interpretación del párrafo 4.2.1 Tuberías y conexiones, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La definición del procedimiento de soldadura debe responder básicamente a obtener juntas soldadas que sean compatibles con el material base, por ejemplo para nuestro caso son tuberías API 5L X56 SPL-2, tal como lo señala el párrafo 4.2.1 del API 1104-99.



En el párrafo 4.2.2 Metal de aporte, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

4.2.2.1 Tipo y tamaño

Todo material de aporte debe estar en conformidad con algunas de las siguientes especificaciones:

- a. AWS A5.1
- b. AWS A5.2
- c. AWS A5.5
- d. AWS A5.17
- e. AWS A5.18

f. AWS A5.20

g. AWS A5.28

h. AWS A5.29

Metales de aporte que no cumplan las especificaciones arriba mencionadas pueden ser usados siempre que los procedimientos de soldadura involucrados en su uso sean calificados.

4.2.2.2 Almacenamiento y manipulación de metales de aporte y fundentes

Metales de aporte y fundentes deben ser almacenados y manipulados para evitar daños a éstos y a los envases en los cuales son colocados. Los metales de aporte y fundentes en envases abiertos deben ser protegidos del deterioro y los metales de aporte recubiertos deben ser protegidos de excesivos cambios de humedad. Metales de aporte y fundentes que muestren signos de daño o deterioro no deben ser usados.

Interpretación del párrafo 4.2.2 Metal de aporte, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Como el metal de aporte debe responder a la clasificación AWS que se recomienda en el párrafo 4.2.2.1 del estándar, para el proyecto se han aprobado emplear electrodos cuya especificación es: AWS A5.1 y A5.5. Además para el almacenamiento y manipuleo de electrodos se está especificando en los procedimientos de trabajo que se debe tener cuidado por que depende de ello la calidad de junta soldada que se obtendrá tal como lo señala el párrafo 4.2.2.2 del estándar.



En el párrafo 5.3 Especificación del procedimiento, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

5.3.1 La especificación del procedimiento debe incluir la información especificada en 5.3.2, donde sea aplicable.

Interpretación del párrafo 5.3 Especificación del procedimiento, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Aquí el estándar nos señala, las variables que se debemos revisar para definir la especificación del procedimiento de soldadura. Para la tesis hemos identificado las siguientes variables:

1. Proceso a emplear
2. Material base
3. Diámetros y espesores de pared
4. Diseño de junta
5. Metales de aporte y numero de pases
6. Característica eléctricas
7. Características de la llama
8. Posición de soldadura
9. Dirección de soldadura
10. Tiempo entre pases
11. Tipo y remoción de dispositivo de alineación
12. Limpieza y/o esmerilado
13. Pre y post calentamiento
14. Gas de protección y caudal de flujo
15. Velocidad de avance

El análisis y la definición de cada una de estas variables nos llevara a elaborar la especificación del procedimiento de soldadura, el cual será ensayado para su calificación,

4.2.1.2. Calificación del procedimiento de soldadura



En el párrafo 5.5 Soldadura de la probetas de ensayo (soldadura a tope), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Para soldar las juntas que se van a emplear en los ensayos de calificación de soldaduras a tope, se deben unir dos niples de tubería, siguiendo todos los detalles especificados en el procedimiento.

Interpretación del párrafo 5.5 Soldadura de la probetas de ensayo (soldadura a tope), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Según el estándar, para preparar las probetas debemos emplear dos niples de tuberías que sean de la misma especificación del proyecto, se debe unir los dos niples de tubería, siguiendo todos los detalles especificados en el procedimiento de soldadura.



En el párrafo 5.6.1 Preparación (Ensayo de juntas soldadas – soldadura a tope), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Para ensayar las juntas soldadas a tope, se deben cortar probetas o probetas de ensayo de la junta en las ubicaciones mostradas en la figura 3. (Ver sección 13 para requerimiento de ensayo para procedimientos de flash welding). El numero mínimo de probetas de ensayo así como los ensayos a los cuales ellos deben ser sometidos son mostrados en la tabla 2. Las probetas deben ser preparadas como se muestra en la figura 4, 5, 6 y 7. Para tuberías de diámetro exterior menor a 2.375" (60.3 mm) se deben preparar dos cupones de soldadura para obtener el numero requerido de probetas de ensayo. Las probetas deben ser enfriadas al aire hasta la temperatura ambiente antes de ser ensayadas. Para tuberías cuyo diámetro exterior es menor o igual a 1.315" (33.4 mm) una probeta de sección completa debe ser ensayada en concordancia con 5.6.2.2 y debe alcanzar los requerimientos de 5.6.2.3.

Interpretación del párrafo 5.6.1 Preparación (Ensayo de juntas soldadas – soldadura a tope), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

En la tabla 2 del estándar nos indica el tipo y número de probetas que serán sometidas a ensayo para la calificación de procedimiento, tomando en cuenta el espesor de pared y diámetro de tubería que se van a soldar.

Tabla 2 : Tipo y número de muestras para ensayo de calificación del procedimiento

Diámetro externo de tubería		Numero de probetas					Total
Pulgadas	milímetros	Resistencia a la Tracción	Rotura con entalla	Doblado de Raíz	Doblez de Cara	Doblez de Lado	
Espesor de pared ≤ 0.500 pulg. (12.70 mm)							
< 2.375	< 60.3	0 ^b	2	2	0	0	4 ^a
2.375–4.5	60.3–114.3	0 ^b	2	2	0	0	4
> 4.5–12.75	114.3–323.9	2	2	2	2	0	8
> 12.75	> 323.9	4	4	4	4	0	16
Espesor de pared > 0.500 pulg. (12.70 mm)							
≤ 4.500	≤ 114.3	0 ^b	2	0	0	2	4
> 4.500–12.750	>114.3–323.9	2	2	0	0	4	8
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	8	16

Nota: a¹ y b²

Para el proyecto tenemos tubería de 20", 10¾ 8 ", 6 " y 4½ de diámetro y espesores de pared de 11.13 mm (para φ20") y 11.10 mm (para el resto de diámetros), de acuerdo a estos diámetros de tubería y de la tabla 2, debemos calificar dos procedimientos, uno para tubería de φ20" y otro para el resto de diámetros. Las cantidades de probetas de cada junta soldada serian las siguientes:

Tipo y numero de probetas para tubería φ 20" y 11.13 mm de espesor de pared

- 4 probetas para resistencia a la tracción
 - 4 probetas para rotura con entalla
 - 4 probetas para dobles de raíz
 - 4 probetas para dobles de cara
- } Total 16 probetas

¹ Una muestra de rotura de muestra y de doblez de raíz debe ser tomada de cada uno de los dos soldaduras de prueba, o para tubería menor o igual a 1.315 pulg. (33.4mm) de diámetro, una muestra de resistencia a la tensión de sección completa debe ser tomada

² Para materiales con resistencia a punto cedente mínimas especificadas mayores que 42,00 Psi (290 Mpa), debe requerirse un mínimo de un ensayo de tensión

Tipo y numero de probetas para tuberías de 10³/₄, 8 ", 6 " y 4¹/₂ de diámetro, y 11.10mm de espesor de pared

- 2 probetas para resistencia a la tracción
 - 2 probetas para rotura por entalla
 - 2 probetas para dobles de raíz
 - 2 probetas para dobles de cara
- } Total 8 probetas

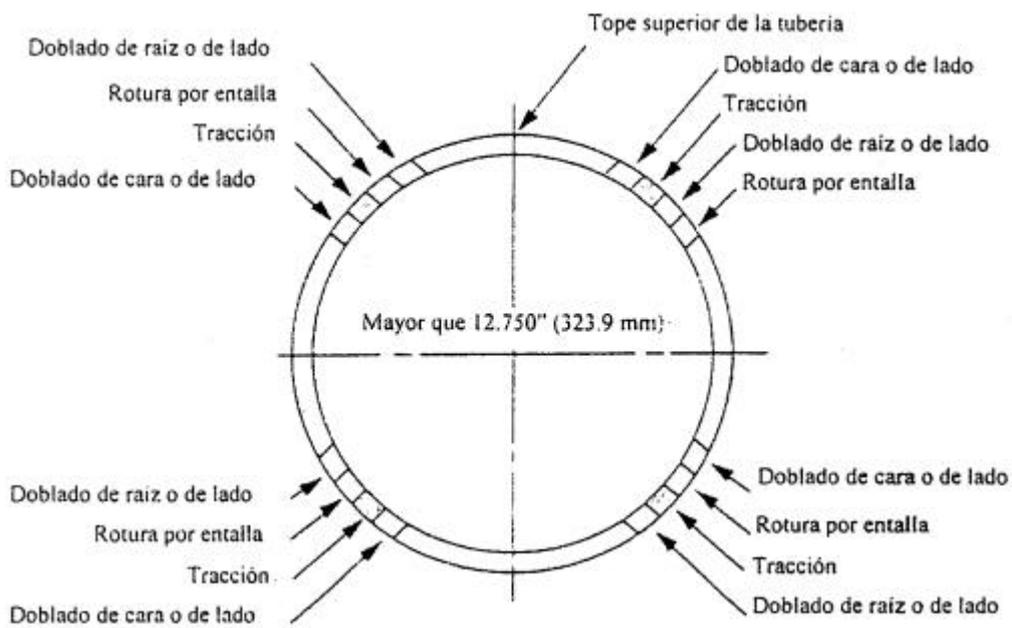


Figura 3A : Ubicación de las probetas de ensayo de soldadura para $\phi 20"$

En las figuras 3A y 3B tenemos la ubicación de las probetas de ensayo de soldadura a tope para ensayo de calificación de procedimiento según el diámetro.

en la figura 4, 5, 6 y 7 nos indican los detalles de preparación por cada tipo de probeta.

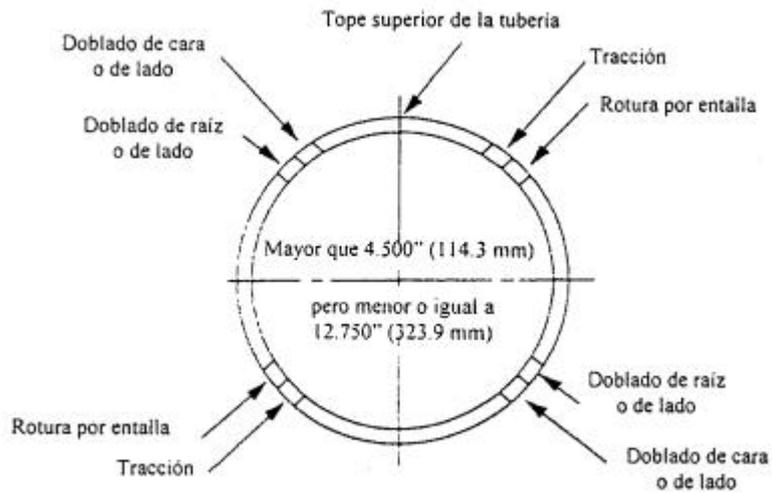


Figura 3B: Ubicación de las probetas de ensayo de soldadura para diámetros de 10¾", 8", 6" y 4½"

La preparación, método y requerimiento de los ensayos de tracción, rotura por entalla, y doblado de cara y raíz se detallan en los párrafos 5.6.2, 5.6.3 y 5.6.4 del estándar

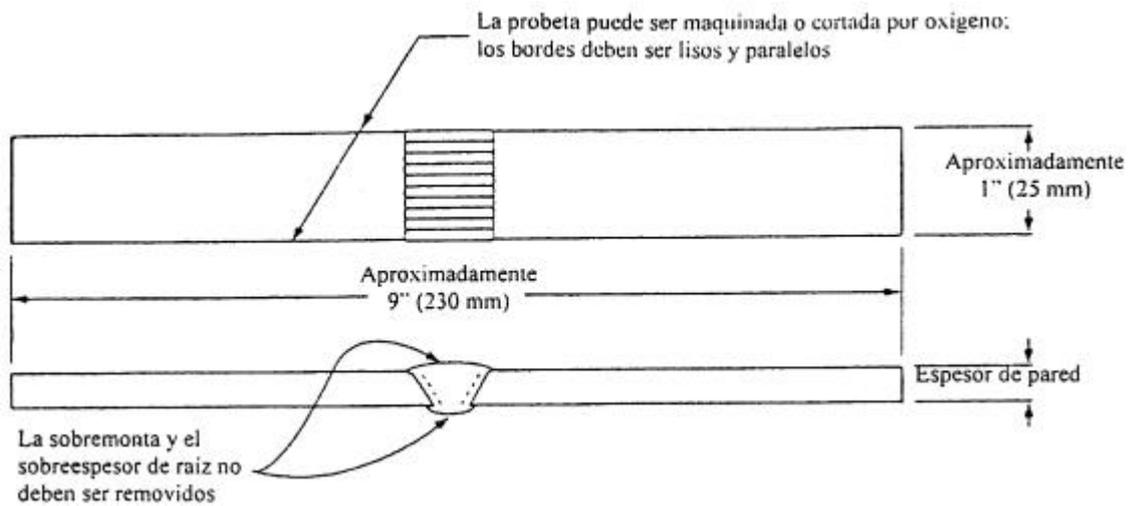


Figura 4: Probeta de ensayo de tracción

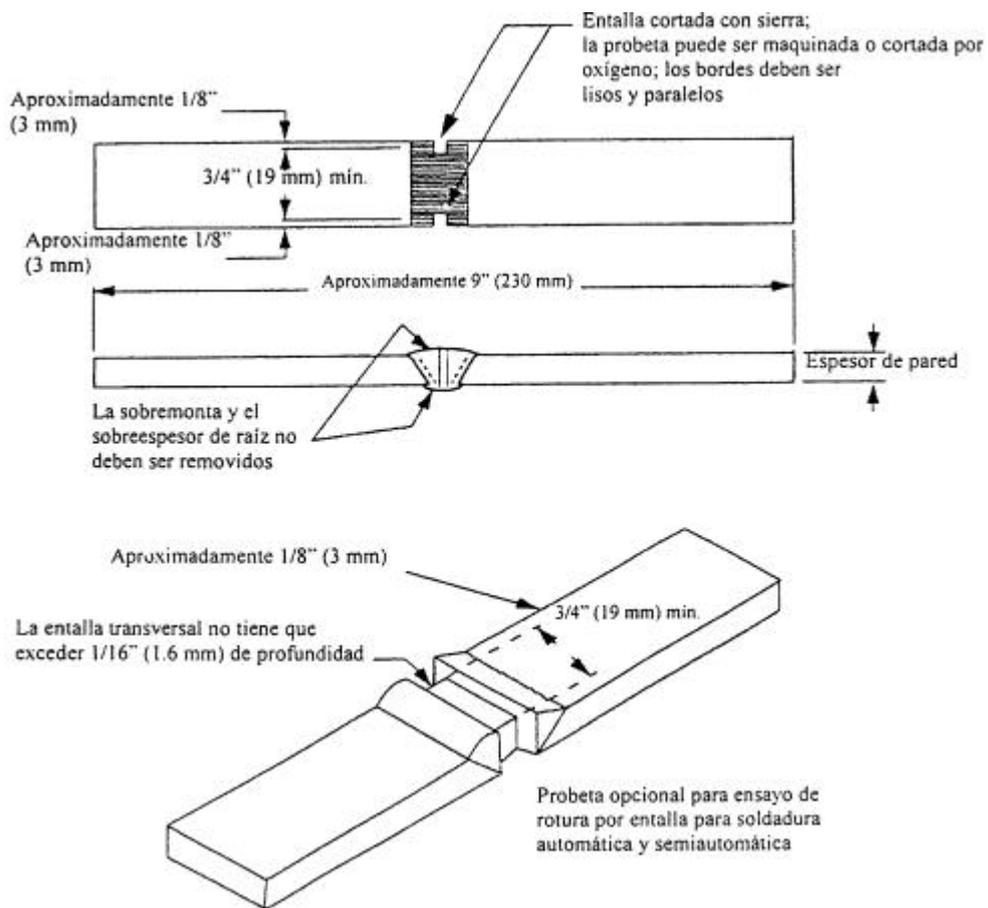


Figura 5: Probeta de ensayo de rotura por entalla

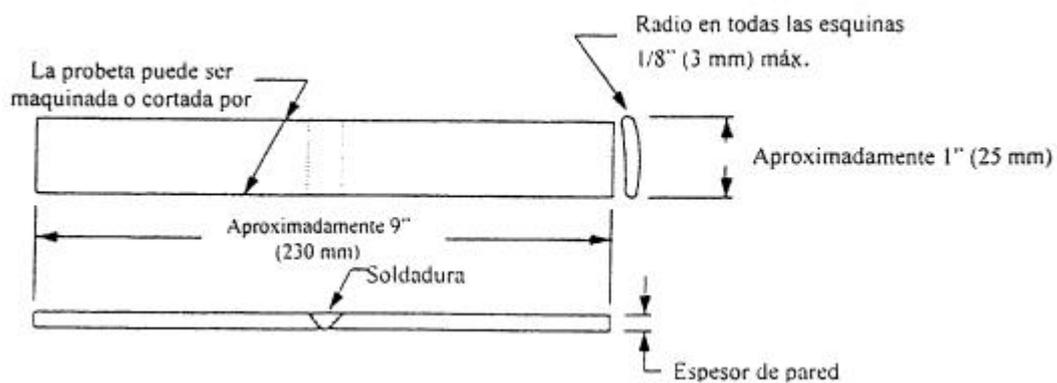
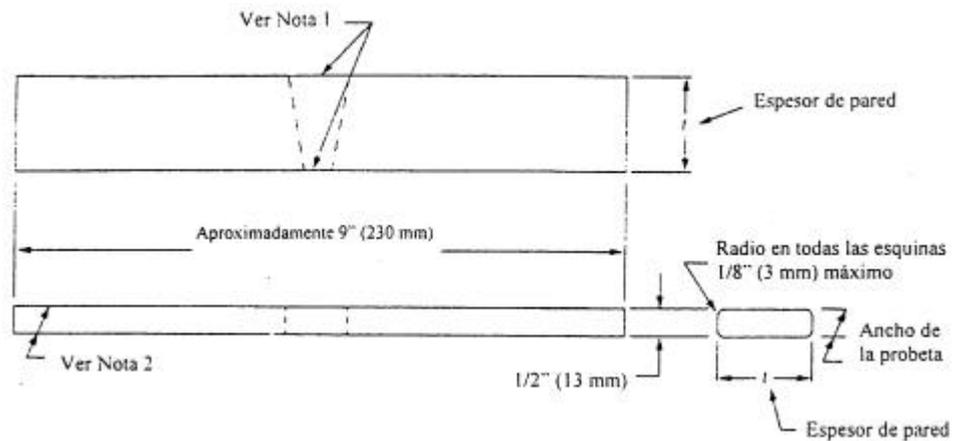


Figura 6: Probeta de doblado de raíz y de cara³. Espesor de pared menos o igual 0.5" (12.7 mm)

³ la sobremonta y sobre espesor de raíz deben ser removidas a ras de la superficie de la probeta. La probeta no debe ser alisada antes del ensayo.



Notas: 1⁴ y 2⁵

Figura 7: Probeta de doblado de lado: espesor de pared mayor a 0.5" (13 mm)



En el párrafo 5.2 Registro, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Los detalles de cada procedimiento calificado deben ser registrados. El registro debe mostrar los resultados completos de los ensayos de calificación del procedimiento. Se pueden emplear formatos similares a los mostrados en las figuras 1 y 2. El registro debe ser mantenido tanto como el procedimiento sea usado.

Interpretación del párrafo 5.2 Registro, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

En el párrafo 5.2 del estándar nos indica que debemos de registrar los detalles de cada procedimiento calificado. El registro debe mostrar los resultados completos de los ensayos de calificación de los procedimientos, en el apéndice se muestra un modelo de registro a emplear.

⁴ La sobremonta y sobre espesor de la raíz deben ser removidas a ras con la superficie de la probeta.

⁵ Las probetas pueden ser cortadas por máquina a un ancho de 1/2" (13 mm) o pueden ser cortadas por oxígeno a un ancho aproximado de 3/4" (19 mm) y luego maquinados o esmerilados a un ancho de 1/2" (13 mm). Las superficies de corte deben ser lisas y paralelas.

4.2.1.3. Calificación de soldadores



En el párrafo 6.1 Generalidades (calificación de soldadores), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

El propósito de los ensayos de calificación de soldadores es determinar la habilidad de éstos para ejecutar uniones soldadas sanas, sean esto a tope o en filete, usando un procedimiento previamente calificado. Antes de que cualquier soldadura en producción sea llevado a cabo, los soldadores deben ser calificados de acuerdo a los requerimientos aplicables en 6.2 a 6.8. Es la intención de este estándar que un soldador que complete satisfactoriamente el procedimiento de ensayo de calificación sea un soldador calificado, siempre que se hayan extraído el número de probetas de ensayo establecido por 6.5, se hayan ensayado y finalmente se halla cumplido con los criterios de aceptación de 5.6 para cada soldador.

Interpretación del párrafo 6.1 Generalidades (calificación de soldadores), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

De acuerdo a éste párrafo del estándar como el propósito de los ensayos de calificación de soldadores es determinar la destreza de éstos para ejecutar uniones soldadas sanas y de buena calidad usando un procedimiento previamente calificado. Se han completado la calificación del proceso de calificar a cada soldador y sometiendo a ensayos cada probeta ejecutada por cada uno de ellos.

Para el proyecto red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao la calificación debe ser simple según el ítem 6.2 del estándar, según esto donde un soldador debe hacer un cupón usando un procedimiento calificado para soldar dos niples en la posición establecida.



En el párrafo 6.2.2 Alcance (Calificación simple), del estándar API 1104-99 dice a la letra dice:

Un soldador que a completado satisfactoriamente la calificación descrita en 6.2.1 debe ser calificado dentro de los límites de las variables esenciales descrito a continuación. Si alguna

de las siguientes variables esenciales es cambiada, el soldador debe ser recalificado usando un nuevo procedimiento:

- a. Un cambio de un proceso de soldadura a otro proceso o combinación de procesos, como sigue:
 1. Un cambio de un proceso de soldadura a otro proceso diferente o
 2. Un cambio en la combinación de procesos de soldadura, a menos que el soldador haya sido calificado por separado con ensayos de calificación, usando cada uno de los procesos de soldadura, que van a ser empleados para la combinación de procesos de soldadura.
- b. Un cambio en la dirección de soldadura de vertical hacia arriba a vertical, hacia abajo o viceversa.
- c. Un cambio en la clasificación del metal de aporte del grupo 1 ó 2 al grupo 3 ó del grupo 3 al grupo 1 ó 2 (ver tabla 1).
- d. Un cambio de un grupo de diámetro exterior a otro. Estos grupos son definidos como sigue:
 1. Diámetro exterior menor que 2.375" (60.3 mm)
 2. Diámetro exterior desde 2.375" (60.3 mm) hasta 12.75" (323.9 mm)
 3. Diámetro exterior mayor que 12.75" (323.9 mm)
- e. Un cambio de un grupo de espesor de pared a otro. Estos grupos son definidos como sigue:
 1. Tuberías de espesor de pared nominal menor que 0.188" (4.8 mm).
 2. Tuberías de espesor de pared nominal de 0.188" (4.8 mm) hasta 0.75" (19.1 mm).
 3. Tuberías de espesor de pared nominal mayor que 0.75" (19.1 mm).
- f. Un cambio en la posición en la cual el soldador ha calificado (por ejemplo: un cambio de rotado a fijo ó un cambio de vertical a horizontal o viceversa). Un soldador que paso satisfactoriamente un ensayo de calificación de soldadura a tope, en la posición fija con el eje inclinado en 45° del plano horizontal, estará calificado para hacer juntas a tope y filetes en traslape en todas las posiciones.

- g. Un cambio en el diseño de la junta (por ejemplo, la eliminación de una placa de respaldo), o un cambio de bisel en "V" a "U".

Interpretación del párrafo 6.2.2 Alcance (Calificación simple), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

De acuerdo a lo descrito en el párrafo 6.2 el soldador debe soldar de acuerdo a los parámetros previamente establecidos en la calificación del procedimiento de soldadura y para nuestro análisis son aplicables las variables descritas de los párrafos a, b, c, f y g.

- Párrafo a) Se empleara los procesos SMAW y un proceso combinado SMAW y GTAW. Para cada caso se ha definido un EPS particular.
- Párrafo b) La dirección de soldadura que se empleara es vertical descendente y para reparaciones de soldaduras es vertical ascendente en el pase de raíz y vertical descendente en el resto de pases.
- Párrafo c) Solo se suministran los metales de aporte que se tienen definido en los EPS y son: E6010, E8010-G y ER 70S-6 para las reparaciones con el proceso GTAW.
- Párrafo d) La calificación de un EPS esta dado para soldar un rango de diámetros: 4½", 6", 8" y 10¾". Otra calificación del EPS para el diámetro de 20" de acuerdo al 3^{er} grupo.
- Párrafo e) Los espesores de tuberías son: 11.10 y 11.13 mm, por lo tanto estaremos trabajando solo con el 2^{do} grupo.
- Párrafo f) Para el tendido de la red del gasoducto, los trabajos se centran en soldar tuberías en posición 5G, pero se han calificado a la mayoría de soldadores según la posición 6G que cubre todas las anteriores, por que ésta variable esencial no debe ser un problema.
- Párrafo g) El trabajo de soldeo se centra en soldar tuberías con los extremos preparadas con un bisel de 30° (para juntas a tope en "V" de 60°), donde se debe respetar el diseño de la junta que en nuestro caso es el mismo para todos.



En el párrafo 6.4 Inspección visual, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Para que un cordón de soldadura empleado en los ensayos de calificación pueda cumplir los requerimientos para de inspección visual, la soldadura debe estar libre de fisuras, penetración inadecuada, quemones, debería presentar un apariencia uniforme y bien acabada. La profundidad de la mordedura adyacente al cordón final en el exterior de la tubería no debe ser mayor que 1/32" (0.8 mm) ó 12.5% del espesor de la pared de la tubería, cualquiera que sea la menor, y no debe ser mayor que 2" (50 mm) de mordedura en cualquier longitud de soldadura continua de 12" (300 mm).

Interpretación del párrafo 6.4 Inspección visual, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La interpretación sería que todos los defectos mencionados en el párrafo 6.4 deben controlarse ya que se pueden identificar visualmente. Para el caso de las mordeduras tenemos que el 12.5% espesor de la pared (11.13 mm) equivale a 1.3 mm por lo tanto la máxima profundidad permitida será de 0.8 mm por ser el menor valor permitido en el párrafo mencionado.



En el párrafo 6.6.1 Generalidades (radiografía), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Como opción de la compañía, la calificación de juntas a tope puede ser examinada por radiografía en lugar de los ensayos especificados en 6.5 (ensayos destructivos).

Interpretación del párrafo 6.6.1 Generalidades (Radiografía), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La mayoría de la calificación de los soldadores han sido realizadas por ensayo radiográfico de acuerdo al párrafo 6.6.1 del API 1104-99.

Si optamos usar ensayos destructivos para la calificación de soldadores tenemos que revisar la tabla 3 del API 1104-99 donde nos indica la cantidad y tipo de ensayos, la figura 12A y 12B que nos señala la ubicación de las probetas y los párrafos 6.5.3, 6.5.4 y 6.5.5 que nos describen la preparación, método y requerimiento del ensayo a realizar.

Tabla 3: Tipo y numero de muestras de ensayo de soldaduras a tope por soldador para ensayo de calificación de soldador y ensayo destructivo de soldaduras de protección

Diámetro externo de tubería		Numero de probetas					Total
Pulgadas	Milímetros	Resistencia a la Tracción	Rotura con entalla	Doblado de raíz	Doblado de cara	Doblez de lado	
Espesor de pared \leq 0.5 pulg. (12.70 mm)							
< 2.375	< 60.3	0	2	2	0	0	4 ^a
2.375–4.500	60.3–114.3	0	2	2	0	0	4
> 4.500–12.75	114.3–323.9	2	2	2	0	0	6
> 12.750	> 323.9	4	4	2	2	0	16
Espesor de pared > 0.5 pulg. (12.7 mm)							
\leq 4.500	\leq 114.3	0	2	0	0	2	4
> 4.500–12.75	>114.3–323.9	2	2	0	0	2	6
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	4	12

Nota: a⁶

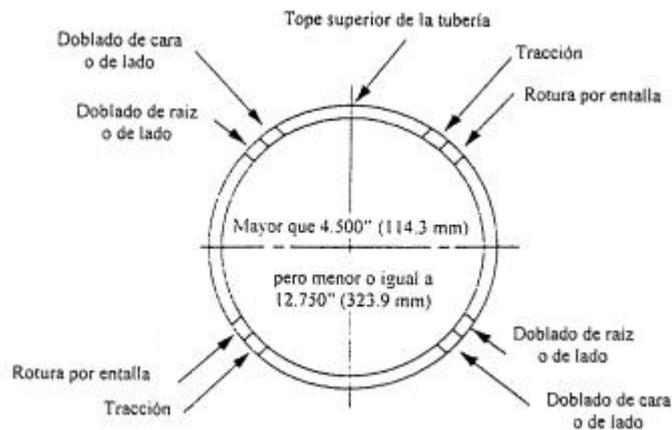


Figura 12A: Ubicación de las probetas de ensayo de soldaduras a tope para ensayos de calificación de soldadores (mayor que 4.5" (114.3 mm))

⁶ Para tubería menor o igual que 1.315 pulg. (33.4 mm) de diámetro externo debe tomarse muestras desde 2 soldadores o una muestra de resistencia a la tensión

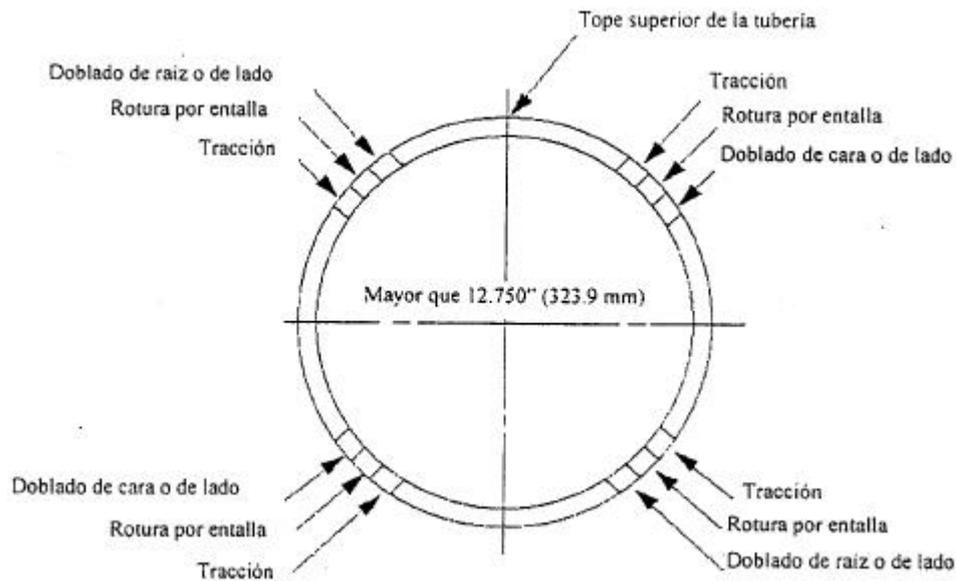


Figura 12B: Ubicación de las probetas de ensayo de soldaduras a tope para ensayos de calificación de soldadores (diámetros mayor que 12.750" (323.9 mm))



En el párrafo 6.8 Registros (calificación de soldadores), del estándar API

1104-99 a la letra dice:

Un registro de los ensayos debe ser mantenido específicamente para cada soldador y con los detalles de los resultados de cada ensayo. Un formato similar al mostrado en la figura 2 podría ser usado. (este formato debería ser desarrollado para satisfacer las necesidades de la compañía individual pero debe estar suficientemente detallado para demostrar que los ensayos de calificación cumplen los requerimientos de este estándar). Una lista de soldadores calificados y los procedimientos para los cuales ellos están calificados debe ser mantenida. Un soldador puede ser requerido para recalificación si surge algún cuestionamiento acerca de su competencia.

Interpretación del párrafo 6.8 Registros (Calificación de soldadores), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Según este párrafo los soldadores que tengan resultados favorables durante la calificación deberán registrarse y mantenerse mientras dure el proyecto.

4.2.1.4. Diseño y preparación de una junta para soldadura



En el párrafo 7.1 Generalidades (diseño y preparación de una junta para soldadura de producción), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Las tuberías deben ser soldadas por soldadores usando procedimientos calificados. Las superficies a ser soldadas deben estar lisas, uniformes y libres de laminaciones, escamas, escoria, grasa, pintura y otros materiales nocivos que puedan afectar adversamente a la soldadura. El diseño de unión y la separación entre extremos de tuberías deben estar de acuerdo con la especificación de los procedimientos utilizados.

Interpretación del párrafo 7.1 Generalidades (diseño y preparación de una junta para soldadura de producción), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La preparación de las juntas para soldadura de producción deben responder a las recomendaciones señaladas en este párrafo, pues de esta manera estamos asegurando juntas soldadas de buena calidad.



En el párrafo 7.2 Alineamiento, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

En el alineamiento de los extremos colindantes debe minimizar el desalineado entre las superficies. Para extremos de tubería del mismo espesor nominal, el desalineamiento no debe exceder 1/8" (3 mm). Variaciones mayores son permisibles siempre que sean causadas por variaciones en las dimensiones de los extremos de las tuberías dentro de la tolerancia especificada en la compra, y dichas variaciones estén distribuidas esencialmente de manera uniforme alrededor de la circunferencia de la tubería. Los martillos de la tubería para obtener un alineamiento conveniente deberán ser mantenidos en un mínimo.

Interpretación del párrafo 7.2 Alineamiento, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Según este párrafo el QC de soldadura deberá cumplir con lo especificado en dicho párrafo, es decir no debe de haber desalineamiento mayores de 3 mm. En los extremos colindantes de las tuberías.



En el párrafo 7.3 Uso de dispositivos de alineamiento para soldadura a tope, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Los dispositivos de alineamiento deben ser usados para soldaduras a tope de acuerdo con la especificación de procedimiento. Cuando sea permitido retirar el dispositivo de alineamiento antes que el pase de raíz sea culminado, la parte completada del cordón debe estar distribuida en segmentos aproximadamente iguales y espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia de la junta. Sin embargo, cuando el dispositivo de fijación interno es usado y las condiciones de trabajo son tales que hacen difícil prevenir el movimiento de la tubería o si la soldadura es esforzadas indebidamente, se debe completar el pase de raíz antes de liberar los dispositivos de alineamiento. Los segmentos de pase de raíz usados en conexiones con dispositivos de alineamiento externos, deben estar uniformemente espaciados alrededor de la circunferencia de la tubería y deben sumar en total una longitud de al menos 50% de la circunferencia de la tubería antes de retirar el dispositivo de alineamiento.

Interpretación del párrafo 7.3 Uso de dispositivos de alineamiento para soldadura a tope, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Para el proyecto vamos a emplear grampas de alineamiento externo tal como se señala en la especificación de procedimiento. Estas grampas serán retiradas solo cuando se complete el 50% del pase de raíz, debiendo estar distribuidas en segmentos proporcionalmente espaciados igualmente al rededor de la circunferencia.



En el párrafo 7.4 Bisel, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

7.4.1 Bisel efectuado en taller

Todo bisel de los extremos de tuberías, efectuados en un taller, debe estar conforme al diseño de la junta usado en la especificación de procedimiento.

7.4.2 Bisel efectuado en Campo

los extremos de tubería deberían ser biseladas en campo por maquinas herramientas o maquinas de corte por oxigeno. Si es autorizado por la compañía, también puede ser usado corte con oxigeno manual. Los extremos biselados deben ser razonables lisos y uniformes y las dimensiones deben estar de acuerdo con la especificación del procedimiento calificado.

Interpretación del párrafo 7.4 Bisel, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Los biseles que llegan de fabrica deben de estar de acuerdo a lo especificado al procedimiento de soldadura. Pero aquellos cortes y biseles que sean necesario efectuarse en campo deberán ser preparados con maquinas de oxicorte orbital, estos extremos deben ser razonablemente lisos y uniformes, y las dimensiones deben de estar de acuerdo con la especificación del procedimiento calificado.



En el párrafo 7.5 Condiciones climáticas, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La soldadura no debe ser hecha cuando la calidad de la soldadura completada podría ser perjudicada por las condiciones ambientales reinantes, incluyendo (pero no limitados únicamente a) la humedad del aire, corrientes de arena o fuertes vientos. Se pueden usar protectores de viento cuando sea factible. La compañía debe decidir si las condiciones ambientales son adecuadas para soldar.

Interpretación del párrafo 7.5 Condiciones climáticas, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

En el proyecto para contrarrestar los efectos climáticos se emplearan carpas de lona que nos permite crear un área favorable para el soldeo, además de evitar el reflejo de la luz provocada por el arco eléctrico y las chispas generadas durante la limpieza de la soldadura



En el párrafo 7.6 Espacio libre, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Cuando la tubería es soldada sobre el suelo, el espacio libre de trabajo alrededor de la tubería a soldar no debería ser menor de 15" (400 mm). Cuando la tubería es soldada en una zanja, el agujero de campana debe ser lo suficientemente largo como para permitir al soldador o soldadores un adecuado acceso a la junta.

Interpretación del párrafo 7.6 Espacio libre, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Para el proyecto se deben tener presentes los lineamientos de este párrafo y la aplicación de la misma. Por ejemplo se requiere una altura mínima de 500 mm para que pueda rotar el equipo de ultrasonido (ROTOSCAN). Para soldaduras en zanjas el agujero tiene una luz de 3000x4000 mm con el respectivo entibado para proteger de la posible desmoronamiento del talón.



En el párrafo 7.7 Limpieza entre pases, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Escamas y escoria debe ser removida de cada cordón y del canal. Herramientas mecánicas deben ser usadas cuando se especifique en el procedimiento, de otra manera, la limpieza puede ser realizada con herramientas manuales o mecánicas.

Interpretación del párrafo 7.7 Limpieza entre pases, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Después de cada pase de soldadura es obligatorio eliminar las escamas y la escoria. Mediante el uso de herramientas mecánicas de acuerdo a la especificación del procedimiento de soldadura



En el párrafo 7.8.1 Procedimiento (Soldadura de posición) Alineamiento, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Toda soldadura de posición debe ser hecha con las partes a ser unidas aseguradas contra movimientos y con el adecuado espacio libre alrededor de la junta para permitir al soldador o soldadores espacio en el cual puede trabajar.

Interpretación del párrafo 7.8.1 Procedimiento (Soldadura de posición), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Todas las soldaduras en posición deben ser hechas con las partes a ser unidas y asegurándose con la ayudas de Hiab para evitar movimientos y con adecuado espacio libre alrededor de la unión, a fin de permitir a los soldadores espacios suficientes en el cual trabajar.



En el párrafo 7.8.2 Pases de relleno y acabado, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Para soldadura de posición el numero de pases de relleno y acabo debe permitir una sección transversal de soldadura completa y sustancialmente uniforme alrededor de la circunferencia entera de la tubería. En ningún punto la sobremona de la superficie debe caer por debajo de la superficie exterior de la tubería ni tampoco debería estar levantada por encima del metal base mas de 1/16" (1.6 mm).

Dos pases no deben empezar en el mismo lugar. La cara del cordón final de soldadura debería ser aproximadamente 1/8" (3 mm) más ancha que el ancho del canal original. Una vez completada la soldadura esta debe ser rigurosamente escobillada y limpiada.

Interpretación del párrafo 7.8.2 Pases de relleno y acabado, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Se debe cumplir con lo especificado en el párrafo mencionado según el procedimiento de diseño de junta



En el párrafo 7.10 Identificación de soldaduras, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Cada soldador debe identificar su trabajo en forma prescrita por la empresa.

Interpretación del párrafo 7.10 Identificación de soldaduras, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Adyacente a cada junta se deberá dejar inscrito de un cuadro donde se señale lo siguiente:

- Código de junta
- Fecha
- Soldadores que participan en cada pase
- Numero de tubos
- Longitud de tubos



En el párrafo 7.11 Tratamiento térmico de pre y post calentamiento, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La especificación de procedimiento debe indicar las practicas de tratamientos térmicos de pre y post calentamiento a ser seguidos cuando los materiales o las condiciones climáticas hagan necesario ejecutar alguno o ambos tratamientos.

Interpretación del párrafo 7.11 Tratamiento térmico de pre y post calentamiento, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Un vez alineadas las tuberías se debe precalentar la junta a 100 °C tal como se establece el procedimiento de soldadura, y a 120 °C para las reparaciones de soldaduras.

4.2.1.5. Inspección y ensayo de soldadura de producción



En el párrafo 8.1 Derechos de inspección (Inspección y ensayo de soldadura de producción), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La compañía debe tener el derecho de inspeccionar todas las soldaduras por medio no destructivos o extrayendo soldaduras y sometiéndolas a ensayos mecánicos. La inspección puede ser hecha durante el proceso de soldadura o después que la soldadura ha sido completada. La frecuencia de inspección debe estar conforme a lo especificado por la compañía.

Interpretación del párrafo 8.1 Derechos de inspección (Inspección y ensayo de soldadura de producción), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Según el párrafo 8. para el proyecto el 100% de las juntas soldadas se inspeccionaran por ensayos no destructivos, por ultrasonido ó radiografía-



En el párrafo 8.2 Método de inspección, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Los ensayos no destructivos (END) pueden consistir en inspecciones radiográficas u otro método especificado por la compañía. El método usado deben producir indicaciones de imperfecciones que puedan ser interpretadas y evaluados con precisión. Las soldaduras deben ser evaluadas en base a la sección 9 o al apéndice "A", como una opción de la compañía. En este último caso, se requiere una inspección más completa con el objeto de determinar el tamaño de la imperfección.

Los ensayos destructivos deben consistir en la remoción de uniones soldadura completas, el seccionamiento de las uniones en probetas, y la evaluación de estas. Las probetas deben ser preparadas cumpliendo los requerimientos establecidos en 6.5. La compañía debe tener derecho de aceptar o rechazar cualquier soldadura que no consiga los requerimientos por el método por el cual fue inspeccionado. El soldador que ejecuto una soldadura que no cumplido con los requerimientos puede ser descalificado para trabajos posteriores.

Los operadores de equipo de inspección no destructiva pueden ser requeridos para demostrar la capacidad del procedimiento de inspección para la detección de defectos y la habilidad del operador para interpretar correctamente las indicaciones dadas por el equipo.

Interpretación del párrafo 8.2 Método de inspección, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Para la inspección de las juntas soldadas se han empleado dos métodos de inspección, por ultrasonido y radiografía, éste último solo representa el 4% de las juntas soldadas siendo empleadas en zonas donde existía complicaciones para inspeccionarse por ultrasonido. El 100% de las juntas soldadas se han inspeccionado definitivamente por uno de éstos métodos.

Para ambos métodos de inspección se reproducen indicaciones físicas que pueden ser verificadas, interpretadas y discutidas por el personal calificado para dichas interpretaciones de acuerdo al ASNT o una entidad paralela.

Para los operadores de los equipos de inspección, se les pide demostrar su acreditación como tal, por ejemplo del IPEN para el manejo de fuentes radioactivas, debiendo ser sometida a verificación además de la experiencia necesaria

Los soldadores que participan en la ejecución de las soldaduras y reparaciones son debidamente calificados según el capítulo 6.

4.2.1.6. Certificación del personal de END



En el párrafo 8.3 Calificación del personal de inspección, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

El personal de inspección de soldadura debe ser calificado por su experiencia y entrenamiento para llevar a cabo la tarea de inspección especificada. Sus calificaciones deben ser aceptadas por la compañía.

La documentación de estas calificaciones deben ser remidas por la compañía y deben incluir, pero no estar limitado a lo siguiente:

- a) Educación y experiencia
- b) Entrenamiento
- c) Resultados de exámenes de calificación.

Interpretación del párrafo 8.3 Calificación del personal de inspección, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Todo el personal involucrado en la inspección de las juntas soldadas empleando ultrasonido o radiografía han tenido que demostrar los requerimientos exigidos en el párrafo 8.3 del estándar y estar vigente su calificación, solo de esa manera podemos asegurar que las interpretaciones que obtengamos de las inspecciones de END tengan un asidero a la altura de las exigencias establecidas por el estándar.



En el párrafo 8.4.1 Procedimiento (Certificación del personal END), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

El personal de ensayo no destructivo debe estar certificado en los niveles I, II ó III de acuerdo con las recomendaciones de la ASNT (Sociedad Americana de Normas no Destructivas), Práctica Recomendada N° SNT-TC-1A, ACCP o cualquier otro programa de certificación nacional reconocido que sea aceptada por la compañía para el método de ensayo usado. Únicamente personal de nivel II ó III debe interpretar resultados de ensayo.

Interpretación del párrafo 8.4.1 Procedimiento (Certificación del personal END), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Definitivamente dentro del grupo de cada inspección de END existe un responsable de la interpretación de los resultados de las inspecciones de cada junta, este personal como mínimo cuenta con una certificación de nivel II vigente recomendada por alguna de las entidades referidas en éste párrafo.



En el párrafo 8.4.2 Registros (Calificación de personal de inspección), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Un registro de certificación de personal de END debe ser mantenido por la compañía. El archivo debe incluir los resultados de los ensayos de certificación, la agencia y el personal que otorga la certificación y la fecha de certificación. El personal de END puede ser requerido para ser recertificado como opción de la compañía, o, si sugiera cualquier cuestionamiento acerca de su capacidad. El personal de END nivel I y II deben ser recertificado al menos cada 3 años. El personal de END nivel III debe ser recertificado al menos cada 5 años.

Interpretación del párrafo 8.4.2 Registros (Calificación de personal de inspección), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La recopilación de información de cada personal encargado de los END debe completarse antes de iniciar sus actividades, para dar credibilidad y confianza ante el usuario final con los resultados que vamos a obtener, a lo largo de todas las juntas que deberán ser inspeccionadas de la red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao.

4.2.1.7. Criterios de aceptación



En el párrafo 9.1 Generalidades (Estándares de aceptación para END), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Los estándares de aceptación presentados en esta sección se aplican para imperfecciones localizadas por los métodos de ensayo de radiografía, partículas magnéticas, líquidos penetrantes y ultrasonido. Ellos también pueden ser aplicados para inspección visual. Los END no deben ser usados para seleccionar soldaduras que están sujetas a ensayos destructivos en concordancia con 8.1.

Interpretación del párrafo 9.1 Generalidades (Estándares de aceptación para END), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis.

Los estándares de aceptación presentadas en esta sección se aplican entre otras para imperfecciones localizadas por métodos de END radiográficos y de ultrasonido. La inspección visual es aplicable sólo para el pase de cobertura y se puede identificar solo defectos superficiales con instrumento de medición.



En el párrafo 9.2 Aceptación o rechazo, del estándar API 1104-99 d a la letra dice:

Todo método de END está limitado a la información que puede ser derivada de las indicaciones que ellos producen.

La compañía puede por lo tanto rechazar cualquier soldadura que parece satisfacer este estándar de aceptación si en su opinión la profundidad de una imperfección puede estar en detrimento de la soldadura.

Interpretación del párrafo 9.2 Aceptación o rechazo, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Es importante mantener un registro trazable de las juntas inspeccionadas para corroborar

cualquier verificación posterior al veredicto emitido por el personal encargado de los END. La compañía puede disponer ésta información y emitir una opinión final sobre el destino de la junta inspeccionada en cuestión.



En el párrafo 9.3.1 Penetración inadecuada sin desalineamiento, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La penetración inadecuada⁷ (IP) es definida como el llenado incompleto de la raíz de la soldadura. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la Figura 13. IP debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- a) La longitud de una indicación individual IP en una longitud de cordón continuo de 12" excede a 1" (25 mm).
- b) La suma de las longitudes IP en una longitud de cordón continuo de 12" (300 mm) excede 1" (25 mm)
- c) La suma de 7 las longitudes de las indicaciones IP exceden el 8% de longitud en cualquier soldadura con menos 12" (300 mm) de longitud de cordón.

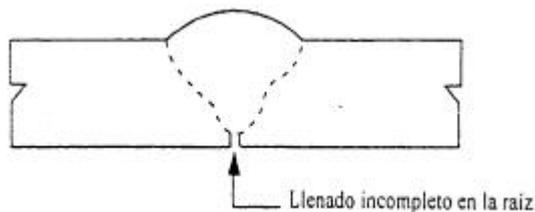


Figura 13: Penetración inadecuada sin desalineamiento (IP)

Interpretación del párrafo 9.3.1 Penetración inadecuada sin desalineamiento, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La penetración inadecuada cuando no existe desalineamiento (las tuberías están alineadas los 360°) se considera defecto y se debe reparar (ver 4.2 del presente capítulo) los defectos indicados en: a y b.

⁷ Una o ambas caras de la raíz pueden estar rellenas inadecuadamente en la superficie interior

El desarrollo de los diámetros (perímetro) que están interviniendo en el desarrollo de la tesis, se encuentran entre los 14" a 63" (para tuberías de 4" a 20" de diámetro), por tal motivo no es aplicable la condición c.



En el párrafo 9.3.2 Penetración inadecuada debido a desalineamiento (IPD), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

IPD es definido como la condición que existe cuando un canto de la raíz esta descubierto porque la tubería adyacente o la preparación de junta están desalineadas. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la figura 14. IPD debe ser considerada un defecto si alguna de las siguientes condiciones existen:

- a. La longitud de una indicación individual IPD excede de 2" (50 mm).
- b. La suma de las longitudes de las indicaciones IPD en una longitud de cordón continua de 12" (300 mm) excede las 3" (75 mm).

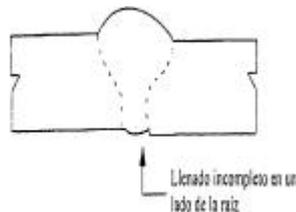


Figura 14: Penetración inadecuada debido a desalineamiento (IPD)

Interpretación del párrafo 9.3.2 Penetración inadecuada debido a desalineamiento, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Cuando las tuberías no son perfectamente circulares por lo general se presentan un desalineamiento y para atenuar este defecto se comparte el desalineamiento en los 360°, bajo éstas condiciones de presentarse una penetración inadecuada, se debe reparar para las condiciones a y b.



En el párrafo 9.3.3 Penetración transversal, del estándar API 1104-99 a la letra

dice:

ICP es definido como una imperfección sub superficial entre el primer pase interno y el primer pase externo que es causado por la penetración inadecuada de caras verticales.

Esta condición se muestra esquemáticamente en la figura 15. ICP debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- a. La longitud de una indicación individual de ICP excede a 2" (50 mm).
- b. La suma de las longitudes de las indicaciones ICP en una longitud de cordón continua de 12" (300 mm) excede a 2" (50 mm).

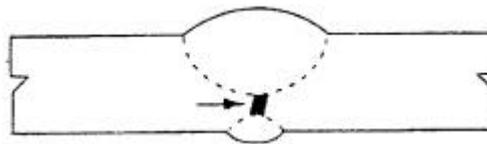


Figura 15: Penetración transversal inadecuada (ICP)

Interpretación del párrafo 9.3.3 Penetración transversal, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Para el desarrollo de tesis los diseños de juntas es de penetración completa y soldado por un solo lado (exterior), por lo que este párrafo no es aplicable.



En el párrafo 9.3.4 Fusión incompleta (IF), del estándar API 1104-99 a la letra

dice:

IF es definido como una imperfección superficial entre el metal de soldadura y el metal base que esta abierto a la superficie. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la figura

16. IF debe ser considerada defecto si algunas de las siguientes condiciones existe:

- a. La longitud de una indicación individual IF excede 1" (25 mm).
- b. La suma de las longitudes de las indicaciones IF en una longitud de cordón continuo de 12" (300 mm) excede 1" (25 mm).
- c. La suma de las longitudes de las indicaciones IF excede el 8% de longitud en cualquier soldadura con menos de 12" (300 mm) de longitud de cordón.

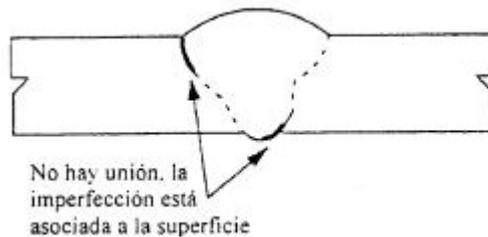


Figura 16: Fusión incompleta en la raíz del cordón o en la parte superior de la junta (IF)

Interpretación del párrafo 9.3.4 Fusión incompleta (IF), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Este tipo de defectos se pueden presentar en la cara exterior o interior del tubo y se reparara cuando se presentan las condiciones indicadas en los párrafos a y b.



En el párrafo 9.3.5 Fusión incompleta ocasionada por traslape frío (IFD), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

IFD es definido como una imperfección entre dos pases de soldadura adyacentes, o entre el metal de soldadura y el metal base que no esta abierto a la superficie. Esta condición se muestra esquemáticamente en la Figura 17. IFD debe ser considerada defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- a. La longitud de una indicación individual IDF excede 2" (50 mm).
- b. La suma de las longitudes de las indicaciones IFD en una longitud de cordón continuo de 12" (300 mm) excede a 2" (50 mm).
- c. La suma de las longitudes de indicaciones de IFD excede el 8% de la longitud del cordón.

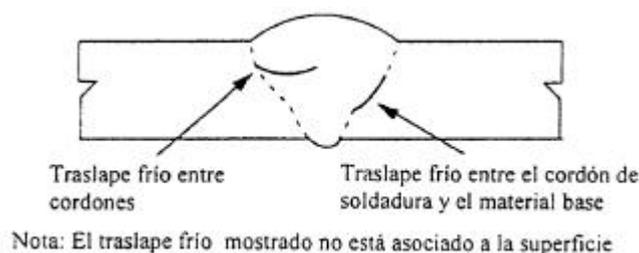


Figura 17 : Fusión incompleta debido a traslape frío (IFD)

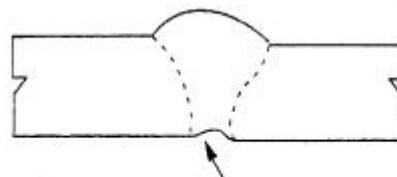
Interpretación del párrafo 9.3.5 Fusión incompleta ocasionada por traslape frío (IFD), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Este tipo de defecto de presentarse debe repararse si se presentan las condiciones a y b.



En el párrafo 9.3.6 Concavidad interna (IC), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

IC es definido en 3.2.7 y es mostrado esquemáticamente en la figura 18. Cualquier longitud de IC es aceptable si la densidad de la imagen radiográfica en la IC no excede a la del material base más delgado. En áreas donde se exceden la densidad del material base más delgado, se aplica el criterio para quemones (Ver 9.3.7)



El cordón de raíz funde en ambas superficies, pero el centro del pase de raíz está ligeramente bajo la superficie interior de la tubería.

Figura 18: Concavidad interna (IC)

Interpretación del párrafo 9.3.6 Concavidad interna (IC), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

De presentarse este tipo de defecto debe repararse tal como se indican en el párrafo 9.3.7.2 (a, b y c)



En el párrafo 9.3.7 Quemón (BT), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

9.3.7.1 Un BT es definido como una porción del pase de raíz donde una excesiva penetración ha causado que el baño de soldadura penetre hacia el interior del tubo (provocando un agujero o perforación en el cordón).

9.3.7.2 Para una tubería con un diámetro exterior mayor o igual a 2.375" (60.3 mm), un BT debe ser considerado defecto si algunas de las condiciones existe:

- a. Cuando la máxima dimensión excede a 1/4" (6 mm) y la densidad de la imagen de la BT excede la del material base adyacente más delgado.

- b. Cuando la máxima dimensión excede al menor de los espesores de pared nominales de la unión soldada y la densidad de la imagen de BT excede la del material base adyacente más delgado.
- c. Cuando la suma de las máximas dimensiones de BTs separadas, cuyas densidad de imagen exceden la del material base adyacente más delgado, es mayor a $\frac{1}{2}$ (13 mm) medido en una proporción continua de cordón de soldadura de 12" (300 mm) o medido a lo largo del total de la longitud de la soldadura, cualquiera sea la menor.

Interpretación del párrafo 9.3.7 Quemón (BT), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Para nuestro caso se están empleando tuberías que tienen longitudes desarrolladas de soldadura desde 14" hasta 63", por lo tanto solo es aplicable el párrafo 9.3.7.2 porque se aplica a tuberías con un diámetro exterior mayor o igual que 2.375, y se debe reparar los defectos de existir las condiciones descritas en los párrafos a, b y c.



En el párrafo 9.3.8 Inclusiones de escoria, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

9.3.8.1 Una inclusión de escoria es definida como un sólido no metálico atrapado en el metal depositado o entre el metal base y el metal depositado. Inclusiones de escoria alargada (ESIs) - ejemplo, líneas de escoria continuas o entrecortadas o huellas de vagón- son usualmente encontradas en la zona de fusión. Las Inclusiones de escoria aisladas (ISIs) son formadas irregularmente y pueden ser localizadas en cualquier lugar en la soldadura. Para propósitos de evaluación cuando se mida el tamaño de una indicación radiográfica, la máxima dimensión de la indicación, debe ser considerada como su longitud.

9.3.8.2 Para una tuberías con un diámetro externo mayor o igual a 2.375" (60.3 mm), una inclusión de escoria deben ser consideradas defecto si existe alguna de las siguientes condiciones existe:

- a. La longitud de una indicación ESI excede las 2" (50 mm).⁸
- b. Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones ESI en cualquier tramo continuo de 12" (300 mm) de cordón de soldadura excede a 2" (50 mm).
- c. Cuando el ancho de una indicación ESI excede 1/16" (1.6 mm).
- d. Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones ISI en cualquier tramo continuo de 12" (300 mm) de cordón de soldadura excede 1/2" (13 mm).
- e. Cuando el ancho de una indicación ISI excede 1/8" (3 mm).
- f. Cuando mas de cuatro indicaciones ISI con el ancho máximo de 1/8" (3 mm) están presentes en cualquier tramo continua de 12" (300 mm) de cordón de soldadura.
- g. Cuando las longitudes sumadas de indicaciones ESI e ISI excede el 8% de la longitud soldada.

Interpretación del párrafo 9.3.8 Inclusiones de escoria, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La inclusión de escoria es un defecto que debe repararse si se presenta las condiciones descritas en loa puntos a, b, c, d , e, f y g.

Similar al caso anterior el párrafo 9.3.8.3 no es aplicable porque los diámetros referidos no estamos tratando.



En el párrafo 9.3.9 Porosidad, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

9.3.9.1 La porosidad se define como un gas atrapado por la solidificación de metal de soldadura antes de que el gas tenga la oportunidad de ascender a la superficie del

⁸ Indicaciones ESI paralelo separados por aproximadamente el ancho del pase de raíz (wagon track) deben ser consideradas como una sola indicación a menos que el ancho de cualquiera de ellas exceda 1/32" (0.8 mm). En tal caso, deben ser consideradas como indicaciones separadas.

baños fundido y escapar. Las porosidades son generalmente esférica pero puede ser elongadas o de forma irregular, tales como las porosidades alargadas (agujeros de gusano). Cuando el tamaño de una indicación radiográfica producida por un poro es medido, a la máxima dimensión de la indicación debe aplicarse el criterio en 9.3.9.2 hasta 9.3.9.4.

9.3.9.2 Porosidad (P) individuales o dispersa deben ser consideradas defectos si algunas de las siguientes condiciones existe:

- a. Cuando el tamaño de un poro individual excede 1/8" (3 mm).
- b. Cuando el tamaño de un poro individual excede el 25% del espesor de la pared nominal más delgada de la junta.
- c. Cuando las porosidades distribuidas o dispersas excede la concentración permitida por la figuras 19 ó 20.

9.3.9.3 La porosidad agrupada (CP) que ocurre en cualquier pase excepto el final debe cumplir el criterio 9.3.9.2. La CP que ocurre en el pase final debe ser considerada un defecto sí alguna de las siguientes condiciones existe:

- a. Cuando el diámetro de la agrupación excede 1/2" (13 mm).
- b. Cuando la suma de las longitudes de la indicaciones CP en cualquier tramo continuo de 12" (300 mm) de cordón de soldadura excede a 1/2" (13 mm).
- c. Cuando un poro individual cerca de una porosidad agrupada (CP) excede en tamaño a 1/16" (2 mm).

9.3.9.4 Poro vermicular (HB) es definido como una porosidad lineal alargada que ocurre en el pase de raíz. HB debe considerada defecto sí alguna de las siguientes condiciones existe:

- a. Cuando la longitud de una indicación HB individual excede 1/2" (13 mm).
- b. Cuando la suma de las longitudes de indicaciones HB en cualquier tramo continuo de 12" (300 mm) de cordón de soldadura excede 2" (50 mm).
- c. Cuando las indicaciones individuales de cada porosidad HB, mayor a 1/4" (6 mm) de longitud, están separadas por menos de 2" (50 mm) de distancia.

- d. Cuando las longitudes sumadas de indicaciones HB excede el 8% de la longitud soldada.

Interpretación del párrafo 9.3.9 Porosidad, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Cuando se presente algunos de los defectos indicados en los párrafos 9.3.9.2, 9.3.9.3 y 9.3.9.4 se debe proceder a la reparación respectiva.



En el párrafo 9.3.10 Fisuras, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Las fisuras deben ser consideradas defectos si alguna de las siguientes condiciones existe:

- a. Cuando la fisura de cualquier tamaño o localización dentro de la soldadura, no es una fisura de cráter⁹ o una fisura estrella.
- b. Cuando la fisura es una fisura de cráter o fisura de estrella con una longitud superior a 5/32" (4 mm).

Interpretación del párrafo 9.3.10 Fisuras, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

De existir fisuras en las juntas soldadas se deben considerar defectos para las consideraciones detalladas en a y b.



En el párrafo 9.3.11 Mordedura, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La mordedura es definida como un canal fundido dentro del material base adyacente a la base o raíz de la soldadura y que no es llenado por el metal de aporte. La mordedura adyacente al pase de acabado (EU) o al pase de raíz (IU) debe ser considerada como un defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

⁹ Las fisuras de cráter o de estrella están situadas en los puntos de parada de soldadura de pases y son el resultado de contracciones del metal de soldado durante la solidificación.

- a. Cuando la suma de las longitudes de indicaciones de mordeduras¹⁰ EU e IU, en cualquier combinación, en cualquier tramo continua de 12" (300 mm) excede a 2" (50 mm).
- b. Cuando la suma de las longitudes de indicaciones de mordeduras EU e IU, en cualquier combinación, excede un sexto de la longitud soldada.

Interpretación del párrafo 9.3.11 Mordedura, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

De existir defectos de este tipo debe repararse de acuerdo a los puntos indicados en a y b.



En el párrafo 9.3.12 Acumulación de imperfecciones, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Excluyendo penetración incompleta IPD y mordeduras, cualquier acumulación de imperfecciones (AI) debe ser considerado un defecto si alguna de las siguientes condiciones existen:

- a. Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones, en cualquier tramo continuo de 12" (300 mm) de cordón de soldadura excede a 2" (50 mm).
- b. Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones excede el 8% de la longitud soldada.

Interpretación del párrafo 9.3.12 Acumulación de imperfecciones, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

La acumulación de imperfecciones es una causa para que una junta se tenga que rechazar y esta pase a reparación, por lo tanto de darse cualquiera de las condiciones señaladas en el párrafo 9.3.12 se procede a la reparación

¹⁰ Ver 9.7 para estándares de aceptaciones para mordeduras cuando se emplean mediciones visuales y mecánicas.

4.2.2 Proceso de reparación



En el párrafo 10.1.1 Autorización para reparar (Reparación y remoción de defecto), del estándar API 1104-99 a la letra dice:

10.1.1 Fisuras

Las soldaduras fisuradas deben ser removidas de la línea a menos que sean permitidas por 9.3.10 o cuando la reparación es autorizada por la compañía. Las fisuras pueden ser reparadas siempre que la longitud de la fisura sea menor al 8% de la longitud de soldadura, y se use un procedimiento de reparación de soldadura calificado.

10.1.2 Otros defectos diferentes a fisuras

Defectos en la raíz y pases de aporte pueden ser reparados con previa autorización de la compañía. Defectos en el pase superficial pueden ser reparados sin previa autorización de la compañía. Un procedimiento de reparación de soldadura calificado es requerido para ser empleado siempre que una reparación sea hecha a una soldadura usando un proceso diferente del empleado al realizar la soldadura original o cuando la reparación es echa previamente reparada.

Interpretación del párrafo 10.1.1 Autorización para reparar (Reparación y remoción de defecto), del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis:

Según el párrafo 10.1.1 del estándar el defecto de fisura no se debe reparar y se debe cortar con toda la junta.

Para otros defectos diferentes a fisura se deben reparar usando el procedimiento de reparación aprobado.



En el párrafo 10.2 Procedimiento de reparación, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Cuando un procedimiento de reparación de soldadura se requiera, el procedimiento debe ser establecido y calificado para demostrar que una soldadura con propiedades mecánicas satisfactorias y sanidad puede ser producida. Esto debe ser determinado por ensayo destructivo y el tipo y número de dichos ensayos debe ser a criterio de la compañía. El criterio de reparación, como mínimo, debe incluir lo siguiente:

- 10.2.1** Método de exploración del defecto
- 10.2.2** Método de remoción del defecto
- 10.2.3** El canal de reparación debe ser examinada para confirmar la completa remoción del defecto
- 10.2.4** Requisitos de precalentamiento y tratamiento térmico interpases.
- 10.2.5** Procesos de soldadura y otra especificación de información contenida en 5.3.2
- 10.2.6** Requisito para ensayo no destructivo entre pases

Interpretación del párrafo 10.2 Procedimiento de reparación, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis

Para la reparación de una junta debemos considerar los siguientes aspectos:

- Definir la especificación de procedimiento de reparación
- Calificar el procedimiento de reparación
- Calificación de soldadores para reparaciones

Aquellas juntas identificadas con discontinuidades deben ser reparadas a través de procedimientos pre establecidos de acuerdo a lo indicado en el párrafo 10.2 del estándar.



En el párrafo 10.3 Criterios de aceptación, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

Las áreas reparadas deben ser inspeccionadas por los mismos medios usados previamente. Si la compañía prefiere, se puede reinspeccionar toda una soldadura que

contiene una reparación, en el mismo modo permitido para la inspección de una soldadura de producción (Ver 8.1 y 8.2). Las reparaciones deben cumplir los estándares de aceptabilidad de la sección 9.

Interpretación del párrafo 10.3 Criterios de aceptación, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis

Una vez realizada una reparación se deben cumplir lo establecido en el párrafo 10.3



En el párrafo 10.4 Supervisión, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La reparación debe ser hecha bajo la supervisión de un técnico con experiencia en técnicas de reparación de soldaduras.

Interpretación del párrafo 10.4 Supervisión, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis

Para realizar una reparación se debe tener presente lo establecida en el párrafo 10.4



En el párrafo 10.4 Supervisión, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La reparación debe ser hecha bajo la supervisión de un técnico con experiencias en técnicas de reparación de soldaduras.

Interpretación del párrafo 10.4 Supervisión, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis

El 100% de las reparaciones se deben realizar con la presencia de supervisores de experiencia en soldadura, según el párrafo 10.4 y para cada reparación que se tenía que ejecutar se hace bajo la dirección del supervisor de soldadura y el supervisor de calidad, y si las condiciones lo permite con la presencia del representante del cliente.



En el párrafo 10.5 Soldador, del estándar API 1104-99 a la letra dice:

La soldadura debe ser hecha por un soldador calificado.

Interpretación del párrafo 10.5 Soldador, del estándar API 1104-99 para el proyecto de tesis

Para una reparación se debe tener en cuanto lo establecido en el párrafo 10.5, por lo tanto solo pueden reparar aquellos soldadores que han sido calificados exclusivamente para reparación, esto quiere decir que no basta contar con la homologación de soldador calificado.

4.2.3 Proceso de corte

De acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto, solo está permitido reparar un defecto una sola vez, esto quiere decir si la reparación resulta rechazada la junta debe ser retirada de la línea (cortar). Otra causa de corte es por la acumulación de defectos que pueda existir en una junta, esto quiere decir que si llegamos a acumular más del 25% como longitud de defectos para los casos de discontinuidades en la zona de raíz, la junta se corta y un acumulado del 30% para zonas diferentes de raíz la junta debe ser cortada.

Conclusión

Los lineamientos establecidos en las especificaciones técnicas y los estándares respectivos son recomendaciones que debemos cumplir, difundiendo esto en: los planes de calidad, los procedimientos e instrucciones técnicas, para obtener productos de calidad y que sean fiables. En éste caso especial con mucha razón por tratarse de una línea que va transportar un combustible por el centro de la capital del Perú.

CAPITULO 5

PROCESO DE SOLDADURA REPARACION Y CORTE

5.1 Desarrollo del proceso de soldadura

El soldeo es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con sin aplicación de presión y con o sin aporte de material.

Diferenciamos los conceptos de soldeo y soldadura:

Soldeo son las acciones conducentes para obtener uniones soldadas

Soldadura es la unión obtenida por las diferentes acciones de soldeo.

De acuerdo a la AWS las uniones por soldeo se clasifican en tres grandes grupos:

- Soldeo por fusión
- Soldeo por estado sólido.
- Soldeo fuerte y blando.

Para el tema de tesis se desarrollara el proceso de soldeo por fusión. Aquí se produce la fusión del metal base únicamente y/o la del metal base con el material de aporte, específicamente en la ejecución del proyecto RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO, se usaron el proceso de soldadura SMAW y para lo que es reparaciones de juntas los procesos de soldadura GTAW y SMAW.

El material base (tubería) cambia sus propiedades mecánicas debido al calor que se les expone durante el proceso de soldadura, es por esta razón que se desarrollaran el Ciclo térmico, soldabilidad, arco eléctrico y los procesos SMAW y el GTAW

5.1.1 El ciclo térmico

5.1.1.1 Importancia

Muchos de los metales y aleaciones que son expuestos al calor, sufren cambios o transformaciones microestructurales en su estado sólido. Estos cambios microestructurales provocan a su vez cambios en las propiedades mecánicas y pueden afectar el comportamiento mecánico en servicio de una estructura o componente mecánico.

La permanencia a determinadas temperaturas y sus enfriamientos posteriores pueden alterar la microestructura de los aceros. El conocimiento de la metalurgia de los aceros nos permiten controlar los calentamientos y enfriamientos para transformar el acero y conferirle las propiedades mecánicas deseadas. Es así que nacen los tratamientos térmicos.

Sin embargo, existen circunstancias en las cuales ese calentamiento y enfriamiento del metal no se realiza con la intención expresa de mejorar sus propiedades mecánicas, sino que es una consecuencia "inevitable" de algún otro proceso involucrado.

Algo parecido puede ocurrir cuando aplicamos calor a un metal para unirlos por soldadura. Cuando soldamos por fusión, buscamos unir dos piezas fundiéndolas localmente (o fundiendo al menos una), a fin de conseguir una unión metalúrgica (a nivel atómico) entre ambas. Sin embargo, este calor que aplicamos localmente a la zona de unión, se transmite y viaja a través del metal (que es un buen conductor del calor) a otras zonas del mismo, aumentando también su temperatura.

Ello conduce a que estas zonas del metal puedan sufrir transformaciones metalúrgicas como consecuencia de este calentamiento y posterior enfriamiento. Pero también, el

calentamiento y enfriamiento locales trae como consecuencia cambios dimensionales en la pieza, que pueden provocar distorsión o la formación de esfuerzos residuales en la pieza soldada.

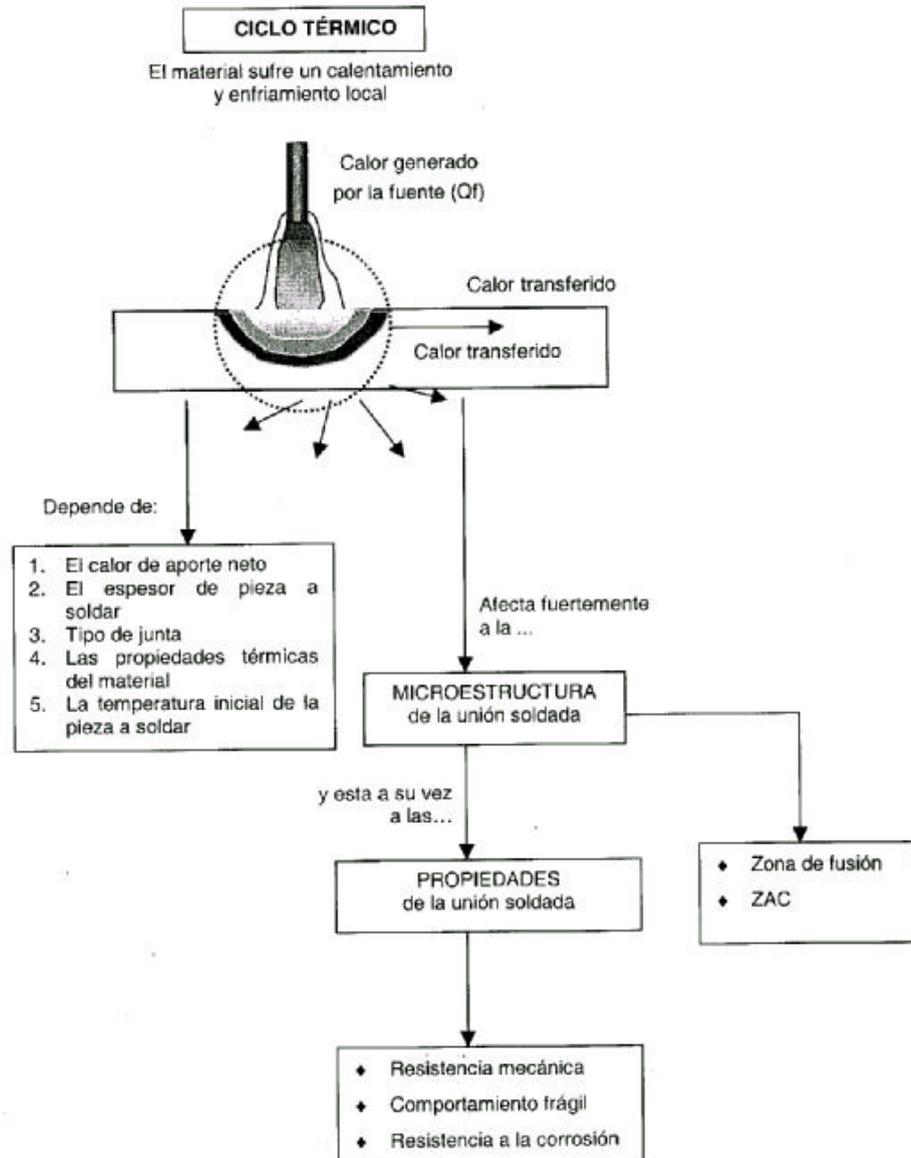
Como podemos apreciar, lo que en un principio se trataba de un simple calentamiento para fundir dos regiones de metal a unir, se puede convertir en toda una operación “traumática” para el material y la pieza a soldar.

El proceso de soldadura involucra necesariamente aporte de calor para unir dos partes entre si. El aporte de calor es muy importante no sólo porque permite que se lleve a cabo la unión sino porque afecta su micro estructura y ésta, a su vez sus propiedades mecánicas. Además provoca variaciones dimensionales y puede generar tensiones residuales que afecten la integridad estructural de los componentes soldados.

Entonces cuando calentamos y enfriamos un metal o aleación para mejorar sus propiedades, estamos hablando de un tratamiento térmico. En cambio, cuando el metal es sometido a calentamientos y enfriamientos como consecuencia de la soldadura, este suceso o evento recibe el nombre de ciclo térmico.

El ciclo térmico es un evento inevitable en la soldadura por fusión, pero puede ser controlado a fin de lograr los mejores resultados durante la soldadura.

Las propiedades mecánicas de una aleación están íntimamente ligadas a su microestructura. Asimismo, la microestructura de una aleación depende de su “historia térmica, es decir de los calentamientos y enfriamientos a los que ha sido sometido previamente. A esto le llamamos ciclos térmicos. Dependiendo de como haya sido el ciclo térmico se tendrá una determinada microestructura en la aleación y por lo tanto, unas propiedades mecánicas específicas.



Cuando soldamos una pieza la estamos sometiendo a calentamientos y enfriamientos localizados, es decir la estamos sometiendo a ciclos térmicos. Por lo tanto, si pudiésemos controlar lo mejor posible el ciclo térmico durante la soldadura podríamos controlar también su microestructura y con ello sus propiedades mecánicas.

Pero, ¿qué aspecto del ciclo térmico es importante conocer para poder luego controlarlo?

El ciclo térmico esta representado básicamente por:

- La distribución de la temperatura máxima en la Zona Afectada por el Calor (ZAC)

- La velocidad de enfriamiento en el metal fundido y en la ZAC
- La velocidad de solidificación del metal fundido

5.1.1.2 Distribución de la temperatura

Supongamos que estamos realizando una soldadura sobre la superficie AB (figura 5.1) y que podemos colocar termocuplas distribuidas inmediatamente debajo de la superficie, tal como se indica en la figura 5.1 (círculos pequeños).

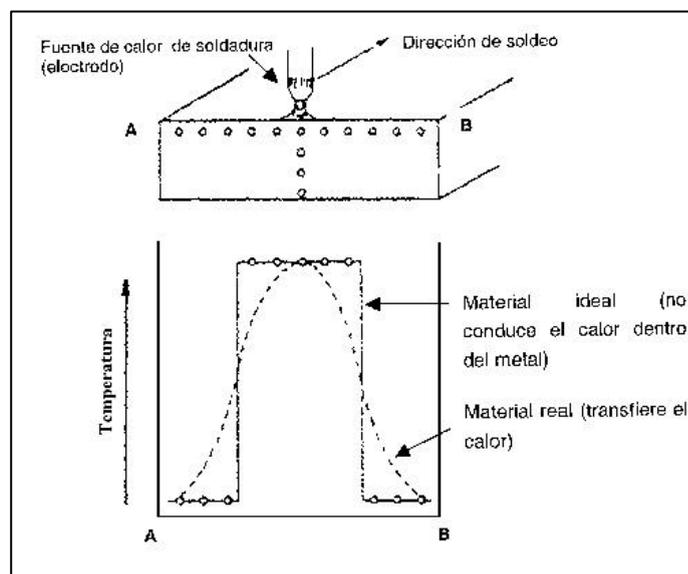


FIGURA 5.1: DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA

Si el calor aportado por la soldadura no fluyera a través de la pieza a soldar entonces todo el calor se concentraría solamente en la zona a fundir. De esta manera, sólo una zona estrecha en el material alcanzaría la temperatura de fusión, mientras que el resto del metal permanecería a la temperatura ambiente, como se muestra en la línea continua. Sin embargo, la realidad es otra; pues los metales son buenos conductores del calor; es decir sus átomos transmiten rápidamente el calor a sus vecinos distribuyéndolo a lo largo de la pieza. Entonces, si midiéramos la temperatura con las termocuplas (termopares) en cada punto del material durante la soldadura, tendríamos una distribución de la temperatura como la representada por la curva de trazos de la figura 5.1.

Estas curvas reales de distribución de temperaturas son muy importantes pues nos permiten conocer en un momento determinado cual es la temperatura en diferentes puntos de la pieza que esta siendo soldada. Si conocemos la temperatura en cada punto podremos predecir que zonas del metal se verán afectadas microestructuralmente e incluso podremos estimar el grado de distorsión a la que estaría sometida la unión como consecuencia del calor de soldadura. La fuente de calor se aplica a la pieza a soldar durante un lapso de tiempo determinado, por lo tanto es lógico pensar que en un primer momento esta se caliente y luego, una vez que la fuente de calor deja de actuar, comienza a enfriarse. Esto significa que cada punto del metal experimentará una variación de su temperatura en función del tiempo, es decir, un ciclo térmico.

Si representamos los dos conceptos; distribución de temperaturas y ciclo térmico en un mismo gráfico, tendremos una serie de curvas de temperatura que van cambiando en el tiempo como se indica en la figura 5.2. Hasta aquí hemos trabajado el ciclo térmico y la distribución de temperaturas y es importante subrayar que significa y representa cada una de ellas.

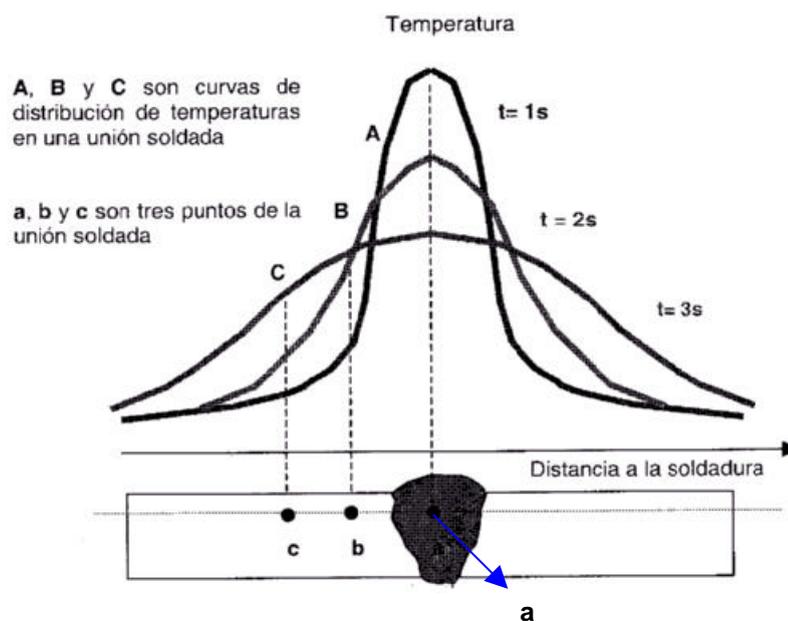


FIGURA 5.2 : DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS DE UNA SECCIÓN CUALQUIERA A LO LARGO DEL EJE X. LAS CURVAS REPRESENTAN MOMENTOS DIFERENTES DURANTE LA SOLDADURA

La distribución de temperatura: representa las temperaturas existentes en un momento determinado, en varios puntos del metal que ha sido o esta siendo soldado.

El ciclo térmico: representa como varía la temperatura a lo largo de todo el tiempo de un punto cualesquiera del metal durante la soldadura. El ciclo térmico representa por tanto, la historia térmica de un punto cualquiera del metal y por ello tiene una influencia notable en la microestructura final de dicho metal y en sus propiedades mecánicas.

Sin embargo, la fuente de calor (del soplete o el arco eléctrico) no permanece estacionaria, sino que durante la soldadura se mueve alejándose de la sección que se consideró originalmente. La zona que ha recibido directamente el calor del arco y sus proximidades comenzarán a enfriarse, es decir, descenderán de temperatura; mientras que aquellas que están más próximas a la fuente de calor, comenzarán a calentarse, elevando su temperatura. Al cabo de algunos segundos, las curvas de distribución de temperatura en nuestra sección considerada originalmente irán variando, como se muestra en la figura 5.3, transformándose la curva, según va pasando el tiempo y se va alejando de la fuente de calor, en otra curva cada vez más tendida, hasta que es prácticamente horizontal y termina confundiéndose con una recta cuando se alcanza la temperatura ambiente.

Si colocamos ahora termocuplas sobre toda la superficie de las planchas a soldar, para medir en cada punto de aquella el ciclo térmico durante la soldadura y dibujamos las curvas isoterma a partir de las mediciones de temperatura, obtendríamos una representación como la de la figura 5.3.

Tanto las curvas de distribución de temperatura como las isotérmicas, dependen de los siguientes factores:

- El baño fundido, que actúa como foco de calor más o menos permanente. Aquí los parámetros a tomar en cuenta son la intensidad de la corriente, el voltaje y la velocidad de avance.

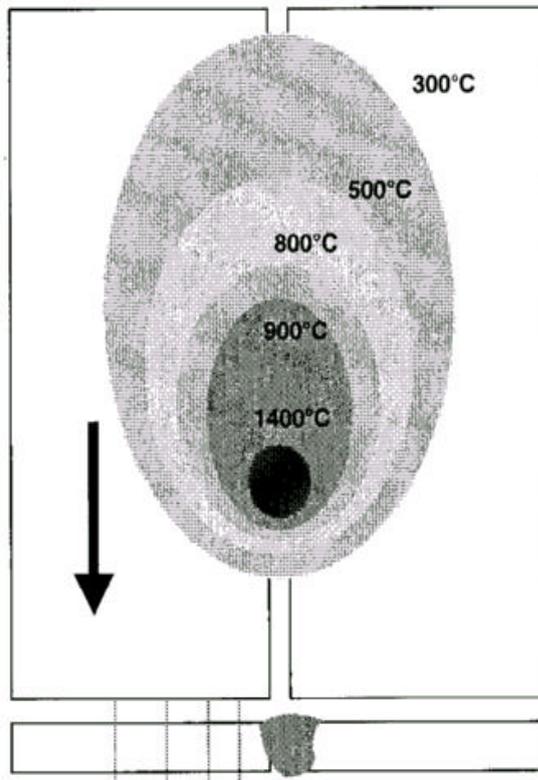


FIGURA 5.3: CURVAS ISOTERMICAS EN UNA PLANCHA SOMETIDA A SOLDADURA A TOPE

- La masa de metal base, que absorbe el calor. Aquí el factor determinante es el espesor de la pieza a soldar y la configuración del tipo de junta (a tope, en filete, etc).

La temperatura inicial del metal base, que incide sobre el gradiente de temperatura. Aquí el factor a considerar es la temperatura ambiente o la temperatura a la cual el metal ha de ser precalentado antes de soldar.

5.1.1.3 Gradiente de temperatura

Llamamos gradiente de temperatura o gradiente térmico a la diferencia de temperatura que existe entre dos puntos separados entre sí una determinada distancia. El gradiente de temperatura determina la velocidad del flujo de calor entre ambos puntos. Es decir, cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas que existe entre esos puntos (mayor gradiente térmico), tanto mayor será la velocidad de enfriamiento o de calentamiento entre ellos.

Al observar nuevamente la figura 5.2, podemos advertir que el gradiente térmico entre dos puntos (a y b por ejemplo) no es constante en el tiempo. En un instante dado ($t = 1s$) la curva de distribución de temperaturas es la curva A, mientras que para otro momento $t = 2s$, es la curva B, que muestran entre los puntos a y b gradientes térmicos muy diferentes.

Conforme el metal se va enfriando (curva A → curva B → curva C) el gradiente térmico entre a y b se va reduciendo por lo que la velocidad de enfriamiento también disminuirá progresivamente.

Ahora observemos la figura 5.4. En ella se muestran dos distribuciones de temperaturas en una unión soldada. En la curva de la izquierda se observa un alto gradiente térmico entre los puntos a y b, mientras que en la curva de la derecha el gradiente térmico es menor.

Al igual que en el ejemplo anterior, un menor gradiente térmico significa una menor velocidad de enfriamiento. Por lo tanto, la soldadura de la derecha se está enfriando más lentamente que la unión soldada de la izquierda.

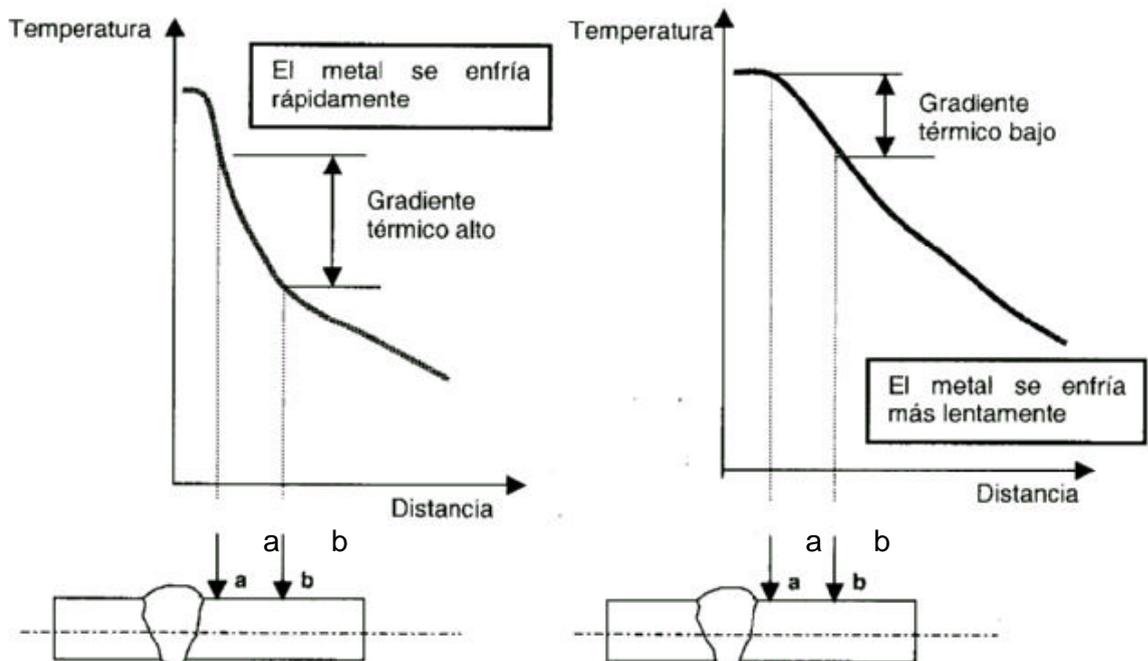


FIGURA 5.4 : GRADIENTES DE TEMPERATURAS EN UNA UNIÓN SOLDADA QUE SE PRESENTA ENTRE DOS PUNTOS CUALESQUIERA DE LA PIEZA A SOLDAR

Pero, ¿qué tan importante para las propiedades finales de la unión soldada será el hecho de que durante el proceso de soldadura, el metal se haya enfriado de forma lenta o rápida? Para responder a esta pregunta debemos recordar las transformaciones que sufre el acero en estado de equilibrio y fuera de él, y que los enfriamientos desde elevadas temperaturas pueden provocar grandes cambios en las propiedades mecánicas del acero.

Analicemos ahora lo que sucede durante la soldadura en diversos puntos de la unión soldada. La figura 5.5 representa los ciclos térmicos correspondientes a los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 ubicados en la unión soldada.

Observando las distintas curvas de enfriamientos, podemos advertir lo siguiente:

- La velocidad de calentamiento es mucho más rápida que la de enfriamiento.
- La temperatura máxima alcanzada es más alta cuanto más próximo está la fuente de calor. punto de enfriamiento.
- Las velocidades de enfriamiento en cada punto son siempre inferiores a las que experimenta el metal fundido, y serán aún menores cuanto más alejado esté el punto del baño fundido (la velocidad de enfriamiento se puede determinar por la pendiente de las curvas de enfriamiento a cualquier temperatura).

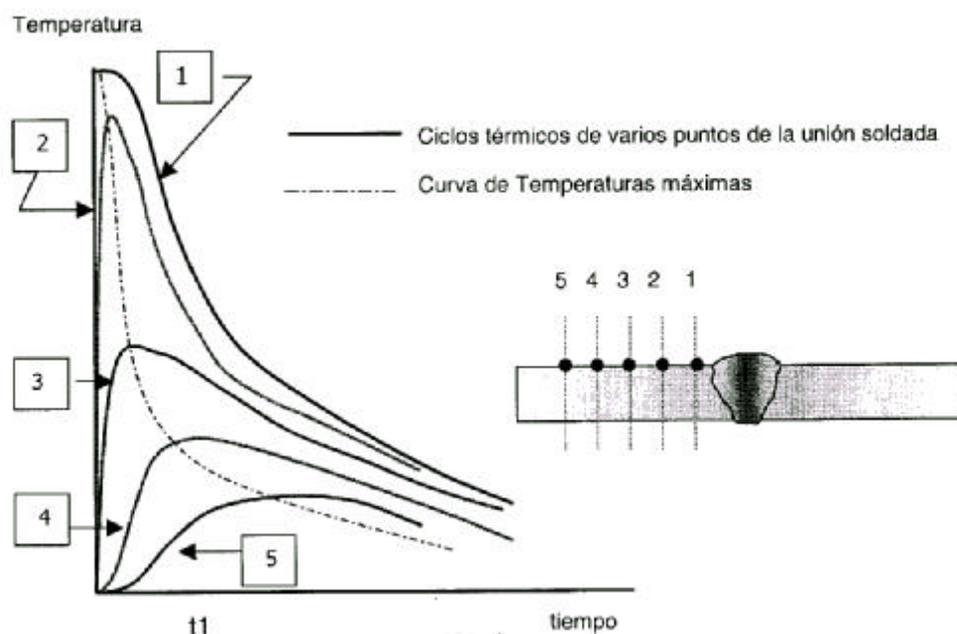


FIGURA 5.5 : CICLO TÉRMICO DE DIFERENTES PUNTOS DE UNA UNIÓN SOLDADA DONDE SE INDICA EL GRADIENTE TÉRMICO ENTRE DOS PUNTOS CUALESQUIERA

El ciclo térmico nos brinda como información toda la historia térmica del metal en un punto o una región determinada de la unión soldada. A través de él podemos conocer la temperatura máxima alcanzada y la velocidad de enfriamiento en todo momento.

5.1.1.4 El ciclo térmico

El metal adyacente a una soldadura está expuesto a ciclos térmicos rápidos, produciéndose en esta región diferentes y complejos cambios metalúrgicos. Teóricamente, si pudiésemos conocer con precisión tanto los ciclos térmicos implicados en un proceso de soldadura como la respuesta del metal o aleación a dichos ciclos térmicos, podríamos predecir los cambios resultantes en la microestructura y en las propiedades mecánicas y de esta manera resolver una serie de problemas de soldabilidad que se presentan en la práctica.

Lamentablemente, establecer relaciones cuantitativas entre el ciclo térmico y las transformaciones microestructurales, es un tema muy complejo y que está aún por resolver. Sin embargo, existen datos acumulados considerables respecto al efecto del calor de aporte de la soldadura por arco eléctrico sobre la distribución de temperaturas en las proximidades del metal soldado; por ello, consideraremos aquí con algún detalle el proceso de soldadura por arco eléctrico. como son:

- a. Factores que Influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura por arco
- b. Ciclos térmicos típicos en la soldadura
- c. Efectos del aporte de calor y de la temperatura de precalentamiento
- d. Efecto del espesor y de la geometría de la soldadura
- e. Efecto de las características térmicas del material

A continuación se desarrollaran cada uno de las consideraciones mencionadas.

a.- Factores que Influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura por arco

Las investigaciones han demostrado que la distribución de temperaturas en la soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos (SMAW) está influenciada por los siguientes factores:

- **Aporte de calor** . El aporte de calor es la energía que se genera durante la soldadura. El aporte de calor se expresa normalmente en términos de Joules por milimetro (J/mm) de soldadura y se define como:

$$H = \frac{V \times I}{v} \dots\dots\dots .(5.1)$$

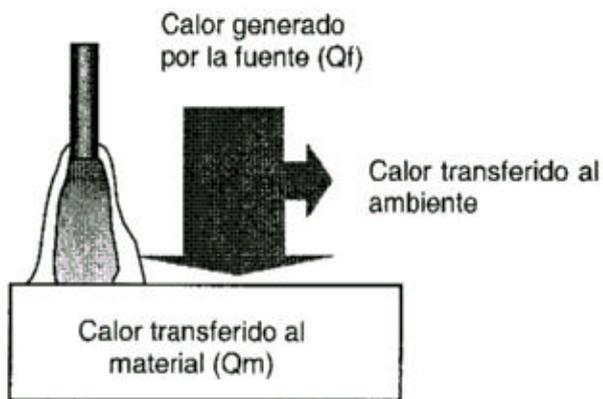
Donde:

- H= Aporte de calor (J/mm)
- V= Voltaje (V)
- I = Amperaje (Amp)
- v = Velocidad (mm/s)

Por ejemplo, el aporte de calor generado en una soldadura por arco manual realizada con 20 V, 200 Amp. y una velocidad de desplazamiento de 250 mm por minuto es de 960 J/mm.

Sin embargo, de toda la energía generada en el proceso de soldadura solamente una parte es aprovechada para fundir las piezas a unir por soldadura.

Esta energía o aporte de calor neto viene condicionada por la eficiencia del proceso de soldadura empleado (y en menor parte por la posición de soldadura). La figura 5.6 muestra una tabla de las eficiencias térmicas de diferentes procesos de soldadura.



Proceso	Eficiencia Térmica
Oxiacetilénico	35%
GTAW	20-50%
GMAW	70-85%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
SAW	90-99%

FIGURA 5.6 : EFICIENCIA TERMICA DE DIFERENTES PROCESOS DE SOLDADURA

Así, el calor de aporte neto viene expresado por la siguiente ecuación:

$$H_{\text{neto}} \text{ (J / mm)} = \frac{V \text{ (volt) } \times I \text{ (amp.)}}{v \text{ (mm/s)}} \times f \text{ (5.2)}$$

Donde " f " es la eficiencia térmica del proceso de soldadura y puede ser estimada a partir de la tabla que se muestra en la figura 5.6

Tomando como referencia el ejemplo anterior, donde se alcanzaba con los parámetros de soldadura indicados un calor de aporte $H = 960 \text{ J/mm}$, podemos calcular el aporte de calor neto (H_{neto}) asumiendo una eficiencia térmica de 75% ($f = 0,75$) para el proceso de soldadura (SMAW), de la siguiente manera:

$$H_{\text{neto}} = 0,75 \times 960 \text{ J/mm} = 720 \text{ J/mm}$$

El aporte de calor es el parámetro más importante que condiciona las propiedades mecánicas de la unión soldada dependientes de la microestructura del material.

- **Temperatura de precalentamiento**

- **Geometría de la soldadura**

La geometría de la soldadura incluye el espesor de la pieza, la forma y dimensión del depósito de soldadura y el ángulo entre las piezas a unir

- **Propiedades térmicas del material**

La velocidad con que el calor fluye a través de un cuerpo para un gradiente de temperatura determinado, es directamente proporcional a la conductividad térmica e inversamente proporcional al producto de la densidad por el calor específico. Por lo tanto, el término difusividad térmica, empleado para describir las características térmicas de un material, se define como sigue:

$$\text{Difusividad Térmica} = k = \frac{K}{\delta C} \dots\dots\dots(5.3)$$

donde: K = conductividad térmica (cal./s./cm/°C)
 δ = densidad (g/cm³)
 C = calor específico (cal/gP/°C)
 k = difusividad térmica (cm²/s)

- **Diámetro del electrodo**

Este factor es de importancia secundaria, pero influye en el tamaño efectivo de la fuente de calor.

Finalmente, debemos tener en cuenta que determinados rangos de temperaturas provocan en el metal o aleación transformaciones microestructurales que afectan significativamente las propiedades mecánicas de la unión soldada. Por ejemplo, la observación nítida de cambios metalúrgicos en los aceros se produce tras la exposición a temperaturas entre la temperatura crítica inferior (723°C) y la temperatura de fusión (1480°C). Por lo tanto, cuando se realiza la soldadura en un acero de construcción, las regiones de la pieza que alcancen valores de temperatura entre los límites arriba indicados (723°C – 1480°C), experimentan cambios significativos en su microestructura y en sus propiedades mecánicas. Esta región del material recibe el nombre de **zona afectada por el calor (ZAC)**.

La ZAC es la zona del material soldado que no ha llegado a fusión, pero ha alcanzado niveles de temperatura que provocan en él importantes cambios microestructurales y modifican sustancialmente sus propiedades mecánicas.

b.- Ciclos térmicos típicos en la soldadura

La figura 5.7 muestra casos típicos de ciclos térmicos producidos por soldadura con arco eléctrico en una plancha de 12,5 mm de espesor, con un aporte térmico de 3940 Joules/mm y con una temperatura inicial de la plancha de 27°C (temperatura ambiente).

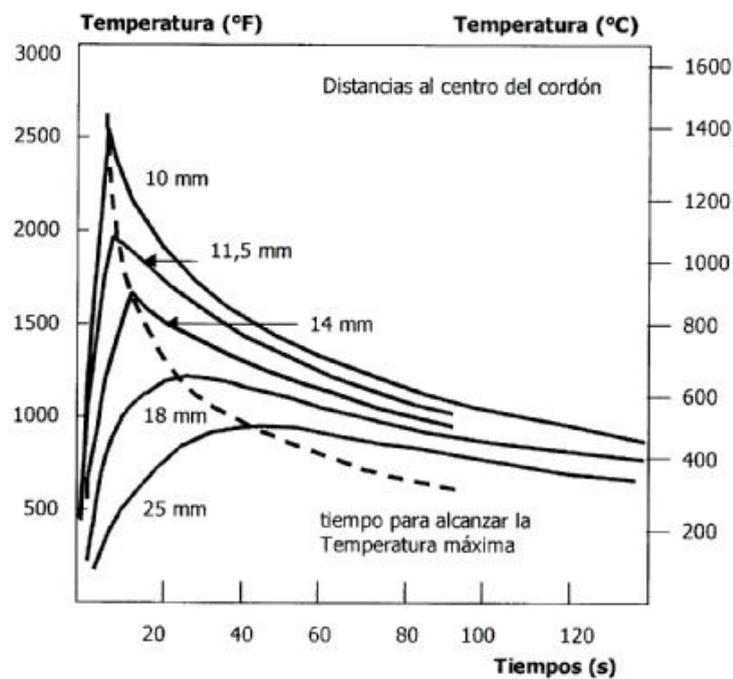


FIGURA 5.7 : CICLOS TÉRMICOS EN DIFERENTES LUGARES DE LA ZAC PARA UNA SOLDADURA SMAW DE ACERO DE 12.5 MM. DE ESPESOR Y UN APORTE TÉRMICO DE 3940 Joules/mm

En este gráfico es importante identificar que la curva superior representa el ciclo térmico en un punto situado a 10 mm. del centro del cordón que alcanza una temperatura máxima de 1365°C (2490°F). La curva más baja corresponde al ciclo térmico en un punto ubicado a 25.5 mm. del centro del cordón que alcanza una temperatura máxima de 520°C (960°F). Las curvas intermedias representan los correspondientes ciclos térmicos a distancias de 11.5, 14 y 18 mm desde el centro del cordón.

La observación de las cinco curvas mostradas en la figura 5.7, que son un modelo típico para todos los procesos de soldadura por arco eléctrico, nos permite advertir que:

- La temperatura máxima que se alcanza en un punto, disminuye rápidamente con el aumento de la distancia entre el punto y el centro del cordón (a 10 mm del cordón fue de 1365°C mientras que a 25.5 mm la temperatura máxima era de sólo 520°C).
- El tiempo necesario para alcanzar en un punto la temperatura máxima aumenta con la distancia desde el punto al centro del cordón (su calentamiento resulta más lento).
- Tanto la velocidad de calentamiento como la velocidad de enfriamiento en un punto, disminuyen con el aumento de la distancia del punto al centro del cordón.

c.- Efectos del aporte de calor y de la temperatura de precalentamiento

Ahora analizaremos los efectos del aporte de calor y de la temperatura de precalentamiento sobre la distribución de temperaturas en una unión soldada. Para ello vamos a analizar las curvas que se muestran en la figura 5.8. Las dos curvas superiores comparan la distribución de las temperaturas máximas producidas por un aporte térmico 3,940 J/mm con temperaturas de precalentamiento de 27°C y de 260°C. Por su parte, las dos curvas inferiores presentan datos similares para un valor del aporte térmico de 1,970 J/mm, que es la mitad del aporte térmico anterior.

De lo observado en la figura 5.8 podemos inferir lo siguiente:

- Disminuyendo bien el aporte térmico o bien la temperatura de precalentamiento, se obtiene una distribución de temperaturas máximas en la ZAC con mayor pendiente. Esto significa que con menor aporte térmico ó con menor temperatura de precalentamiento se obtiene una mayor velocidad de enfriamiento.
- Aumentando el aporte de calor se produce un significativo aumento en la distancia desde el centro del cordón al punto que experimenta una determinada temperatura

máxima, para cualquier valor de la temperatura máxima. Esto significa que conforme aumenta el calor de aporte se ensancha la zona afectada por el calor.

Aumentando la temperatura de precalentamiento aumenta la ZAC. Por ejemplo, para las cuatro curvas mostradas en la figura 5.8 comparemos las distancias desde el centro del cordón a un punto que se encuentra a la temperatura crítica "A_{c1}".

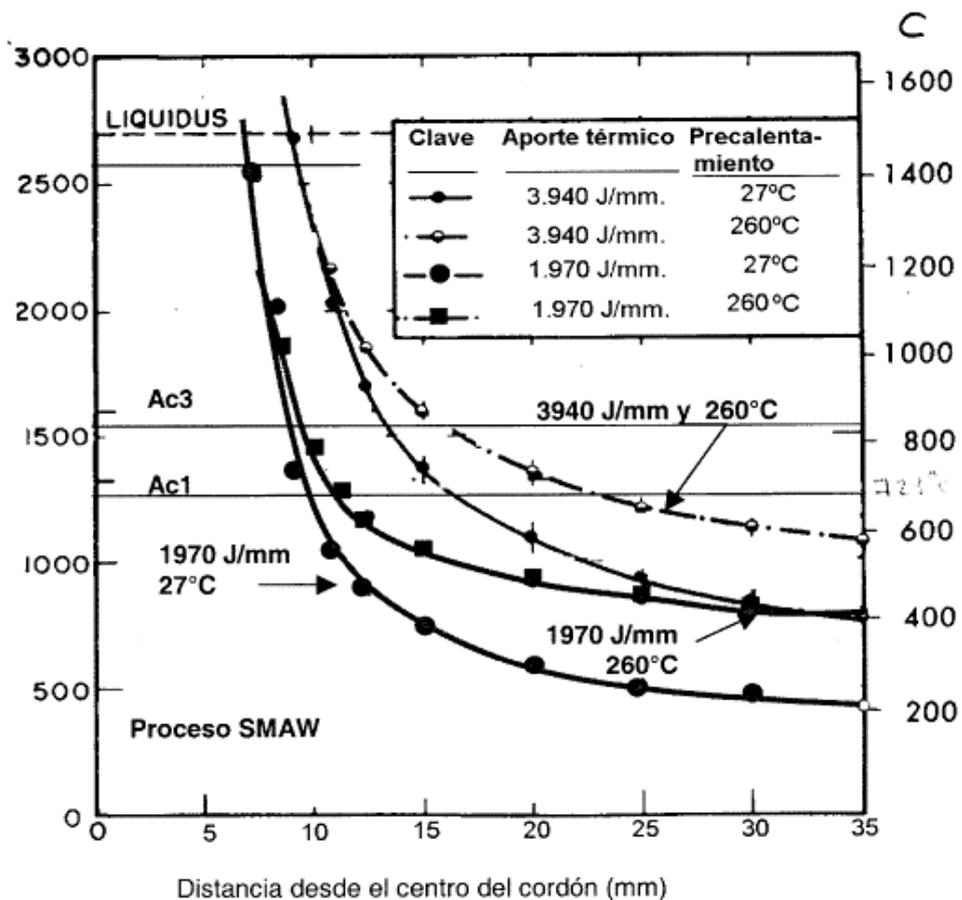


FIGURA 5.8 : EFECTO DEL APOORTE TÉRMICO Y DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EN LA SOLDADURA DE UN ACERO DE 12,5 mm

En el acero, los cambios microestructurales importantes se producen cuando este alcanza una temperatura por encima de los 723°C (A_{c1}). Por lo tanto, toda la región del acero expuesto a una temperatura por encima de los 723°C, sufrirá cambios microestructurales durante su enfriamiento que alterarán significativamente las propiedades mecánicas de la unión soldada. Esta región es conocida como **ZAC**.

La ZAC, fácilmente visible en los aceros a través de una micrografía la, se extiende desde la zona en el acero que alcanza la temperatura de fusión hasta aquella distancia a la cual se alcanza la temperatura crítica inferior Ac_1 (723°C). Por lo tanto, el ancho de las ZAC para cada una de las cuatro condiciones estudiadas en la figura 5.8 sería de 6.1; 11.1; 2.0 y 3.2 mm., leyendo de arriba hacia abajo en la tabla 5.1.

TABLA 5.1 : Resultados de la estimación de la zona afectada térmicamente a partir de las curvas de ciclo térmico que se muestran en la figura 5.8

Aporte térmico (J/mm)	Temperatura de precalentamiento (°C)	Zona afectada por el calor ZAC		
		1480°C (líquidos)	723°C (Ac_1)	ZAC ($d_{1480}-d_{723}$)
3940	27	9,4 mm	15,5 mm.	6.1 mm
3940	260	9,4 mm	20,5 mm.	11.1mm
1970	27	7,4 mm	9,4 mm.	2.0 mm
1970	260	7,4 mm.	10,6 mm.	3.2 mm

Teniendo en cuenta los resultados que se observan en la figura 5.8 podemos concluir que:

- Para una determinada temperatura de precalentamiento, un aumento del aporte térmico causa por un lado, un incremento del tiempo de exposición a temperaturas cercanas a la máxima y por otro, una disminución en la velocidad de enfriamiento.
- Para un determinado aporte térmico, si se aumenta la temperatura de precalentamiento disminuye la velocidad de enfriamiento pero no se modifica sensiblemente el tiempo de exposición a temperaturas cercanas a la máxima
- Cuando la temperatura de precalentamiento o el calor de aporte aumentan también lo hace la ZAC.
- Cuando la temperatura de precalentamiento o el calor de aporte aumentan la velocidad de enfriamiento disminuye.

d.- Efecto del espesor y de la geometría de la soldadura

El efecto del espesor sobre los ciclos térmicos en soldadura puede verse en la figura 5.9. Los datos que se muestran comparan ciclos térmicos (con una temperatura máxima de 1200°C) de soldaduras a tope, de planchas con 6.2; 12.5 y 25.4 mm. de espesor, realizadas con un aporte de calor de 1970 J/mm.

La observación de las curvas nos permite advertir que la velocidad de enfriamiento tiende a aumentar cuando se incrementa el espesor de las planchas (pendientes de las curvas de enfriamiento más pronunciadas), mientras que el tiempo a elevada temperatura tiende a disminuir cuando el espesor de las planchas aumenta.

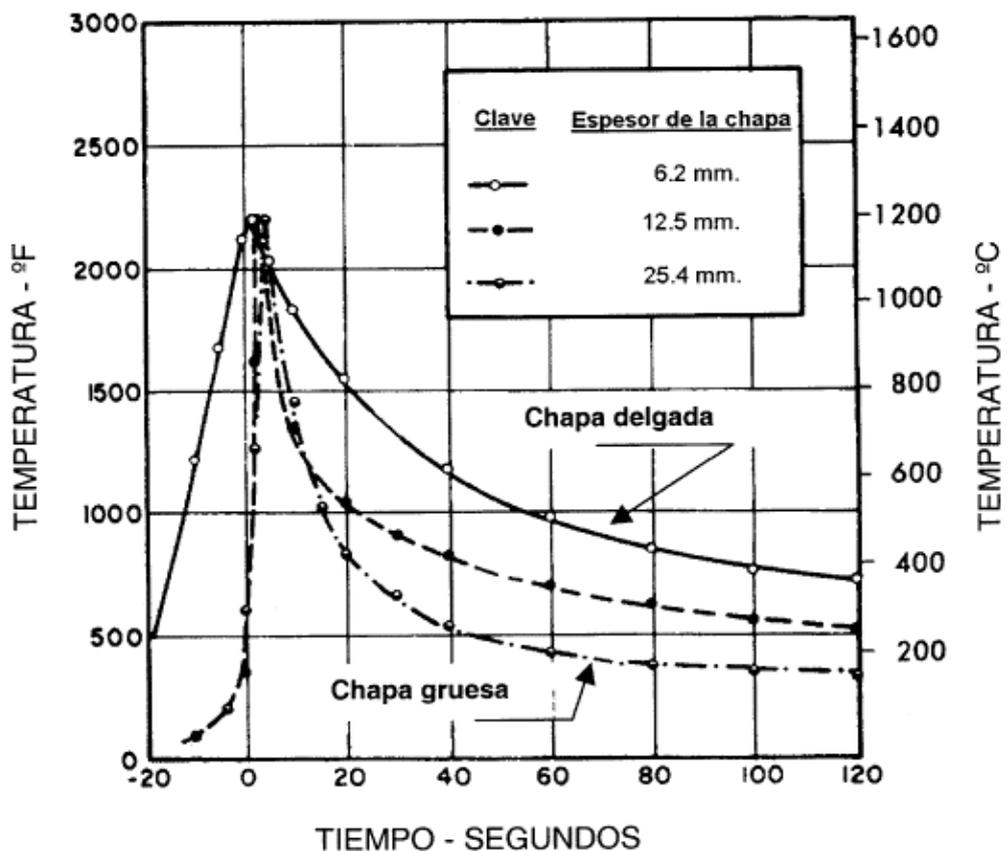


FIGURA 5.9: EFECTO DEL ESPESOR SOBRE EL CICLO TÉRMICO EN LAS SIGUIENTES CONDICIONES: PROCESO SMAW, APORTE TÉRMICO: 1970 Joules/mm Y TEMPERATURA INICIAL DE 27 °C

El efecto del espesor es algo complejo y el modelo del flujo de calor cambia considerablemente de planchas delgadas a planchas gruesas. En planchas delgadas el flujo de calor se puede considerar bidimensional, mientras en planchas gruesas el flujo de calor es tridimensional. En la tabla 5.2 se recogen algunas velocidades de enfriamiento típicas.

Es importante destacar el hecho de que las velocidades de enfriamiento para las soldaduras en filete son, por término medio, tres o cuatro veces más altas que las de las soldaduras a tope en planchas de 12 mm. de espesor. Sin embargo, esta diferencia llega a ser menos pronunciada con planchas más gruesas y durante la última pasada de las soldaduras en ángulo.

TABLA 5.2 : Velocidades de enfriamiento típicas durante la soldadura de planchas de acero de 12 mm de espesor

Aporte térmico (J/mm)	Temperatura de precalentamiento (°C)	Velocidad de enfriamiento a 650 °C	
		para uniones a tope (°C/seg)	para uniones en filete (°C/seg)
1970	20	11	44
1970	120	7	34
1970	205	5	20
3940	20	4	10
3940	205	1.7	5

e.- Efecto de las características térmicas del material

Las propiedades físicas de los metales a soldar cumplen un papel muy importante en la determinación del ciclo térmico durante un proceso de soldadura:

- Cuanto más baja sea la conductividad térmica del material, más pronunciada será la distribución de las temperaturas máximas. En otras palabras, la ZAC será menor.
- Cuanto más alta sea la conductividad térmica del metal, más rápido se enfriará después de la soldadura.

- Cuanto más alta sea la conductividad térmica, más corto será el tiempo de exposición a elevada temperatura para un ciclo térmico.

En la tabla 5.3 se indica la conductividad térmica a temperatura ambiente y la temperatura de fusión para ciertos metales de interés técnico.

TABLA 5.3 : Características térmicas de algunos metales de interés técnico

Metal	Temperatura de Fusión (°C)	Conductividad térmica a 20°C (cm²/s).
Aluminio	660	0.912
Cromo	1890	0.202
Cobalto	1500	0.187
Cobre	1080	1.140
Hierro	1540	0.208
Plomo	330	0.236
Magnesio	650	0.873
Molibdeno	2630	0.562
Níquel	1455	0.236
Plata	960	1.700
Estaño	230	0.406
Titanio	1820	0.063
Uranio	1130	0.122
Zinc	420	0.414

La conductividad térmica del metal juega pues un papel muy importante en el ancho de la ZAC y en la velocidad de enfriamiento de cualquier punto ubicado en la ZAC, lo cual incide directamente sobre la microestructura y las propiedades mecánicas de dicha región de la unión soldada.

Teniendo en cuenta las conductividades del cobre y del hierro ¿cuál de los dos metales será más fácil de fundir cuando se sueldan por arco eléctrico?

La conductividad térmica del cobre es cinco veces más alta que la del hierro, por lo tanto, el cobre, al ser calentado localmente, disipará con más rapidez el aporte térmico y retendrá menos calor necesario para fundir la zona de unión, pero el hierro alcanzará mas rápidamente temperaturas elevadas que hagan posible la unión por soldadura.

5.1.1.5 Ecuación de la temperatura máxima en cada punto de la ZAC

En esta parte vamos a presentar algunas ecuaciones que nos permiten analizar mejor como afectan distintas variables sobre las diferentes características del ciclo térmico en un proceso de soldadura.

Por ejemplo, en la soldadura a tope con penetración completa y de una sola pasada realizada en plancha (figura 5.10), la distribución de las temperaturas máximas, en el metal base adyacente a la soldadura, viene dada por la ecuación:

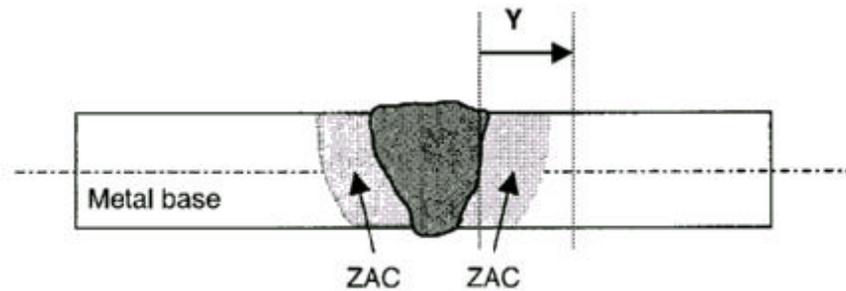


FIGURA 5.10 : SOLDADURA CON PENETRACIÓN COMPLETA Y DE UNA SOLA PASADA

$$\frac{1}{T_{\max} - T_o} = \frac{4.13 \cdot \eta \cdot C \cdot t \cdot Y}{H_{\text{net}}} + \frac{1}{T_{\text{fusión}} - T_o} \dots \dots \dots (5.4)$$

donde:

T_{\max} = Temperatura máxima (°C) a una distancia Y (mm) del extremo o contorno del metal fundido. (La ecuación de temperatura máxima no es aplicable a puntos situados en el metal fundido, sólo es válida para puntos situados en la ZAC).

T_o = Temperatura inicial de la chapa (°C).

$T_{\text{fusión}}$ = Temperatura de fusión (°C). (Temperatura de líquidus del metal a soldar).

H_{net} = Energía aportada neta = $f_1 \cdot E \cdot I / V$ (J/mm).

E = Voltios; I = Amperaje; f_1 = Rendimiento de la transferencia de calor;

V = Velocidad de avance de la fuente de calor en mm/s.

- ρ = Densidad del material (g/mm³)
- C = Calor específico del metal sólido (J/g. °C)
- $\rho.C$ = Calor específico volumétrico (J/mm³. °C)
- t = Espesor de la plancha a soldar (mm)

a.- Aplicaciones de la ecuación de la temperatura máxima

La ecuación del máximo de temperatura se puede utilizar con diferentes propósitos entre los que se encuentran:

- La determinación de la temperatura máxima en puntos determinados de la ZAC.
- La estimación del ancho de la ZAC.
- La demostración del efecto causado por el precalentamiento sobre el ancho de la ZAC.

A continuación presentaremos dos ejemplos que muestran las diferentes aplicaciones de la ecuación del máximo de temperatura.

Ejemplo 1: Determinación de la temperatura máxima en un punto cualquiera de la ZAC. Se efectúa una soldadura sobre una plancha de acero con penetración completa y de una sola pasada empleando los siguientes parámetros. Determine la temperatura máxima que alcanzarían dos puntos distantes a 1.5 y 3.0 mm del borde del contorno del metal fundido.

E = 20 V	T _{ambiente} = 25°C
I = 200A	T _{fusión} = 1510°C
Velocidad de soldeo = 5 mm/s	$\rho.C = 0,0044 \text{ J/mm}^3 . \text{C}$
Eficiencia térmica $f_1 = 0,9$	t = 5 mm

Con los datos anteriores es posible calcular la energía aportada neta:

$$H_{\text{net}} = 20 \times 200 \times 0,9 / 5 = 720 \text{ J/mm}$$

La temperatura máxima calculada de acuerdo a la ecuación (5.4) a distancias de 1,5 y 3 mm. del contorno del metal fundido serán:

para $Y = 1,5$ mm.

$$\frac{1}{T_{\max} - 25} = \frac{4.13(0.0044)^5(1.5)}{720} + \frac{1}{1510 - 25} \rightarrow T_{\max} = 1184^{\circ}\text{C}$$

para $Y = 3$ mm

$$\frac{1}{T_{\max} - 25} = \frac{4.13(0.0044)^5(3)}{720} + \frac{1}{1510 - 25} \rightarrow T_{\max} = 976^{\circ}\text{C}$$

Como era de esperar, la temperatura máxima disminuye cuando nos alejamos de la zona soldada. También podemos observar que para $Y = 0$ tenemos $T_p = T_{\text{fusión}}$ lo que significa que la temperatura máxima justo donde termina la zona de fusión, es igual a la temperatura de fusión del material base.

Ejemplo 2: Cálculo del ancho de la zona afectada térmicamente (ZAC)

Una de las aplicaciones más interesantes de la ecuación de la T_{\max} , es la de la estimación del ancho de la ZAC por la soldadura. Sin embargo, para calcular el ancho de la ZAC debe identificarse primero el rango de temperaturas que la delimita. No cabe duda de que el extremo de la ZAC más cercano a la soldadura, esta limitado por la temperatura de fusión del metal base ($T_{\text{fusión}}$) dado que la ZAC es la región de metal sólido más próxima al baño fundido. El extremo más alejado de la ZAC viene definido por la temperatura mínima, por encima de la cual se producen transformaciones microestructurales en estado sólido en el metal base que alteran significativamente las propiedades de la unión soldada. Por ejemplo, la mayoría de los aceros al carbono, o de baja aleación, tienen un contorno definido por aquellos puntos que han alcanzado una temperatura máxima de 723°C . Si suponemos que el contorno así definido nos fija el contorno más alejado de la ZAC, podemos calcular la

anchura de ésta correspondiente al ejemplo precedente. En este caso el problema es determinar el valor de Y para el cual $T_{\max} = 723^{\circ}\text{C}$.

$$\frac{1}{T_{\max} - 25} = \frac{4.13(0.0044)^5(Y_{\text{ZAC}})}{720} + \frac{1}{1510 - 25}$$

de donde: $Y_{\text{ZAC}} = \text{Ancho de la ZAC} = 6 \text{ mm}$.

Por lo anterior, puede predecirse que el contorno característico de los puntos que alcanzaron 723°C está a 6 mm del perímetro de la zona de metal fundido, o que una región de 6 mm de ancho, adyacente al metal fundido, cambiará microestructuralmente y podrá quedar afectada por el calor durante la soldadura

Con la ecuación de la temperatura máxima, es posible entonces, identificar las regiones del metal que se encontrarán a temperaturas que pueden provocar cambios microestructurales en el material. Sin embargo, solo con esta ecuación resulta imposible predecir cual será la microestructura final del acero (y por tanto sus propiedades mecánicas) en cada uno de esos puntos.

Para comprender mejor que es lo que ocurre en la ZAC tomemos como ejemplo la soldadura de una plancha de un acero de 0,3%C. Cuando ésta se somete al calor de aporte del proceso de soldadura, su temperatura se eleva rápidamente, alcanzando en distintos puntos valores máximos entre 723°C (A_{C1}) y la temperatura de fusión del metal base. Como sabemos, ese es justamente el rango de temperaturas en las que el acero sufrirá transformaciones microestructurales que modificarán sus propiedades mecánicas. En la figura 5.11 se indica ese rango de temperaturas con una línea más gruesa en el diagrama Fe-C. Prácticamente en toda esa región el acero se encuentra en estado austenítico.

De acuerdo a la curva de distribución de temperaturas que se muestra en la figura 5.11, la región entre los puntos 1 y 4 representaría la zona del metal expuesto a este rango de temperaturas (línea gruesa) que constituye en este caso, el ancho de la ZAC.

Por ahora nos limitaremos a analizar el ancho de la zona afectada por el calor a través de las ecuaciones de la temperatura máxima.

El cálculo del ancho de la ZAC (ejemplo 2) es válido para aceros cuya microestructura es del tipo ferrítico-perlítica (acero normalizado o recocido), ya que estas fases son estables hasta los 723 °C y recién por encima de esta la microestructura puede ser modificada.

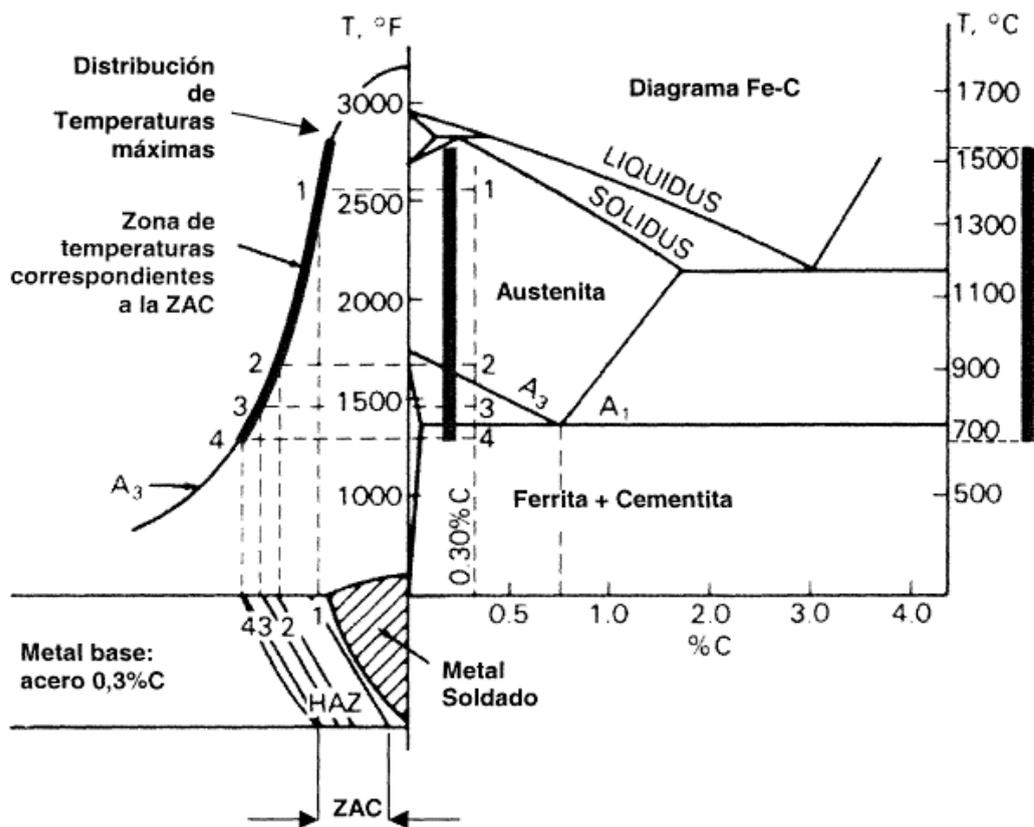


FIGURA 5.11 : ESQUEMA QUE RELACIONA LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC) DE LA SOLDADURA DE UN ACERO DE 0,3%C CON LAS TEMPERATURAS Y LOS RANGOS DE ESTABILIDAD DE LAS FASES EN EL DIAGRAMA FE-C

Resumiendo:

Hemos analizado hasta el momento cómo el ciclo térmico puede afectar una región del metal base conocido como ZAC. El principio básico que hemos empleado es conocer aquellos puntos del metal base que han sido calentados hasta alcanzar una temperatura por encima de la cual el acero comienza a sufrir transformaciones microestructurales en su estado sólido. En los aceros (normalizados o recocidos) esta temperatura suele estar referida a la A1 (723°C).

En los otros metales y aleaciones, esta temperatura será determinada de las transformaciones microestructurales particulares de cada aleación. Por ejemplo, en aleaciones de aluminio endurecibles el ancho de la ZAC puede extenderse a los puntos del metal base que han sido calentados por encima de los 150°C, o incluso menos.

Observemos algo muy importante, la ecuación de la T_{max} nos ha permitido estimar el ancho de la (ZAC). Ahora el siguiente paso será conocer cómo esta ZAC ha sido afectada por el ciclo térmico de la soldadura, es decir, ¿Qué ha ocurrido con el comportamiento mecánico del metal en la ZAC? ¿Habrà disminuido su resistencia mecánica, aumentando su ductilidad? o ¿habrà aumentado peligrosamente su comportamiento frágil?.

Las transformaciones microestructurales del acero en estado sólido se producen cuando el acero está expuesto a temperaturas superiores a A1 (723°C). La ZAC, por su propia definición representa a toda esa región del material que alcanza durante la soldadura, este rango de temperaturas y; por tanto sufrirá transformaciones microestructurales, que dependerán no sólo de la temperatura máxima alcanzada en cada punto sino también, de la velocidad con la cual se enfriará cada punto de la ZAC hasta la temperatura ambiente.

Para responder a las interrogantes anteriores necesitamos conocer con qué velocidad se está enfriando el material de la ZAC, pues la velocidad de enfriamiento determina el tipo de

transformación microestructural que experimentará el acero y sus propiedades mecánicas finales.

La figura 5.12 nos permite recordar los diagramas TTT (curva de la S) y el diagrama de transformación por enfriamiento continuo (región en gris) para un acero de 0,8%C (eutectoide). En el mismo gráfico se encuentran incluidas diferentes curvas de enfriamiento que pueden representar diferentes ciclos de enfriamiento durante una soldadura.

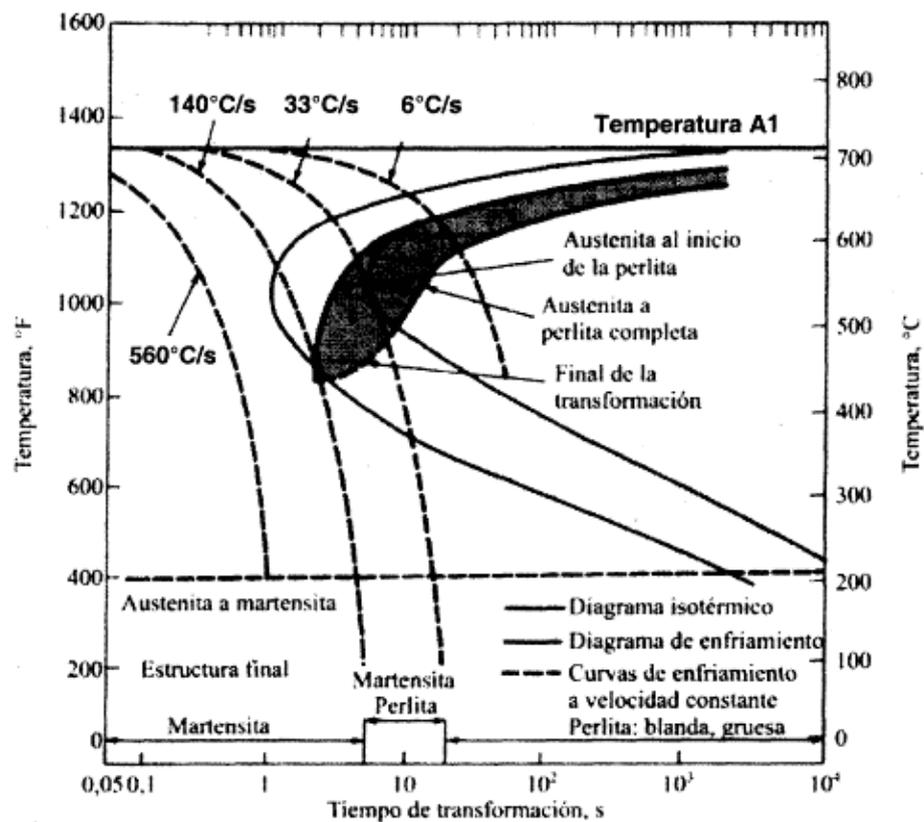


FIGURA 5.12 : DIAGRAMA TTT Y DE ENFRIAMIENTO CONTINUO EN LA QUE SE HAN INTERPUESTO CICLOS TÉRMICOS CON DIFERENTES VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO. LA VCT PARA EL ACERO ES EN ESTAS CONDICIONES 140°C / S

Cuando las velocidades de enfriamiento son mayores a 140°C/s toda la austenita se transformará en martensita, produciendo un incremento notable de la dureza del acero y de su fragilidad. Por otro lado, si el enfriamiento de la soldadura se produce a una velocidad de

6°C /s o incluso más lenta, la austenita se transformará en ferrita + cementita dando lugar a una estructura de tipo perlítica. Para este acero la velocidad de 140°C/s puede ser considerada como la velocidad crítica de temple (VCT).

A velocidades de enfriamiento intermedias, la microestructura resultante será una combinación de la anteriores, pudiendo presentarse también algo de bainita. De todos modos la presencia de martensita aún en pequeñas proporciones puede reducir la tenacidad de la unión soldada a niveles inadmisibles; por lo que se debe procurar en la práctica evitar velocidades de enfriamiento que produzcan la formación de martensita.

5.1.2 Soldabilidad

5.1.2.1 Concepto

Cuando hablamos de soldabilidad solemos relacionar este término a la facilidad con la que un material puede ser unido, alcanzando las propiedades mecánicas que se requieren para su operación en servicio. Sin embargo, el término soldabilidad abarca mucho más de lo que esta simple definición nos puede advertir a simple vista.

Veamos como define la norma ISO 581 /80 al término soldabilidad:

“un acero se considera soldable en un grado pre-fijado, por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante una técnica adecuada se pueda conseguir la continuidad metálica de la unión, de tal manera que ésta cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades locales y a su influencia en la construcción de la cual forma parte integrante”

Esta última definición nos permite advertir muchos aspectos involucrados en ello que pretendemos entender como soldabilidad. Analicemos esa última definición:

- “un acero se considera soldable en un grado pre-fijado... “: quiere decir que en principio no podemos afirmar categóricamente que un acero es soldable o no, sino mas bien existen niveles o grados de soldabilidad que puede tener un acero.
- “...por un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando, mediante una técnica adecuada... “: quiere decir que tampoco podemos definir la soldabilidad de manera independiente al proceso de soldadura empleado, a las condiciones en las cuales va a trabajar la unión soldada y tampoco a la técnica que desea emplear.
- “. . .se pueda conseguir la continuidad metálica de la unión... “: esto nos indica que la unión soldada debe formar una unidad con los materiales a unir.
- “...de tal manera que ésta cumpla con las exigencias prescritas con respecto a sus propiedades locales y a su influencia en la construcción de la cual forma parte integrante”: esta última parte es la exigencia que debe cumplir la unión soldada y a través de la cual solemos calificarla. De que sirve que hallamos unido dos metales a través de un proceso y una técnica determinada para cumplir con una aplicación específica si al final no es capaz de brindar las propiedades mecánicas (o por ejemplo, resistencia a la corrosión) o contribuir favorablemente a preservar la integridad estructural de un componente.

Por lo tanto, vemos pues que hablar de soldabilidad ya no resulta tan sencillo como parecía. Un acero puede ser soldable, con un proceso pero con otro no, puede ser soldable para una aplicación pero para otra no, o puede incluso brindar continuidad metálica pero no ser soldable.

La soldabilidad entonces, suele ser considerada bajo los siguientes puntos de vista:

a.- La soldabilidad operativa se refiere a la operación de soldeo en sí y estudia las dificultades de su realización, bien sea por fusión o por otros procesos. Es la posibilidad operatoria de unir los metales con el fin de obtener continuidad metálica en la unión.

Ejemplo: Soldar el metal A empleando el proceso SMAW. Si no logramos unirlo entonces decimos que el metal no es soldable operativamente con el proceso SMAW.

b.- La soldabilidad metalúrgica se ocupa de las modificaciones microestructurales que resultan de la operación de soldeo. Supone obtener las características mecánicas deseadas en la unión.

Ejemplo: Se logra soldar el metal A empleando el proceso SMAW (continuidad metálica) pero sus propiedades mecánicas son inferiores a las que se le exige, entonces hablamos de problemas de soldabilidad metalúrgica.

c.- En la soldabilidad constructiva o global se trata de definir y estudiar las propiedades y condiciones que debe reunir la soldadura para poder entrar en servicio en una construcción determinada. Define las propiedades de conjunto de la construcción, por la sensibilidad de la unión a la deformación y a la rotura bajo el efecto de las tensiones.

Ejemplo: Se suelda el metal A mediante el proceso SMAW, consiguiendo una buena soldabilidad operativa, una buena soldabilidad metalúrgica, pero ahora resulta que el procedimiento al ser aplicado en la construcción de una determinada estructura provoca serias deformaciones o la aparición de tensiones residuales ponen en riesgo la integridad de todo el conjunto de la construcción. Nos encontramos pues ante un problema de soldabilidad constructiva.

Tengamos pues presente que el término soldabilidad implica enfocar el problema de la unión soldada desde diferentes ángulos.

Entonces, dijimos que la soldabilidad (metalúrgica) busca alcanzar la continuidad metálica de la unión garantizando determinadas propiedades que pueden ser:

- Resistencia estática
- Resistencia a la fatiga

- Resistencia a la corrosión
- Ductilidad
- Tenacidad
- Aspecto

En general, decimos que un metal o aleación es soldable (metalúrgicamente) si cumple con las siguientes condiciones:

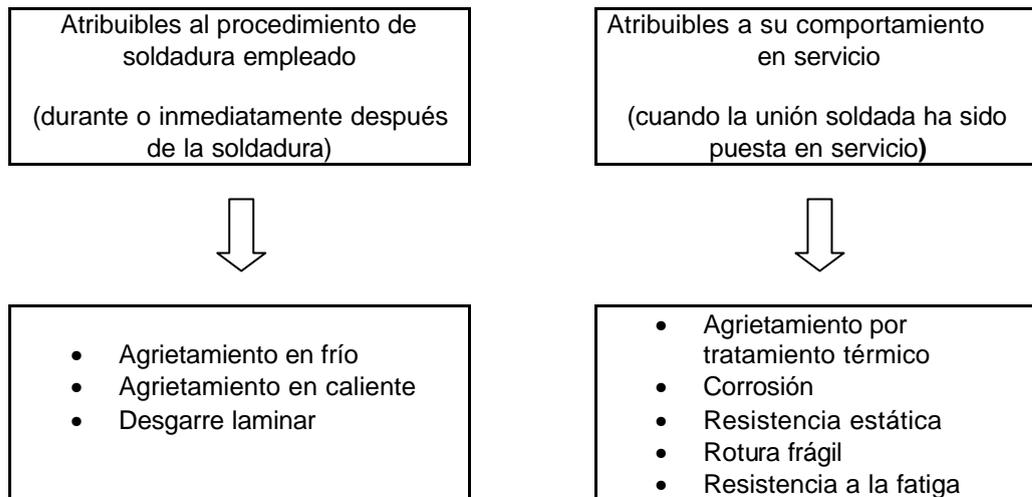
- Que tenga una buena tenacidad después de efectuada la soldadura.
- Que su composición química sea tal, que la zona fundida no se haga frágil por dilución con el metal base.

Los factores más importantes que influyen en la soldabilidad de los metales y aleaciones son los siguientes:

- Las transformaciones que se producen en la ZAC.
- La composición química de los materiales a unir (metal base y metal de aporte).
- Las tensiones residuales generadas durante la soldadura.
- El procedimiento de soldadura empleado.

¿Qué problemas relacionados con la soldabilidad se pueden presentar durante y después de la soldadura?

Hemos identificado algunos de los factores más importantes que afectan la soldabilidad y que problemas se pueden presentar cuando la soldabilidad no es buena, ahora vamos a centrar nuestra atención en aprender algunos criterios para predecir el grado de soldabilidad que puede tener un acero. Uno de estos criterios muy empleados es el empleo del índice denominado carbono equivalente (CE).



5.1.2.2 Carbono equivalente

Introducción

Una de las formas de predecir la soldabilidad de los aceros de construcción es a través de la medida de la dureza de las soldaduras, en la ZAC. En las soldaduras, los valores de dureza altos se han considerado como indicadores, en general, de potenciales problemas como la fisuración en frío, comportamiento frágil de las uniones soldadas, corrosión bajo tensión, fragilidad por hidrógeno, etc.

La dureza máxima de un acero depende, principalmente, de su %C. La dureza máxima real bajo el cordón depende no sólo del contenido de carbono del acero, sino también de su templabilidad bajo los ciclos térmicos presentes durante la soldadura en la que influyen muchos otros factores. La templabilidad de un acero depende no sólo del %C sino de los elementos aleantes y de otros factores como el tamaño de grano austenítico por ejemplo. Un acero con buena templabilidad alcanza con facilidad después de un enfriamiento rápido la transformación martensítica y eleva su dureza. Por ello cuando uno desea fabricar elementos de máquinas de alta resistencia mecánica se seleccionan aceros aleados de alta templabilidad que puedan ser templados y revenidos de manera adecuada.

Por el contrario, en la soldadura se debe evitar cualquier posibilidad de “temple accidental”. Es decir no podemos permitir que durante el ciclo térmico de la soldadura, alguna región del

acero alcance a transformarse en martensita. Por ello, la templabilidad del acero es una cualidad que juega en contra de su buena soldabilidad. Un acero de buena templabilidad es un acero difícilmente soldable.

Como el carbono es el elemento que más influye en la templabilidad y en la dureza final de un acero se ha considerado denominar como “carbono equivalente” (CE) al índice que permite correlacionar la composición química de un acero con su tendencia a presentar estructuras frágiles cuando este es sometido a un proceso de soldadura.

a.- Fórmulas del carbono equivalente (CE)

El cálculo del carbono equivalente representa pues una forma de describir la composición química por medio de un solo número, a fin de analizar como las variaciones de la misma influyen en el comportamiento del material.

El CE de un acero es una medida de su tendencia potencial a fisurarse durante o después de la soldadura.

Sin embargo, se han deducido una gran cantidad de fórmulas empíricas para el cálculo del carbono equivalente, orientado a brindar información sobre diversos aspectos como pueden ser:

- La templabilidad.
- La sensibilidad de los aceros a la fisuración en frío (a fin de estimar la temperatura mínima de precalentamiento recomendada o la tolerancia a la fisuración debida al hidrógeno)
- La evaluación de las propiedades durante el servicio (que permita medir a través del CE, por ejemplo, el agrietamiento a causa de los sulfuros o el agrietamiento por corrosión bajo tensiones).

Sin embargo no podemos esperar que todas estas características de un acero, o de las uniones soldadas, puedan describirse de manera fiable por medio de un único número o CE que dependa solamente de su composición química. El uso de todas las fórmulas debe, pues, limitarse a su objetivo inicial (ya sea, alguno de los descritos arriba o algún otro claramente establecido).

Existe un gran número de expresiones diferentes para el CE pero aquí presentaremos algunas de las más empleadas en la actualidad:

1.- La fórmula del CE del IIW:

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%) \dots\dots (5.5)$$

La conocida fórmula deducida por el IIW (Instituto Internacional de Soldadura) para determinar el carbono equivalente, inicialmente propuesta por Dearden y O'Neill en 1940, puede utilizarse para aceros con contenido de carbono superior al 0,18% o en unas condiciones de soldeo que requieran un enfriamiento lento: $t_{5/5} > 12$ segundos. Todos los elementos de aleación están expresados en % peso.

2.- Fórmulas del tipo PCM (Parámetro de composición) que fueron propuestas por Ito y Bessyo (1968):

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \dots\dots (5.6)$$

Esta fórmula es empleada por el código estructural AWS D1.1 para la determinación de la temperatura mínima de precalentamiento.

3.- EL tipo de CEMW, propuesta por Dûren (1981):

$$CE_{MW} = C + \frac{Si}{25} + \frac{Mn + Cu}{20} + \frac{Cr}{10} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} \dots\dots (5.7)$$

Ambas pueden elegirse para aceros que tengan una proporción de carbono inferior a 0,22% y en el caso de un enfriamiento rápido: $t_{8/5} < 6$ segundos. Esta ecuación da una mejor correlación con las situaciones reales de soldaduras en campo donde las velocidades de enfriamiento suelen ser mayores ($t_{8/5} = 2 - 3$ s).

4.- La fórmula de CEN propuesta por Yurioka (1981):

$$CEN = C + A(C) \left(\frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr + Mo + Nb + V}{5} \right) + 5B \dots\dots (5.8)$$

en la que $A(C) = 0,75 + 0,25 \tanh\{20 (C - 0,12)\}$

$A(C)$ es un factor de acomodación que se aproxima a 0,5 cuando el %C < 0,08% y a 1 cuando %C > 0,18%

Esta expresión ofrece estimaciones aceptables para aceros con contenidos de carbono hasta el 0,25%.

El criterio que se emplea con el CE es que cuanto más alto sea su valor, el acero tendrá mayor dificultad para ser soldado. Para evitar riesgos de fisuración en frío por la presencia de estructuras frágiles en el cordón de soldadura se recomienda que el CE no sea mayor a 0,35-0,40 (dependiendo del espesor de la plancha y el grado de embridamiento de la unión).

Podemos hacer una clasificación algo genérica de la soldabilidad de los aceros en función de su CE:

- Aceros con un CE < 0,2 - 0,3% tienen buena soldabilidad
- Aceros con un CE > 0,4% tienen riesgo de fisuración en frío en la ZAC

En consecuencia, actualmente es práctica muy extendida especificar un contenido máximo de CE en los pedidos de aceros destinados a construcciones soldadas, o fijar un valor límite para la dureza bajo el cordón como uno de los criterios para elaborar procedimientos de soldadura.

En cualquier caso, el empleo de una fórmula del CE no puede salirse de los márgenes de las composiciones químicas para los que ha sido estimada ni aplicarse a alguna evaluación para la que no se destina.

Ejemplo: Se desea soldar un grupo de aceros cuya composición química están en tabla 5.4

TABLA 5.4 : Composición química de algunos aceros estructurales

ACERO	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%V	otros
ASTM A537G2	0,24	1,15	0,3					
ASTM A572G65	0,26	1,65	0,3					0,2 min Cu
ASTM A588G.H	0,20	1,25	0,5	0,17	0,45	0,15	0,06	0,3 Cu
ASTM A36	0,20	0,8	0,3					

Analizaremos cual es su nivel de soldabilidad teniendo como criterio el índice de CE.

Utilizaremos las fórmulas (5.5), (5.7) y (5.8) correspondientes a los índices CE_{IIW} , CE_{MW} y CEN respectivamente. La tabla 5.5. muestra estos valores para cada uno de los aceros indicados.

TABLA 5.5 : Valores de aceros

ACERO	CE_{IIW}	CE_{MW}	CEN
ASTM A537G2	0.43	0.31	0.44
ASTM A572G65	0.55	0.36	0.56
ASTM A588G.H	0.53	0.34	0.54
ASTM A36	0.33	0.25	0.34

De los resultados podemos observar que la fórmula de CE_{MW} arroja los valores más bajos de CE mientras que a través de la fórmula CE_{IIW} se estiman los valores más altos de CE. Es importante tener en cuenta las indicaciones para las cuales son válidas estas fórmulas: El índice CE_{MW} ha sido estimado para aceros de menos de 0,22%C, con lo cual solamente los aceros ASTM A-36 y ASTM A588 grado H cumplirían con esta condición.

Asimismo, como se dijo anteriormente, la fórmula de CE_{IIW} es usada en condiciones de soldadura que producen un enfriamiento lento, mientras que la fórmula CE_{MW} es empleada cuando las condiciones favorecen las velocidades de enfriamiento rápidas ($t_{8/5} < 6s$). Esto es importante de tener en cuenta cuando se aplican estas ecuaciones, pues el criterio de empleo del CE, calculado mediante estas fórmulas, no será igual si estamos soldando una plancha de espesor delgado (velocidad de enfriamiento lenta) que una plancha de espesor grueso (velocidad de enfriamiento rápida).

También es interesante destacar que los valores de CE_{IIW} y de GEN son prácticamente los mismos para cada uno de los aceros estudiados. Ello resulta evidente al observar detenidamente cada una de las dos fórmulas, pues veremos que tienen los mismos índices para casi todos los elementos aleantes del acero, por lo que se podría usar indistintamente cualquiera de ellos. La fórmula CE_{IIW} es la que se emplea con mayor difusión.

En resumen:

- El índice CE_{MW} brinda valores menores de CE que las otras fórmulas pero se acerca más a las condiciones operativas de un proceso de soldadura (velocidades de enfriamiento rápidas) especialmente con planchas de espesor grueso, cordón de raíz, etc.
- Teniendo en cuenta este índice se puede decir que el acero ASTM A-36 puede ser soldado sin mayor riesgo de tener estructuras martensíticas o frágiles.
- En el caso de los aceros ASTM A572 grado 65, ASTM A588 grado H y ASTM A537 grado 2 se deberán tomar ciertas precauciones en el caso que se suelden planchas de espesor grueso.

Veamos ahora que recomendaciones sugiere el código estructural AWS D1.1 2000 acerca de la soldabilidad de estos aceros. Este código recomienda que, bajo ciertas condiciones de espesor, estos deberían requerir precalentamientos a fin de evitar la formación de estructuras frágiles. Esto significa que la buena soldabilidad de estos aceros no sólo dependerá de su composición química sino también del espesor a soldar. La Tabla 5.6 muestra estas recomendaciones.

TABLA 5.6 : Temperaturas de precalentamiento recomendadas por el código AWS D1.1 2000 para Diferentes espesores

Tipo de acero	CE _{MW}	Espesor de la parte mas gruesa de la unión soldada	Temperatura mínima de precalentamiento y de interpase (AWS-D1.1)
ASTM AX-36	0.25	20 - 30 mm	10°C
ATM A537 grado 2	0.31	38 - 65 mm	65°C
ASTM A588 grado H	0.34	> 65 mm	110°C
ASTM A572 Grado 65	0.36	20 - 30 mm	65°C
		38 - 65 mm	110°C
		> 65 mm	150°C

Soldadura por arco eléctrico manual empleando electrodos de bajo hidrógeno

De la tabla 5.6. podemos apreciar que los aceros AX-36, A537 grado 2 y A588 grado H, que poseen valores CE_{MW} entre 0,25 y 0,34 pueden ser soldarlos sin necesidad de precalentamiento hasta espesores de 30 mm (11/4") y a partir de este valor se recomienda precalentar las piezas antes de soldarías. En el acero A572 grado 65 se recomienda precalentar a partir de espesores mayores a 20 mm (1").

Reflexiones muy importantes acerca del CE

El empleo de una fórmula del CE para predecir la soldabilidad de un acero puede ser cuestionada por la siguiente razón:

El CE solamente tiene en cuenta la composición química como único factor que puede influir en la microestructura y en la dureza de un acero soldado. Además el riesgo a fisuración en frío no sólo depende de la microestructura presente, esto es una simplificación muy grande a un mecanismo que esta asociado a muchos otros factores como el aporte de calor, el

proceso de soldadura empleado, el tipo de junta, el espesor de la pieza a soldar, el grado de embriamiento de la unión, el contenido de hidrógeno difundible en el cordón, el material de aporte, etc.

Sin embargo, no puede negarse la utilidad práctica del concepto del CE para limitar el riesgo de fisuración en frío. De todos modos, en el estado actual de los conocimientos en la tecnología de soldadura, tales fórmulas sólo pueden utilizarse para elegir algunos aceros que en condiciones determinadas y bien controladas (como el procedimiento de soldadura y la forma de la unión) pueden emplearse con seguridad para prevenir la aparición de fisuración en frío.

Otra aplicación importante que tiene el CE es orientarnos a la selección de la determinación de la temperatura de precalentamiento mínima que limite el riesgo de fisuración en frío.

En resumen, las fórmulas para calcular el CE sólo pueden aplicarse a la estimación rápida y sencilla, (pero incompleta), de la aptitud de un acero para soldarse. Por lo tanto el empleo demasiado estricto de un criterio que imponga un valor límite a cualquier fórmula, puede convertirse en un obstáculo para el desarrollo de nuevas calidades de acero o para la mejora de los procedimientos de soldadura.

Las pruebas de calificación del procedimiento de soldadura, adaptadas a cada caso, son siempre preferibles a los cálculos empíricos y pueden proporcionar una información más rigurosa y fiable sobre la calidad de las uniones soldadas.

IMPORTANTE: El cálculo del CE debe hacerse preferentemente a partir de la composición química mediante el análisis del producto a soldar y no a partir de los contenidos máximos especificados por normas, sean estas nacionales o internacionales.

b.- Predicción de la dureza bajo el cordón (ZAC)

Otro criterio que podemos emplear para evaluar los riesgos potenciales de fisuración o fragilidad de una unión soldada de un acero es la estimación de la dureza bajo el cordón (es decir en la ZAC). La dureza de un acero, después del enfriamiento, depende de su composición química, de la microestructura que alcanza durante el calentamiento y de la velocidad de enfriamiento desde aquella temperatura.

¿Por qué es importante conocer la dureza bajo el cordón?

En términos generales podemos decir que la dureza de una aleación esta directamente relacionada con su resistencia máxima y tenacidad. Si el acero posee elevadas durezas, tendrá también una elevada resistencia mecánica pero una reducida tenacidad (alta fragilidad). Esto suele ser especialmente grave cuando el acero presenta martensita en su microestructura, que produce un aumento notable de la dureza pero una reducción drástica de su tenacidad convirtiendo al acero en un material muy frágil y susceptible a la fisuración en frío.

Por ello, una forma indirecta de evaluar el comportamiento frágil de una soldadura es a través de la estimación de la dureza bajo el cordón, es decir en la ZAC.

Para predecir con precisión las durezas en la ZAC de un acero determinado, es necesario no sólo conocer su composición química completa, sino también tener en cuenta su microestructura inicial (que es el resultado de la historia térmica asociada a su fabricación) y comprender como se va transformando su microestructura bajo la influencia de los ciclos térmicos durante la soldadura. Todo ello representa en la soldadura el ciclo térmico y es finalmente lo que determina la microestructura final y las propiedades mecánicas de la unión soldada.

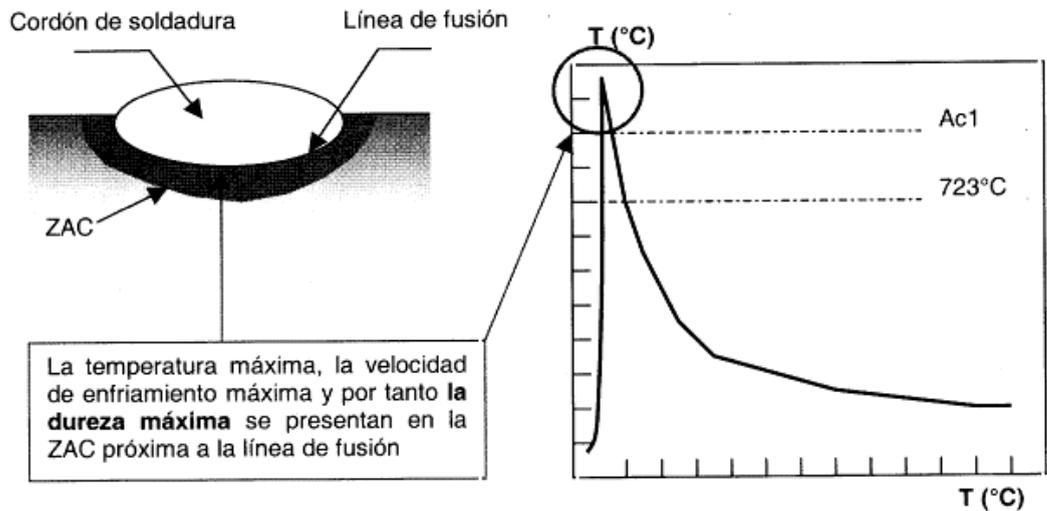


FIGURA 5.13 : LA MÁXIMA DUREZA SE PRESENTA DEBAJO DEL CORDÓN (EN LA ZAC) JUSTO INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA LÍNEA DE FUSIÓN.

La máxima dureza bajo el cordón se observa en la proximidad inmediata a la línea de fusión, ya que, en esa zona, es donde se alcanzan la máxima velocidad de enfriamiento, la máxima temperatura y donde los tiempos de permanencia a alta temperatura son más largos (figura 513). Estos dos últimos factores provocan un engrosamiento del grano y la disolución y difusión completas de los carburos y otras partículas, lo que aumenta la templabilidad de la microestructura (capacidad para formar martensita durante el enfriamiento).

Aún cuando se han logrado grandes avances en el conocimiento de la metalurgia de la soldadura, la predicción de la dureza en la ZAC no se puede realizar todavía con suficiente precisión por métodos de cálculo computacionales basados en simulaciones de los ciclos térmicos reales y de las transformaciones microestructurales que tienen lugar en las soldaduras. Actualmente, las mejores predicciones se consiguen mediante correlaciones estadísticas de resultados experimentales obtenidos en condiciones de soldadura controladas rigurosamente.

En la actualidad, se admite, de forma general, que no es posible predecir con suficiente precisión la máxima dureza bajo el cordón, ni siquiera para muestras sobre las que se deposita un sólo cordón, sin tener en cuenta más que la composición química del material base, expresada por la fórmula del carbono equivalente (CE).

Los efectos relativos de los diversos elementos de aleación sobre la máxima dureza bajo el cordón, están muy influenciados por la velocidad de enfriamiento, que, en general se caracteriza por el tiempo de enfriamiento entre 800 y 500°C ($t_{8/5}$) y que por tanto debería ser considerada también en el cálculo.

Las fórmulas para predecir la máxima dureza

Bajo el cordón, en probetas obtenidas de cordones depositados sobre plancha, se muestran a continuación.

Aún cuando en tales fórmulas no se considera un cierto número de factores influyentes, pueden proporcionar, en condiciones normales de soldadura, predicciones fiables, siempre y cuando estas fórmulas se apliquen en el ámbito de validez para el que han sido deducidas. Se ha estimado que la dispersión (desviación típica) entre los valores obtenidos con estas ecuaciones es de 20 HV 10¹, aproximadamente.

1.- Fórmula propuesta por Düren

$$Hv = 2019 \left[C(1 - 0.5 \text{Logt}_{8/5}) + 0.3(CE_8 - C) + 66(-0.8 \text{Logt}_{8/5}) \right] \dots \dots (5.9)$$

Donde:

$$CE_B = C + \frac{Si}{11} + \frac{Mn}{8} + \frac{Cu}{9} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{17} + \frac{Mo}{6} + \frac{V}{3}$$

¹ HV es la designación del ensayo de dureza Vickers, HV10 = dureza con carga de 10kg.

CE_B = carbono equivalente para bainita, $HV_M \geq HV \geq HV_B$

Si: $HV \geq HV_M$ $HV = HV_M = 802 C + 305$ (100% martensita)

(Si la dureza de la fórmula (5.9) resulta ser mayor que HV_M , se toma como valor la dureza HV_M)

Si: $HV \leq HV_B$ $HV = HV_B = 305 CE_B + 101$ (0% martensita)

(Si la dureza de la fórmula (5.9) resulta inferior al valor HV_B se toma como valor la dureza HV_B)

2.- Fórmula propuesta por Suzuki

$$HV = H + \frac{K}{[1 + \exp(a(\text{Logt}_{8/5} - Y_5))]} \dots\dots (5.10)$$

Donde:

$$a = a_K / K$$

$$H = 884C + 287 - K$$

$$K = 237 + 1633 C - 1157 PC_M$$

$$a_K = 566 + 5532C - 2880 PC_M$$

$$Y_5 = -0,03 - 6,00C + 7,77 PC_M$$

y

$$PCM = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10}$$

3.- Fórmula propuesta por Yurioka

$$HV = 406C + 164 CE_I + 183 - (369C - 149 CE_I + 100) \arctan X \dots\dots (5.11)$$

Donde:

$$X = \frac{\text{Logt}_{8/5} - 2.822CE_{II} + 0.262}{0.526 - 0.195 CE_{II}}$$

$$CE_I = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{6} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5} + \frac{Nb}{5} + 10B$$

y

$$CE_{II} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{5} + \frac{Cu}{5} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{6} + \frac{Mo}{6} + 10B$$

Ámbito de validez: Estas fórmulas han sido verificadas por H. Suzuki para 70 aceros cuyas composiciones químicas estaban dentro de los siguientes intervalos: $0 < C < 0,33$; $0,48 < Mn < 2,6$; $Si < 0,65$; $Cu < 0,47$; $Cr < 1,06$; $Ni < 2,06$; $Mo < 0,66$; $V < 0,07$; $Nb < 0,06$; $Ti < 0,02$; $B < 0,0020$. Sin embargo, hay que destacar, que los intervalos de composición deberían limitarse a $0 < C < 0,22$ y $Cr < 0,5$. El contenido de aluminio debe permanecer inferior a 0,06. Además, la fórmula propuesta por Düren no debe utilizarse para aceros que contengan titanio o boro, porque no tienen en cuenta las influencias de estos elementos.

Estas formulas sirven como criterio para elaborar un procedimiento de soldadura adecuado o para resolver un problema de soldabilidad en un componente. Sin embargo lo que debemos entender es, que aún empleando fórmulas como el CE o las de dureza máxima bajo el cordón, la mejor forma de asegurarnos un cordón de soldadura sin riesgos de fisuración o fragilización es calificando el procedimiento de soldadura correspondiente (y obviamente calificando al soldador que va a desarrollar el trabajo).

En las tres fórmulas presentadas para determinar la dureza bajo el cordón se aprecia no sólo la influencia de la composición química sino también de la velocidad de enfriamiento ($t_{8/5}$).

Dureza de la martensita

Cuando la microestructura de la ZAC es 100% martensita la dureza del acero dependerá única y exclusivamente del %C y no de los elementos de aleación. Si empleamos la fórmula propuesta por Düren:

$$HV_{100\% \text{ martensita}} = HV_M = 802C + 305$$

No olvidemos que esta fórmula sólo se aplica para aceros con %C<0,33

La dureza de un acero nunca puede ser mayor que la dureza de la martensita (con el mismo %C). Por ello es importante usar bien la fórmula (5.9) de Düren de la dureza bajo el cordón, pues los valores que obtengamos con ella no deben ser mayores que la dureza máxima del acero (100% martensita), es decir $HV < HV_M$

Ejemplo:

En instalaciones de exploración petrolera o de gas se recomienda que la dureza de la ZAC en la soldadura de tuberías no debe superar los 240 HV. Valores más altos hacen al acero susceptible a agrietamiento por corrosión bajo tensión (CBT). Teniendo en cuenta los aceros que se muestran en la tabla 5.7 determine si alguno de ellos presentará durezas por encima de los 240 HV en el cordón de soldadura. Para ello asuma que la velocidad de enfriamiento durante la soldadura ha sido tal que el valor de $t_{8/5}$ correspondiente fue de 3 segundos.

TABLA 5.7 : Composición química de algunos aceros

Acero	%C	%Mn	%P	%S	%Nb	%V	%Ti
API X-52	0.15	1.30	0.015	0.012	0.02	-----	-----
API X-80	0.06	1.65	0.015	0.005	0.04	0.08	-----

Resolvamos el problema empleando la fórmula de Düren

Primero, analicemos el valor de la dureza en los dos aceros empleando la fórmula de Düren:

Reemplazando los elementos de aleación de cada uno de los dos aceros en la ecuación del CE_B se tiene:

$$HV = 2019 [C(1 - 0.5\text{Log}t_{8/5}) + 0.3(CE_8 - C)] + 66(1 - 0.8\text{Log}t_{8/5})$$

Donde:

$$CE_B = C + \frac{Si}{11} + \frac{Mn}{8} + \frac{Cu}{9} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{17} + \frac{Mo}{6} + \frac{V}{3}$$

Reemplazando los elementos de aleación en cada uno de los dos aceros en la ecuación del CE_B se tiene:

TABLA 5.8 : Resultado obtenido del CE_B

Acero	CE_B
API X-52	0.34
API X-80	0.32

Reemplazando estos valores en la ecuación de la dureza HV se tiene:

$$HV \text{ API X-52} = 2019 [0,15 (1 - 0,5 \log 3) + 0,3 (0,34 - 0,15)] + 66 (1 - 0,8 \log 3) = 386$$

$$HV \text{ API X-80} = 2019 [0,06 (1 - 0,5 \log 3) + 0,3 (0,32 - 0,06)] + 66 (1 - 0,8 \log 3) = 291$$

Se observa que para las condiciones de enfriamiento asumidas ($t_{8/5} = 3s$) ambos aceros alcanzarían valores de dureza superiores a 240 HV y por tanto habría riesgo a ser susceptibles a la CBT (corrosión bajo tensión).

Pero veamos que hubiese pasado si la velocidad de enfriamiento hubiese sido tan rápida que la microestructura del acero sea de 100% martensita.

Para ello usamos la fórmula de Dürén para la dureza de la martensita (HV_M)

$$HV \text{ martensita} = HV_M = 802 C + 305$$

Reemplazando únicamente el %C de cada uno de los aceros en esta fórmula se tiene:

$$HV \text{ martensita API X-52} = HV_M = 802 (0,15) + 305 = 425$$

$$HV \text{ martensita API X-80} = HV_M = 802 (0,06) + 305 = 353$$

Si comparamos los resultados de la dureza HV_M de ambos aceros con los respectivos valores de dureza obtenidos con la fórmula (5.9) vemos que estos últimos valores (HV) son menores a la dureza HV_M . Esto significa que los aceros no han alcanzado durante el enfriamiento de la soldadura velocidades lo suficientemente altas como para transformar la microestructura en 100% martensita.

¿Qué hubiera pasado si la velocidad de enfriamiento ($t_{8/5}$) hubiese sido mayor?

Supongamos que para nuestro ejemplo anterior incrementamos de manera continua la velocidad de enfriamiento, haciendo que el valor $t_{8/5}$ sea cada vez más pequeño. Los valores de la dureza bajo el cordón serán cada vez mayores tal y como se observa en la tabla 5.9

TABLA 5.9 : Dureza bajo el cordón para diferentes velocidades de enfriamiento ($t_{8/5}$)

ACERO	$T_{8/5}$ (s)				HV Martensita	HV Bainita
	3.0	1.0	0.5	0.3		
API X - 52	386	484	545	591	425	147
API X - 80	291	345	379	404	147	119

Si se aumenta de manera continua la velocidad de enfriamiento se puede observar que la dureza del acero bajo el cordón de soldadura se incrementa también, llegando a superar inclusive a la dureza de la martensita. Sin embargo, por lo expuesto anteriormente esto no puede ser posible, pues la máxima dureza que puede tener un acero es aquella correspondiente a la dureza de la martensita (100%).

Para comprender mejor esto, usemos el diagrama TTT como el que se muestra en la figura 5.14. En ella se observa que cuando se alcanzan velocidades de enfriamiento superiores a la VCT (velocidad crítica de temple) la microestructura final será siempre martensita con la misma dureza. Es decir, la dureza de la martensita no varía con la velocidad de enfriamiento, solamente depende del %C de la aleación. Por lo tanto podemos

seguir enfriando más rápidamente la unión soldada y los valores de dureza de la martensita no van a variar. Esto quiere decir que la dureza de la unión soldada nunca podrá ser mayor a HV_M .

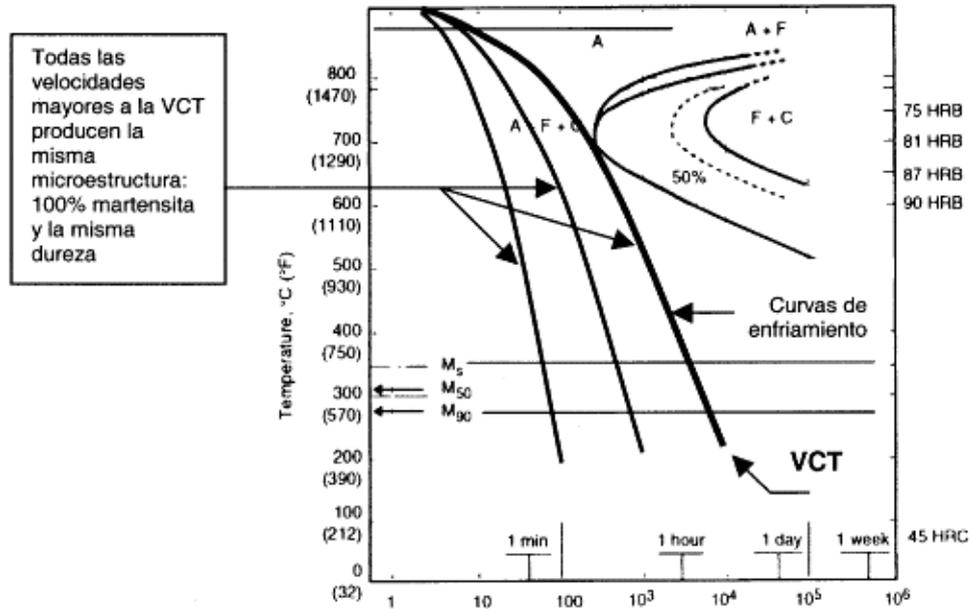


FIGURA 5.14 : DIAGRAMA TTT

En conclusión, las condiciones de soldadura planteadas en este problema ($t_{8/5} = 3 \text{ seg.}$) han producido en los aceros en cuestión microestructuras que contienen una mezcla de micro constituyentes que incluyen la martensita y la bainita. Ello se deduce de los valores estimados de la dureza bajo el cordón (tabla 5.9) que son mayores a los valores de HV_B (100% bainita) pero inferiores a los valores HV_M (100% martensita).

Para evitar la presencia de microestructuras frágiles (martensíticas) debemos precalentar los aceros antes de soldar procurando que su velocidad de enfriamiento permita alcanzar una dureza inferior a 240 HV, que es la condición planteada en el problema.

Resolviendo el problema empleando la fórmula de Suzuki

De acuerdo a la ecuación (5.10) el valor de la dureza bajo el cordón será:

$$HV = H + \frac{K}{[1 + \exp(a(\text{Log} t_{8/5} - Y_5))]}$$

Resolviendo cada uno de los factores para los valores del problema se tienen finalmente los resultados que se muestran en la Tabla 5.10

TABLA 5.10 : Tabla de resultados

ACERO	PCM	K	aK	H	Y5	HV
API X-52	0.2250	221.6	747.80	198.0	0.8	366.3
API X-80	0.1605	149.3	435.68	190.8	0.9	303.0

Resolvamos ahora el problema empleando la fórmula de Yurioka

De acuerdo con la fórmula (5.11):

$$HV = 406C + 164CE_1 + 183 - (369C - 149CE_1 + 100) \arctan X$$

Teniendo en cuenta la composición química de cada acero (tabla 5.11) y las fórmulas correspondientes a CE1, CE2 y X se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 5.11 : Tabla de resultados

ACERO	CE ₁	CE ₂	X	HV
API X-52	0.38	0.42	-1.00	383.9
API X-80	0.36	0.40	-0.87	315.6

Los resultados de la dureza bajo el cordón obtenidos empleando las tres fórmulas se muestran en la Tabla 5.12

TABLA 5.12 : Valores de obtenido HV

ACERO	HV Düren	HV Suzuki	HV Yurioka
API X-52	386	366.3	383.9
API X-80	291	303.0	315.6

En esta tabla podemos apreciar que los valores obtenidos por las distintas fórmulas son muy similares, obteniéndose una diferencia máxima inferior al 8%.

Conclusión: Las tres fórmulas tiene una buena correlación entre sí y pueden ser utilizadas indistintamente, pero respetando el rango de composiciones químicas de los aceros para el cual tienen validez todas estas expresiones.

Empleando cualquiera de las tres fórmulas hemos obtenido los valores de dureza bajo el cordón de los dos aceros estudiados. Las durezas calculadas son mayores al valor límite establecido en el problema (240 HV), por lo que cualquiera de ellas nos hubiera servido indistintamente.

¿Cómo podemos lograr que el valor de la dureza bajo el cordón sea como máximo de 240HV?

Dado que los aceros no los podemos cambiar, la única forma de lograr esta dureza en el cordón es elegir adecuadamente los parámetros de soldadura a fin de que la velocidad de enfriamiento ($t_{8/5}$) sea lo suficientemente lenta para producir una microestructura con esta dureza.

Haciendo uso de las fórmulas anteriores podemos encontrar el valor de $t_{8/5}$ que hace posible una dureza bajo el cordón de 240 HV para cada uno de los aceros. Interpolando distintos valores de $t_{8/5}$ finalmente obtenemos para cada uno de los métodos empleados los siguientes valores:

TABLA 5.13 : Valores de $t_{8/5}$ (s) para alcanzar una dureza de 240 HV debajo del cordón

ACERO	$t_{8/5}$Duren	$t_{8/5}$ Suzuki	$t_{8/5}$ Yurioka
API X-52	16	18	19
API X-80	9	13	12

Podemos observar que para el acero API X52 se necesitaría alcanzar una velocidad de enfriamiento tal que el valor $t_{8/5}$ se encuentre entre 16-19 segundos, mientras que para el acero API X80 la velocidad de enfriamiento puede ser algo mas alta ($t_{8/5} = 9 - 13$ s). Siendo

algo conservadores podríamos decir que las velocidades de enfriamiento (valores $t_{8/5}$) para los aceros API X-52 y API X-80 deberían ser 19 y 13 segundos respectivamente.

¿Cómo conseguir estas velocidades de enfriamiento en la práctica?

La forma más directa es precalentando las piezas a soldar. Por ello una parte importante de un procedimiento de soldadura es la especificación de la temperatura mínima de precalentamiento.

c.- Determinación de la temperatura de precalentamiento

De los ejemplos anteriores podemos concluir que la forma más directa de evitar estructuras frágiles es logrando que la velocidad de enfriamiento de la unión soldada sea lo suficientemente lenta para evitar la transformación martensítica. Para alcanzar esta condición muchas veces será necesario precalentar la unión a soldar a fin de reducir el gradiente térmico y con ello la velocidad de enfriamiento.

Existen pues diferentes criterios o métodos para determinar la temperatura de precalentamiento, pero todos ellos se basan en la condición de no generar estructuras frágiles o susceptibles a la fragilización. A continuación presentaremos unos criterios recomendados por la American Welding Society (AWS) en su código estructural AWS-D1.1. 2000.

Método recomendado por el código estructural AWS-D1.1

Lo primero que debemos calcular es el CE del acero a ser soldado a partir de la siguiente fórmula:

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%) \dots \dots (5.12)$$

Con el valor del CE y del %C del acero se localiza un punto en la figura 5.15 donde se determina en cual de las tres zonas esta ubicado el acero que queremos soldar.

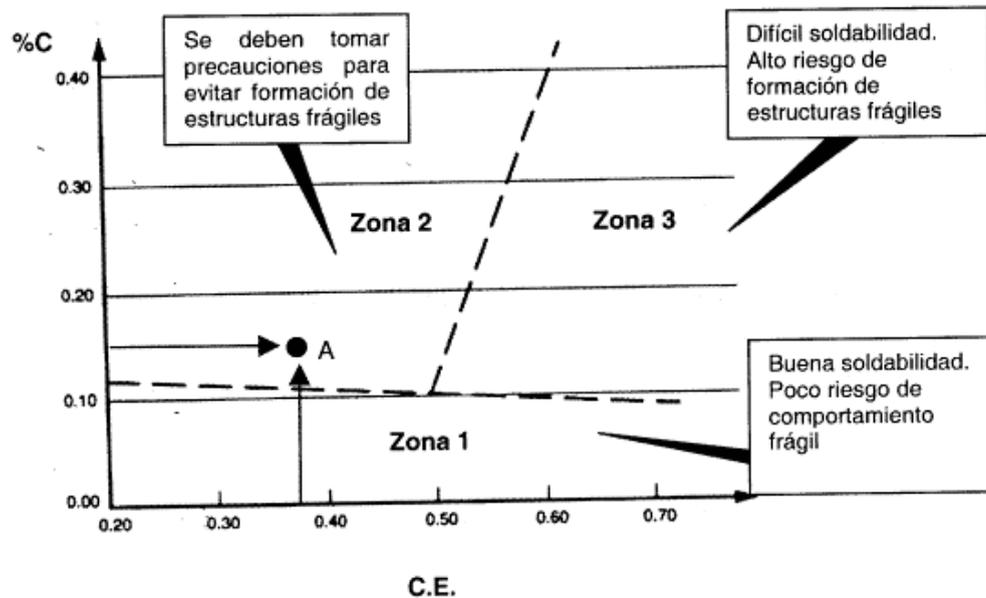


FIGURA 5.15 : ZONAS DE UBICACIÓN DEL ACERO

De acuerdo a la zona en que caiga el punto, se tendrán los siguientes criterios:

Si el acero cae en la zona 1:

El riesgo de fisuración es casi improbable, pudiendo ocurrir solamente en caso que haya presencia de alto % hidrógeno dentro del cordón de soldadura o que se haya soldado empleando un montaje muy rígido (fuertemente embridado) que impida la deformación y que por lo tanto genere tensiones residuales elevadas.

Vemos que esta zona corresponde a aceros con $\%C < 0,1$ sin restricción del CE. Para estas aleaciones la dureza de la martensita no es muy elevada y admite cierto nivel de tenacidad. Por ello, el riesgo de fisuración por estructuras frágiles es prácticamente inexistente.

Si el acero cae en la zona 2:

- Se puede emplear el método de control de la dureza en la ZAC para determinar el calor de aporte mínimo en soldaduras de filete de una sola pasada sin precalentamiento.
- Si el aporte de calor no resulta de mucha utilidad práctica, se puede emplear el método del hidrógeno para calcular la temperatura de precalentamiento.
- Para uniones soldadas a tope, se debe emplear el método de hidrógeno para determinar el precalentamiento.
- Para aceros con alto %C, se debe emplear tanto el método del control de dureza para determinar el aporte de calor mínimo y el método de hidrógeno para determinar la temperatura de precalentamiento, ya sean uniones soldadas a tope o en filete.

Si el acero cae en la zona 3:

Se debe emplear el método de hidrógeno para calcular la temperatura de precalentamiento, especialmente en situaciones en las que el calor de aporte debe ser restringido para preservar las propiedades mecánicas de la ZAC (por ejemplo en aceros templados y revenidos).

Esta zona corresponde a aceros con alto %C y alto CE, es decir son precisamente los aceros con más dificultad para soldar por su elevada tendencia a la fisuración en frío.

Bien, una vez que hemos definido en cual de las tres zonas cae el acero que deseamos soldar, vamos a proceder a emplear los métodos recomendados para determinar los parámetros de soldadura que nos brinden un menor riesgo de formación de estructuras frágiles.

¿Cómo se puede variar la velocidad de enfriamiento del cordón de soldadura?

Recordemos el CICLO TÉRMICO, donde pudimos conocer como varía la velocidad de enfriamiento en función de diferentes parámetros del proceso a través de la siguiente fórmula:

$$R^* = \frac{2\pi k(T_c - T_o)}{H_{net}} \dots \dots (5.13) \quad \text{Para planchas gruesas}$$

Donde:

K = conductividad térmica del acero (0,028 J/mm.s.°C)

H_{net} = calor de aporte neto $\left(\frac{V \cdot I}{V_{soldeo}} \times \eta \right)$

Tc = temperatura a la cual se mide la velocidad de enfriamiento (°C)

Si empleamos los datos del problema para el acero ASTM A-36 H_{net} : 460 J/mm, $T_o = 20^\circ\text{C}$, $T_c = 540^\circ\text{C}$ y lo reemplazamos en la fórmula (5.13), se tendrá una velocidad de enfriamiento $R^*(540^\circ\text{C}) = 103^\circ\text{C/s}$.

Si lo comparamos con el valor crítico R540 obtenido por el método de control de la dureza (R540=100°C/s) vemos que los resultados se ajustan muy bien.

Del mismo modo podemos hallar que para el acero ASTM A537G2 con un aporte de calor de 1600 J/mm la velocidad de enfriamiento del cordón de soldadura estimada mediante la fórmula (5.13) sería $R^*540 = 30^\circ\text{C/s}$ que es sólo ligeramente mayor al valor obtenido por el método del control de dureza (R540=22°C/s).

En resumen hemos podido comprobar que el método de control de dureza nos brinda información fiable respecto de algunos parámetros de soldadura (H_{net}) que debemos considerar para evitar la presencia de estructuras frágiles.

Es importante indicar que el método del control de la dureza en la ZAC propuesto por el código AWS D1.1 se emplea en uniones soldadas que no requieran precalentamiento. Esto no siempre es posible y por lo tanto en algunos casos será necesario recurrir a métodos que nos orienten en la determinación de la temperatura de precalentamiento.

Método de control de hidrógeno

Las uniones soldadas de los aceros son muy sensibles a la fisuración cuando su microestructura contiene estructuras frágiles como la martensita. Sin embargo este efecto se agrava aún más en presencia de hidrógeno, el cual penetra en la soldadura como consecuencia de la descomposición a elevadas temperaturas de la humedad del metal base, de sustancias hidrogenadas provenientes del consumible (material de aporte) o de la preparación de los bordes. En estas circunstancias si la unión soldada presenta martensita suficientemente dura (dependerá del %C) y una concentración crítica de hidrógeno se fisurará dando lugar a grietas que son consideradas responsables de muchas fallas catastróficas.

- Se procede a calcular el valor del parámetro de composición de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$PCM = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{15} + 5B \dots\dots (5.14)$$

Este índice PCM propuesto por Ito y Bessyo (ver también la fórmula 5.2) permite evaluar la susceptibilidad a la fisuración de aceros de bajo %C (especialmente aquellos que son empleados en la industria del petróleo y gas). Para ello se emplea la siguiente relación:

$$IS = 12 \cdot PCM + \text{LogH} \dots\dots (5.15)$$

Donde:

IS = Índice de susceptibilidad

PCM = parámetro de composición de Ito y Bessyo

H = nivel de hidrógeno difundido en el metal soldado (ml/100g de metal depositado)

El nivel de hidrógeno puede ser determinado como sigue:

1. **H1 Extra bajo hidrógeno:** Estos consumibles aportan un contenido de hidrógeno difundible de menos de 5ml/100g de metal depositado (medido según la norma ISO 3690-1976) ó, un contenido de humedad en la cubierta del electrodo de 0,2% máximo (de acuerdo a la norma AWS A.5.1 ó A5.5). Esto se puede conseguir de las siguientes formas:
 - a. Usando electrodos de bajo hidrógeno tomados de recipientes herméticamente sellados, secados entre 370°C- 430°C por una hora y empleados dentro de las dos horas de haber sido removidos de su envase.
 - b. Usando el proceso MIG/MAG (GMAW) con alambre sólido limpio.

2. **H2 Bajo hidrógeno:** Estos consumibles dan un contenido de hidrógeno difundible inferior a 10ml/100gr de metal depositado (medido según la norma ISO 3690-1976) ó, un contenido de humedad en la cubierta del electrodo de 0,4% máximo (de acuerdo a la norma AWS A5.1). Esto se puede conseguir de las siguientes formas:
 - a. Usando electrodos de bajo hidrógeno tomados de recipientes herméticamente sellados (y acondicionados de acuerdo al código AWS) y empleados dentro de las cuatro horas de haber sido removidos de su envase.
 - b. Usando el proceso de arco sumergido (SAW) con flux seco.

3. **H3 Hidrógeno no controlado:** Esto es considerado cuando se emplean los consumibles fuera de las condiciones establecidas en H1 y H2.

Para calcular el índice de susceptibilidad a la fisuración se asumen los siguientes valores de hidrógeno en función de los niveles anteriormente descritos:

Nivel de Hidrogeno	H
H1	5 mm/100gr
H2	10 mm/100gr
H3	30mm/100gr

$$IS = 12 \cdot PCM + \text{LogH}$$

También es posible establecer no sólo un índice de susceptibilidad sino un rango a través de la tabla 5.14 donde se relaciona el parámetro de composición (PCM) y el nivel de hidrógeno presente (o estimado) de manera directa:

TABLA 5.14 : Niveles de hidrogeno

Nivel de Hidrógeno	GRUPOS DE INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD					
	PCM					
	<0.18	<0.23	<0.28	<0.33	<0.38	
H1	A	B	C	D	E	
H2	B	C	D	E	F	
H3	C	D	E	F	G	
Donde A, B, C, D, E, F, G representan grupos de índices de susceptibilidad						
A = 3.0	B = 3.1 - 3.5	C = 3.6 - 4.1	D = 4.1 - 4.5	E = 4.6 - 5.0	F = 5.1 - 5.5	G = 5.6 - 7.0

Una vez que tenemos determinado el índice de susceptibilidad ya sea a través de la fórmula (5.15) o a través de la tabla 5.14 se puede determinar la temperatura de precalentamiento recomendada y la temperatura entre pasadas a partir de la tabla 5.15, donde se relaciona el espesor de la pieza a soldar, el índice de susceptibilidad y el nivel de embridamiento que tiene la unión al momento de ser soldada.

En la tabla 5.15 se puede observar que para valores altos del índice de susceptibilidad (altos valores de PCM y/o de concentración de hidrógeno) se hace necesario emplear temperaturas altas de precalentamiento. Lo mismo sucede cuando además el nivel de embridamiento (restricción) de la unión soldada es alto (por ejemplo, cuando el espesor de la pieza es grande o cuando se realizan reparaciones de soldadura).

TABLA 5.15 : Temperaturas de precalentamiento (°C) y de interpase mínima para diferentes condiciones (Ref. AWS structural code D1.1 2000)

		Índice de susceptibilidad al agrietamiento						
Nivel de Restricción	Espesor* (mm)	A 3.0	B 3.1 - 3.5	C 3.6 - 4.0	D 4.1 - 4.5	E 4.6 - 5.0	F 5.1 - 5.5	G 5.6 - 7.0
Bajo	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	60°	140°	150°
	10 - 20	<20°	<20°	20°	60°	100°	140°	150°
	20 - 38	<20°	<20°	20°	80°	110°	140°	150°
	38 - 76	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
	>76	18°	18°	40°	95°	120°	140°	150°
Medio	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	71°	140°	160°
	10 - 20	<20°	<20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20 - 38	<20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38 - 76	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	>76	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°
Alto	<10	<20°	<20°	<20°	40°	110°	150°	160°
	10 - 20	<20°	20°	65°	105°	140°	160°	160°
	20 - 38	20°	85°	115°	140°	150°	160°	160°
	38 - 76	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
	>76	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
* El espesor es el de la parte soldada más gruesa								
<ul style="list-style-type: none"> o Nivel de embridamiento: es el grado de fijación que tiene una junta soldada y que impide su movimiento durante la soldadura. o Nivel de embridamiento bajo: uniones soldadas con razonable libertad de movimiento. o Nivel de embridamiento medio: uniones soldadas con reducida libertad de movimiento (uniones fijas a otras estructuras) o Nivel de embridamiento alto: uniones soldadas sin libertad de movimiento (ejemplo: uniones de gran espesor o reparación de soldaduras). 								

Ahora retomemos el problema anterior y determinemos la temperatura de precalentamiento para los aceros A, B y C Resolvamos el problema según el método del control de hidrógeno:

- Calculamos el parámetro de composición (PCM) a partir de la fórmula (5.14)
- Asumimos que emplearemos soldadura por arco eléctrico manual (SMAW) y como consumible un electrodo de bajo hidrógeno pero sin mayor control y cuidado en el secado y almacenaje, por tanto en estas condiciones $H = 30 \text{ ml/100mg}$ de metal depositado
- Calculamos el índice de susceptibilidad mediante la fórmula (5.15) ó mediante la tabla 5.14 (en este caso obtendremos un rango en el que estará el índice de susceptibilidad)

Los resultados de estos cálculos se muestran en la tabla 5.16:

TABLA 5.16 : Resultados de los índices de susceptibilidad

ACERO		PCM	INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD	
			Fórmula (5.14)	Tabla 5.17
A	ASTM A537G2	0,31	5,2	F = 5,1-5,5 V
B	ASTM A572G65	0,36	5,8	G = 5,6 -7,0
C	ASTM A36	0,25	4,5	E = 4,6 - 5,0

Vemos claramente que sea cualquiera de los métodos usados (fórmula 5.14 ó la tabla 5.14) para determinar el índice de susceptibilidad el resultado es el mismo, pues provienen de la misma fuente original.

Con los valores calculados del índice de susceptibilidad y teniendo en cuenta el espesor de la plancha (se elige la más gruesa) y el grado de embridamiento, determinamos la temperatura de precalentamiento y de interpase de la tabla 5.15.

Considerando que el nivel de embridamiento para nuestra unión soldada es medio vamos a la tabla 5.15 y obtenemos los valores correspondientes de la temperatura de precalentamiento mínima:

		Índice de susceptibilidad al agrietamiento						
Nivel de Restricción	Espesor* (mm)	A	B	C	D	E	F	G
		3.0	3.1 - 3.5	3.6 - 4.0	4.1 - 4.5	4.6 - 5.0	5.1 - 5.5	5.6 - 7.0
Medio	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	71°	140°	160°
	10 - 20	<20°	<20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20 - 38	<20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38 - 76	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	>76	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°

Los resultados obtenidos para las condiciones planteadas se resumen en el siguiente cuadro:

ACERO		T. precalentamiento mínima °C
A	ASTM A537G2	150
B	ASTM A572G65	160
C	ASTM A36	110

En el método de control de hidrógeno no hay necesidad de calcular el calor de aporte ni la velocidad de enfriamiento del cordón, pues éste nos orienta de manera directa acerca de la mínima temperatura de precalentamiento necesaria para evitar los problemas de fisuración asociados a la presencia de hidrógeno en la soldadura, que resulta particularmente importante en la soldadura de aceros de alta resistencia mecánica.

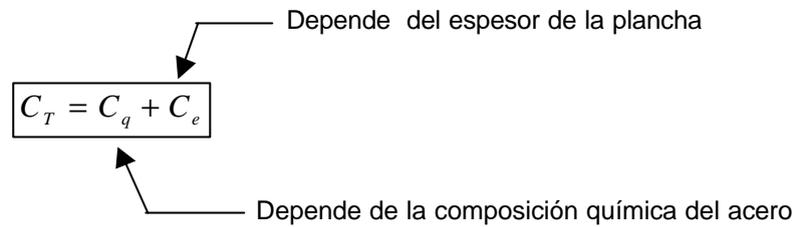
Método de Seferian

Seferian, un prestigioso metalurgista francés, propuso la siguiente expresión para estimar la Temperatura de precalentamiento (T_p):

$$T_p = 350 \sqrt{C_T - 0.25} \dots\dots(5.16)$$

Donde :

C_T = carbono equivalente total, que viene representado por:



El factor C_e tiene en cuenta el espesor de la pieza a soldar y se considera

$$C_e = 0.005e,$$

donde:

e = espesor (mm)

Reemplazando en la ecuación anterior se tendrá:

$$C_T = C_q(1 + 0.005 \cdot e) \dots \dots (5.17)$$

donde:

$$C_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \dots \dots (5.18)$$

Empleando las expresiones 5.16, 5.17 y 5.18 es posible determinar la temperatura de precalentamiento necesaria en una unión soldada. Es importante indicar que este método propuesto por Seferian no tiene en consideración el aporte de calor (H_{net}) por lo que los valores de temperatura (T_p) calculados mediante este método suelen ser algo más elevados que lo realmente necesario (son más conservadores).

Calculemos para el problema anterior los valores de temperatura de precalentamiento recomendados por este método.

TABLA 5.17 : Determinación de la Temperatura de precalentamiento (Tp) mediante el método de Seferian

ACERO		%C	%Mn	C _q	C _T	Tp (°) método Seferian	Tp (°C) Método de control de hidrogeno
A	ASTM A537G2	0.24	1.15	0.4	0.41	142°	150°
B	ASTM A572G65	0.26	1.65	0.4	0.50	175°	160°
C	ASTM A36	0.20	0.80	0.3	0.33	96°	110°

Como se puede apreciar en la tabla anterior los valores de la temperatura de precalentamiento estimados mediante el método de Seferian son muy parecidos al método de control de hidrógeno.

Método del Instituto Internacional de Soldadura (IIW)

Este método sí considera, a diferencia del método propuesto por Seferian, el aporte de calor neto (Hnet) en el cálculo de la temperatura mínima de precalentamiento. Este método trabaja con un ábaco (figura 5.16) donde se puede entrar directamente con la tasa de deposición por electrodo consumido y con el aporte de calor neto.

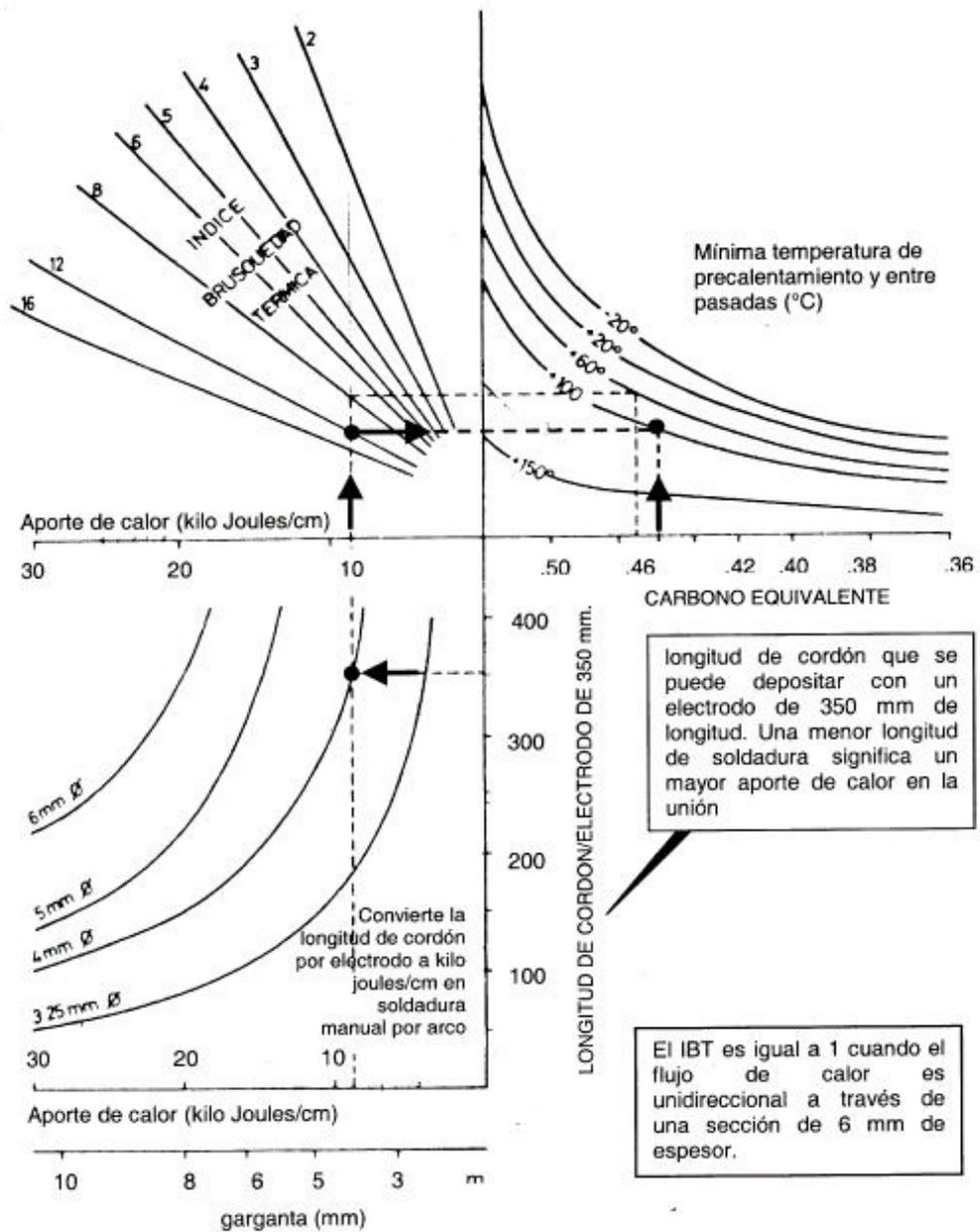


FIGURA 5.16 : DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MINIMA SEGUN EL METODO PROPUESTO POR EL IIW (INTERNATIONAL INSTITUTE OF Welding)

El método propone la determinación del índice **de brusquedad térmica** (Thermal Severity Number) ó IBT que incorpora la geometría de la unión y la severidad de enfriamiento en el

cálculo de la temperatura de precalentamiento. La figura 5.17 muestra el valor de IBT para diferentes tipos de junta.

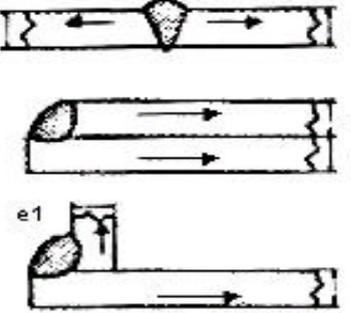
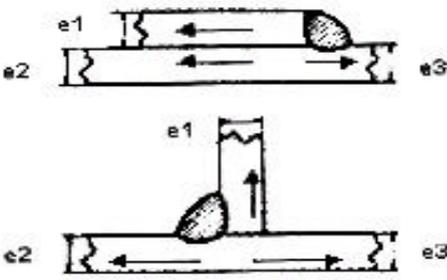
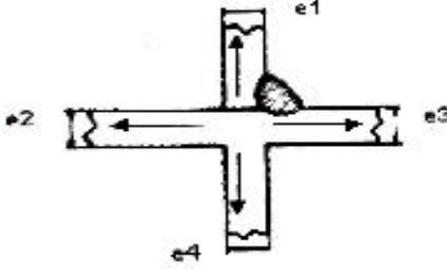
Tipo de junta	IBT
	$\frac{e1}{6}$
	$\frac{e1+e2}{6}$
	$\frac{e1+e2+e3}{6}$
	$\frac{e1+e2+e3+e4}{6}$
Nota	e1 = espesor en mm.

FIGURA 5.17 : DIFERENTES POSIBILIDADES DE DISIPACIÓN DE CALOR EN UNA SOLDADURA Y SU CORRESPONDIENTE IBT

Ejemplo:

Determinar la temperatura de precalentamiento de una unión a tope de dos planchas de 25 mm de espesor de un acero del tipo ASTM A537 G2. La soldadura se efectuará empleando proceso de arco eléctrico manual. Pruebas preliminares han permitido determinar que el soldador deposita un primer cordón de 350 mm con un electrodo de 3/16" (aprox. 4 mm) y de 350 mm de longitud.

De acuerdo a la composición química del acero ASTM A537G2 podemos calcular su CE (según el IIW).

$$CE=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Cr+Mo+V}{5}+\frac{Ni+Cu}{15}(\%)$$

Obteniendo un valor de CE = 0,43

Con la longitud de 350 mm ingresamos al gráfico de la figura 5.16 y trazamos una línea horizontal que corta la curva correspondiente a un diámetro de 4 mm en el punto correspondiente a un aporte de calor de aproximadamente 8 kJ/ cm.

Para el tipo de unión el valor de IBT según la figura 5.17 será:

$$IBT = \frac{e_1 + e_2 + e_3}{6}$$

Donde el valor de $e_1 = e_2 = e_3 = 25$ mm . El valor de IBT = 12

Ahora, trazamos una línea vertical correspondiente a 8 kJ/cm hasta que esta corte a la curva IBT = 12 (cuadrante superior izquierdo) y obtenemos un punto a partir del cual llevaremos una línea horizontal hacia el cuadrante superior derecho que se cruzará con la línea vertical que parte del punto correspondiente a CE: 0,43 obteniendo una temperatura de precalentamiento mínima de aproximadamente 100°C.

Método del CET (SEW 088)

Este método hace uso de una nueva relación empírica para el carbono equivalente (CET) que a diferencia de las otras relaciones para el CE, las cuales toman en cuenta la templabilidad (grado de endurecimiento) como criterio de evaluación de la susceptibilidad a la fisuración en frío, ésta ha sido obtenida después de correlacionarla con ensayos que evalúan directamente el comportamiento a la fisuración en frío de la unión soldada.

$$\text{CET}(\%) = \text{C} + \frac{\text{Mn} + \text{Mo}}{10} + \frac{\text{Cr} + \text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{40} \dots\dots (5.19)$$

Esta relación tiene validez para el siguiente rango de composiciones y condiciones:

0.5 – 0.32%C, Si < 0.8%, 0.05-1.9%Mn, Cr < 1.5%, Cu < 0.7% Mo < 0,75%, Nb < 0,06%, Ni < 2.5%, Ti < 0.12%, V < 0.18%, B < 0.005%.

CET : 0.2 a 0.5%,

t: 10 a 90 mm;

HD: de 1 a 20 según DIN 8572;

Hnet: 5 a 40 KJ/cm

Para estimar la temperatura mínima de precalentamiento a partir del valor CET se emplea la siguiente relación:

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = 700 \cdot \text{CET} + 160 \cdot \text{Tanh}\left(\frac{t}{35}\right) + 62 \cdot \text{HD}^{0.35} + (53 \cdot \text{CET} - 32) \text{Hnet} - 330 \dots\dots (5.20)$$

Siendo:

Tanh : tangente hiperbólica

t = espesor de la plancha (mm)

HD = contenido de hidrógeno en el cordón de soldadura (cm³/100g)

Hnet = aporte de calor neto (kJ/mm)

Ejemplo:

Calcular la temperatura de precalentamiento empleando el método del CET para las condiciones del problema anterior:

ACERO	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%Mo	%V	otros
ASTMA537G2	0,24	1,15	0,3					

Luego de verificar que podemos emplear la fórmula CET en este acero, procedemos a calcularlo:

$$CET = 0,24 + 1,15/10 = 0,39\%$$

Teniendo en cuenta que el espesor de la plancha es 25 mm, el aporte de calor es: $H_{net} = 8$ kJ/cm (igual que el caso anterior) y que tenemos un contenido de 10 ml/100g H en el depósito de soldadura (usando electrodos de bajo hidrógeno) procedemos a calcular el valor de la temperatura mínima de precalentamiento:

$$T_p(^{\circ}C) = 700 \times 0,39 + 160 \times \operatorname{Tanh}\left(\frac{25}{35}\right) + 62 \times 10^{0,35} + (53 \times 0,39 - 32) \times 8 - 330(^{\circ}C)$$

La temperatura de precalentamiento (y de interfase) mínima será para este caso sera de:

$$T_p = 130^{\circ}C$$

Método de Yurioka

Frente a todos estos métodos Yurioka y Kasuya, propusieron el uso de un procedimiento que considera la fórmula de carbono equivalente (CEN) y una serie de ábacos que permiten la evaluación de la susceptibilidad a la fisuración en frío de un amplio rango de aceros. Estos autores afirman que los métodos clásicos poseen las siguientes limitaciones:

- El CE (IIW) es un índice empleado para aceros al carbono o aleados al Mn, pero absolutamente inaceptable para aceros de bajo carbono y baja aleación.
- El índice PCM (empleado en el método propuesto por AWS D1.1) es aplicable a aceros de baja aleación excepto aquellos aleados al Cu endurecibles por precipitación.

El procedimiento para calcular la temperatura de precalentamiento de acuerdo a este método es el siguiente:

1. Calcular el CEN y CE(IIW) a partir de la composición química.

2. Encontrar los incrementos para el índice CEN $(\ddot{A}CEN)_H$ a través de la desviación en concentración de hidrógeno presente en el metal soldado respecto del valor de referencia (5 ml/100g).
3. Encontrar los incrementos para el índice CEN $(\ddot{A}CEN)_{Q + CEI IW}$ a través de la desviación del calor de aporte respecto del valor de referencia (1,7 KJ/mm) y del valor de CE(IIW).
4. Si la temperatura ambiente es baja se puede calcular un incremento $(\ddot{A}CEN)_T = 0.02$ para T:-1 0°C y $(\ddot{A}CEN)_T = 0.08$ para T:-30°C.
5. Si el acero es un acero endurecible por precipitación con Cu, se puede calcular un nuevo incremento $(\ddot{A}CEN)_{Cu}$
6. Calcule el nuevo valor de CEN = CEN + $(\ddot{A}CEN)_H$ + $(\ddot{A}CEN)_{Q + CEI IW}$ + $(\ddot{A}CEN)_T$ + $(\ddot{A}CEN)_{Cu}$
7. Determine la temperatura de precalentamiento (de laboratorio) a partir del nuevo valor de CEN y del espesor de la pieza.
8. Determine la “temperatura de precalentamiento práctica” a través de la corrección por resistencia mecánica del cordón de soldadura y por el nivel de restricción (embridamiento) de la junta soldada.

CONSIDERACIONES FINALES

- Una predicción fiable de la dureza máxima bajo el cordón para probetas sobre las que se deposita un único cordón de soldadura, debe tener en cuenta la influencia de la velocidad de enfriamiento. La máxima dureza bajo el cordón puede calcularse con ayuda de una única fórmula de carbono equivalente sólo en el caso de que el tiempo de enfriamiento se fije entre 800 y 500°C ($t_{8/5}$). En ese caso, la fórmula debe adaptarse a este tiempo de enfriamiento.
- La conveniencia de fijar los límites máximos de dureza bajo el cordón, a fin de evitar las dificultades durante y después de la soldadura, puede cuestionarse por numerosas razones. Por consiguiente, se recomienda siempre la realización de

ensayos lo más representativos posible de la aplicación a que se destine, para calificar los procedimientos de soldadura cuando se sospeche que pueden presentarse determinadas dificultades durante la ejecución de la soldadura o después de ella.

- Todos los métodos propuestos para la determinación de la temperatura de precalentamiento mínima deben ser empleados como referencia importante pero no como métodos precisos que excluyan otras consideraciones. Los valores de la temperatura de precalentamiento son referenciales y normalmente suelen ser conservadores.

5.1.3 Arco eléctrico

El arco eléctrico es una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor. El arco eléctrico es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldeo por dos razones fundamentales:

- Proporciona altas intensidades de calor.
- Es fácilmente controlable a través de medios eléctricos.

Para producir el arco se requiere dos conductores: electrodos, y un gas conductor denominado plasma.

5.1.3.1 Formación del medio conductor (la columna de plasma)

El arco eléctrico consiste en una descarga de corriente relativamente alta sostenida a través de una columna gaseosa. Los gases, en condiciones normales, son prácticamente aislantes, por lo que para conseguir el arco es necesario que el gas se haga conductor. Para ello es necesario que el gas se ionice. La ionización se consigue por el choque de los

electrones que salen de uno de los electrodos con el gas. Un gas ionizado o parcialmente ionizado se denomina plasma.

En la figura 5.18(A) se puede observar los átomos de un gas, cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, sin embargo a una temperatura elevada se puede conseguir que el gas se ionice, En la figura 5.18(B) el plasma está formado por un átomo (a) que no está en absoluto ionizado, es decir, que no tiene ningún electrón separado de su núcleo; átomos parcialmente ionizados en los que uno de los electrones (c) se ha separado del núcleo y han dejado un ión positivo (b) (tiene más protones que electrones) y otro átomo totalmente ionizado ya que los dos electrones (c) se han separado del núcleo (d).

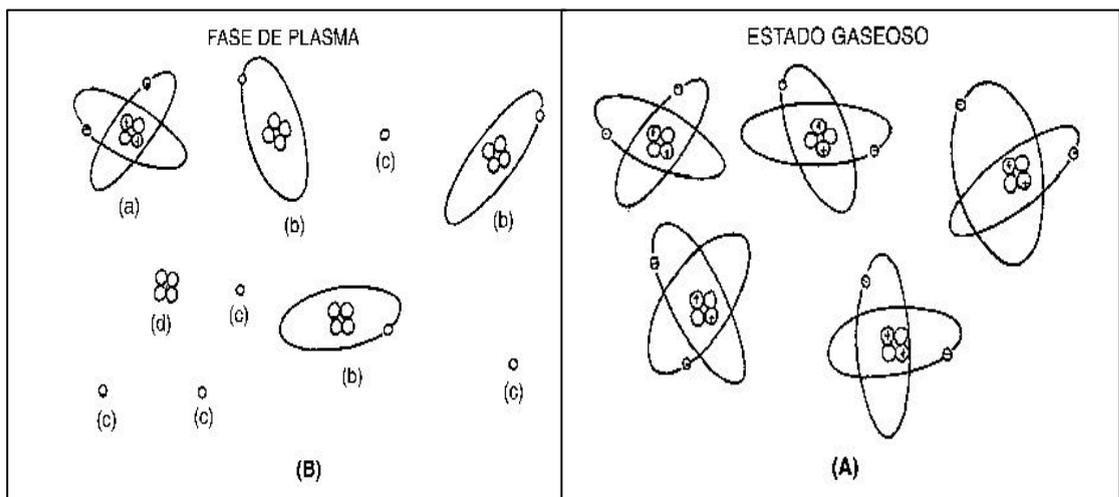


FIGURA 5.18 : ESTADO GASEOSO Y FASE PLASMA

Los electrodos pueden ser de igual o de distinta naturaleza, una varilla metálica (electrodo) y una pieza metálica (metal base) del mismo o de otro metal, al comunicarle la energía suficiente se logra arrancar los electrones del electrodo los cuales bombardean al gas y consiguen su ionización.

El procedimiento más simple para aportar la energía necesaria es calentar el electrodo a una temperatura muy elevada. Por ello el método corriente para iniciar un arco es establecer un cortocircuito entre pieza y electrodo, esto produce un calentamiento muy fuerte en la punta del electrodo negativo (llamado cátodo) al pasar una corriente elevada,

separando ahora el electrodo bastan unos pocos voltios para que se establezca el arco. Una vez iniciado el arco, los electrones que salen del cátodo ionizan el gas al chocar con sus átomos. Los electrones siguen su camino hacia el ánodo (terminal positivo) y los iones del plasma se dirigen hacia el cátodo, al que ceden su energía cinética que se transforma en calor, manteniendo así la temperatura del cátodo que sigue emitiendo electrones. (figura 5.19).

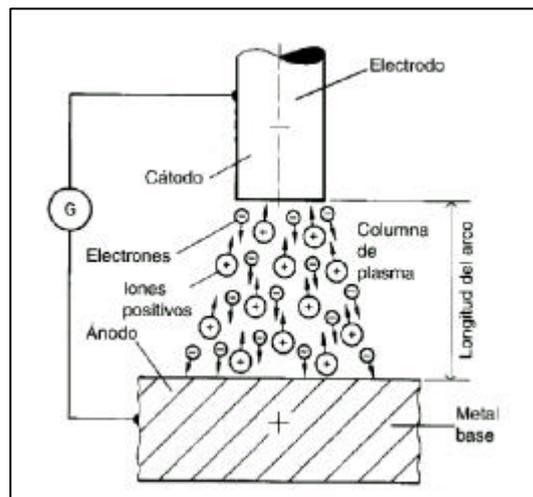


FIGURA 5.19 : DESCRIPCIÓN DEL ARCO ELECTRICO

5.1.3.2 Zonas características del arco de soldeo

El arco de soldeo está dividido en tres regiones características (ver figura 5.19):

- Cátodo.
- Columna de plasma
- Ánodo.

En el cátodo (terminal negativo) se produce la emisión de electrones, que ionizan el gas convirtiéndose en plasma. Los iones que proceden de la columna de plasma bombardean el cátodo, calentándolo y permitiendo que se mantenga la emisión de electrones.

En el cátodo la energía se emplea en mantenerlo caliente y en arrancar los electrones, por lo que la temperatura del cátodo es más baja que la del ánodo, en donde toda la energía se emplea en su calentamiento.

El cátodo, además, presenta propiedades autodecapantes (de autolimpieza) debido a la acción mecánica del bombardeo de iones.

Al ánodo (terminal positivo) se dirigen los electrones atraídos por la carga positiva del ánodo. Como ya se ha dicho antes, el ánodo se encontrará a una temperatura más elevada que el cátodo.

La columna de plasma se encuentra entre el ánodo y el cátodo y su temperatura es muy elevada, del orden de 3000 °C. El plasma es un gas que ha sido calentado por un arco, como mínimo hasta un estado de ionización parcial, haciéndole conductor de la corriente eléctrica.

En la columna del plasma, la energía es absorbida para mantener el gas a una temperatura a la cual sea conductor.

El gas que se ioniza para convertirse en plasma puede ser el aire, los vapores desprendidos por el revestimiento del electrodo y/o el gas de protección. La longitud del arco es la distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza

5.1.3.3 Influencia del tipo de corriente (polaridad)

Se puede emplear corriente continua o corriente alterna para establecer un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza a soldar. Si se utiliza corriente continua se puede diferenciar entre conectar el electrodo al terminal negativo y la pieza al positivo o bien conectar el electrodo al terminal positivo y la pieza al negativo, de esta forma aparece el concepto de POLARIDAD, que sólo existe en el caso de corriente continua.

a.- Diferentes nombres de los dos tipos de polaridad

Si se conecta el electrodo en el terminal negativo y la pieza a soldar en el positivo, se dirá que se está soldando con polaridad directa, también se puede decir que se suelda con corriente continua electrodo negativo, de forma abreviada CCEN, (ver figura 5.20).

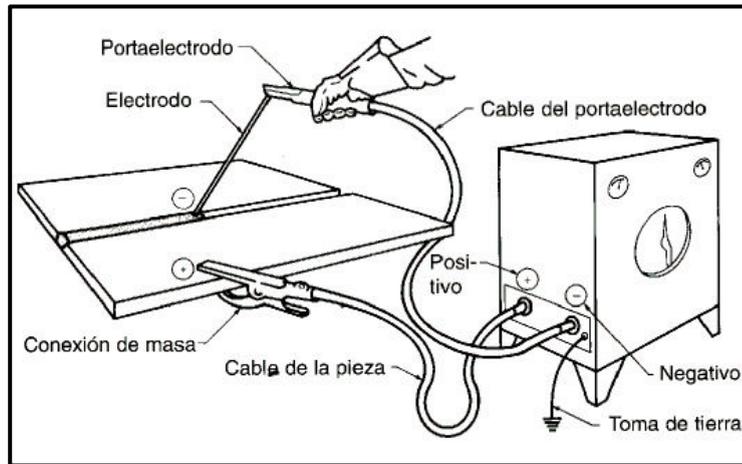


FIGURA 5.20 : CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO NEGATIVO

Si se conecta el electrodo al terminal positivo y la pieza a soldar en el negativo, se dirá que se está soldando con polaridad inversa, también puede decirse que se suelda con corriente continua electrodo positivo, de forma abreviada CCEP (ver figura 5.21). La elección de la polaridad dependerá, entre otros factores, del tipo de proceso de soldeo, del tipo de electrodo y del material base.

b.- Efectos de la polaridad

Se ha indicado que la zona que más se calienta es la zona anódica (la positiva). Por tanto cuando se suelda con polaridad inversa (CCEP) la energía del arco se concentra fundamentalmente sobre el electrodo y por tanto la zona más caliente es el electrodo.

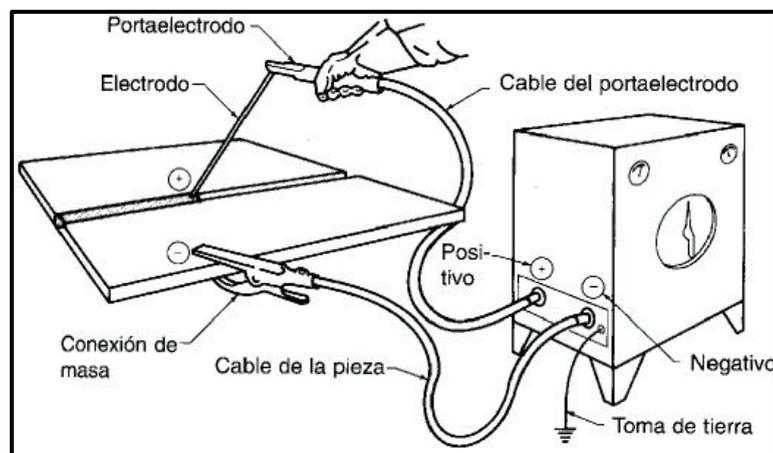


FIGURA 5.21 : CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO POSITIVO

También se ha señalado que los iones positivos al chocar con el cátodo producen un efecto de decapado o limpieza, por lo que en el caso del soldeo con polaridad inversa la pieza será decapada.

Características de la polaridad inversa (CCEP) son:

- En general se obtiene un baño relativamente ancho, con poca penetración.
- Excesiva acumulación de calor en el electrodo, que puede provocar su sobrecalentamiento y rápido deterioro incluso a bajas intensidades de corriente.
- Se produce el efecto de decapado o limpieza de óxidos, facilitándose el soldeo de algunas aleaciones como las de aluminio y magnesio.

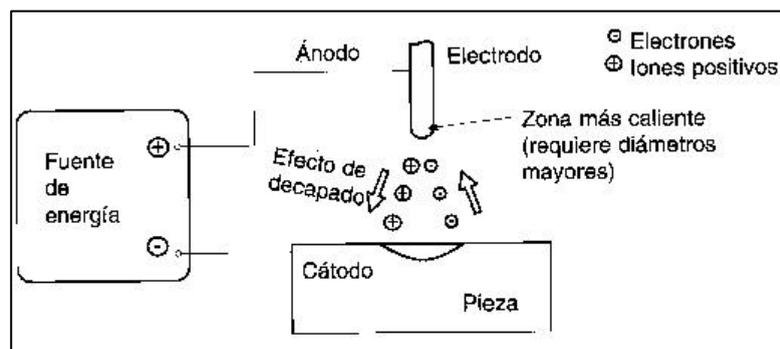


FIGURA 5.22 : CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO POSITIVO, (CCEP). POLARIDAD INVERSA

Cuando se suelda con polaridad directa, serán las piezas las que se calientan más intensamente.

Características de la polaridad directa (CCEN) son:

- En general se obtienen cordones estrechos con gran penetración.
- El electrodo soportará intensidades del orden de ocho veces mayores que si estuviese conectado al polo positivo, ya que se calienta menos.
- No se produce el efecto de decapado sobre las piezas, por lo que si se quisiera soldar aleaciones con capas refractarias deberían decaparse químicamente antes del soldeo.

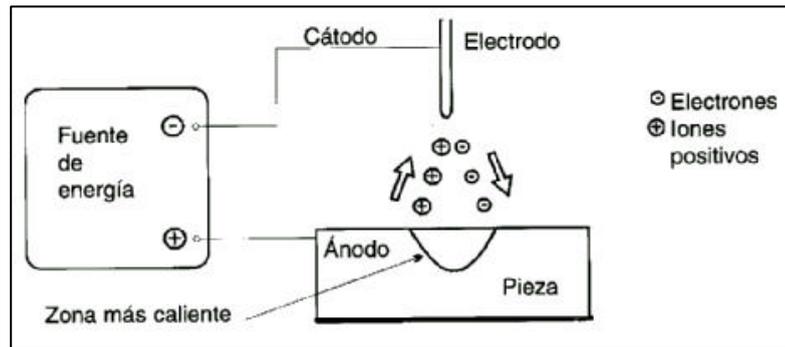


FIGURA 5.23 : CORRIENTE CONTINUA ELECTRODO NEGATIVO, (CCEP). POLARIDAD DIRECTA

c.- Efectos de la corriente alterna

Cuando se establece un arco en corriente alterna, el electrodo actúa de ánodo durante medio ciclo y de cátodo durante el otro medio ciclo (ver figura 5.24), es decir se está produciendo alternativamente un ciclo en el que el electrodo actúa de positivo y de negativo; este cambio, en Europa, se produce 100 veces por segundo y por tanto es imperceptible.

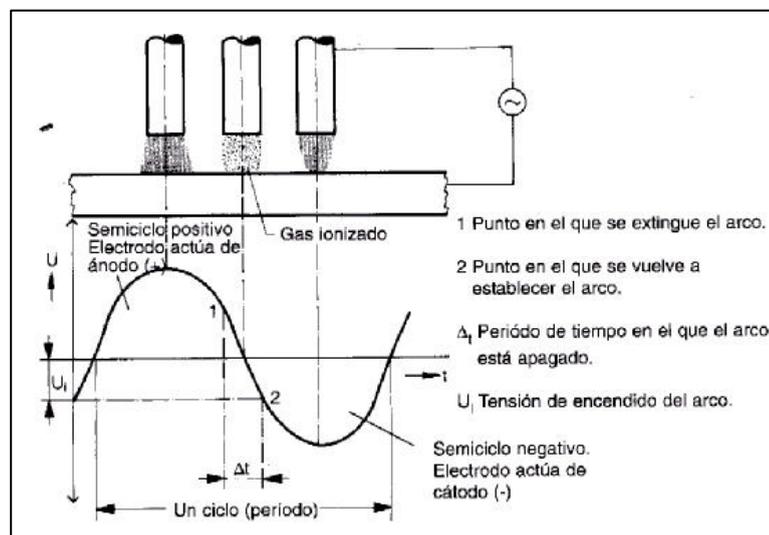


FIGURA 5.24 : EFECTO DE LA CORRIENTE ALTERNA EN EL ARCO ELECTRICO

Debido a este cambio continuo, el soldeo en corriente alterna aunque de forma reducida, tiene los efectos de las dos polaridades de la corriente continua.

Sin embargo, no siempre es fácil mantener un arco eléctrico en corriente alterna, ya que la tensión que suministra la fuente de energía está continuamente variando y

llegando incluso a anularse. Para poder mantener el arco eléctrico encendido es necesario que la tensión sea mayor de un cierto valor (U_1 en la figura 5.24), siempre que la tensión no alcance ese valor el arco se extinguirá, pudiéndose volver a encender si al superar la tensión U_1 , el cátodo no se ha enfriado demasiado, en conclusión el arco en corriente alterna es más inestable que en corriente continua.

5.1.3.4 Soplo magnético

Siempre que la corriente eléctrica circula por un conductor se produce un campo magnético circular alrededor del mismo cuando se suelda existirá un campo magnético (que se representará mediante líneas de fuerza) alrededor del camino que lleve la corriente eléctrica, es

decir, desde el punto de contacto del electrodo con la tenaza, pasando por el arco eléctrico y por la pieza a soldar hasta llegar a la conexión de masa.

El soplo magnético es la desviación del arco de soldado producido por la distorsión del campo magnético existente alrededor del arco. Su efecto se suele presentar en los extremos de las piezas que se sueldan cuando éstas son ferromagnéticas, ver figura 5.25.

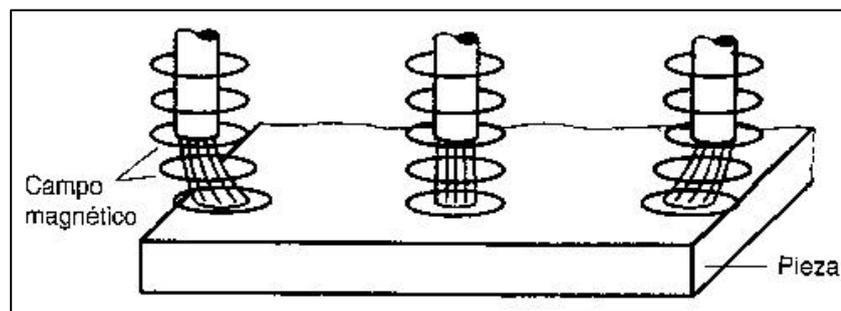


FIGURA 5.25 : SOPLO MAGNÉTICO AL SOLDAR CERCA DE LOS EXTREMOS DE UNA PIEZA FERROMAGNÉTICA

En general, la distorsión del campo se suele producir como resultado de dos factores básicos:

- El cambio de dirección de la corriente al entrar en la pieza de metal base y dirigirse hacia la masa. Las líneas de fuerza están dibujadas como círculos que rodean la corriente, ya que son creadas por esta corriente. (Ver figura 5.26)

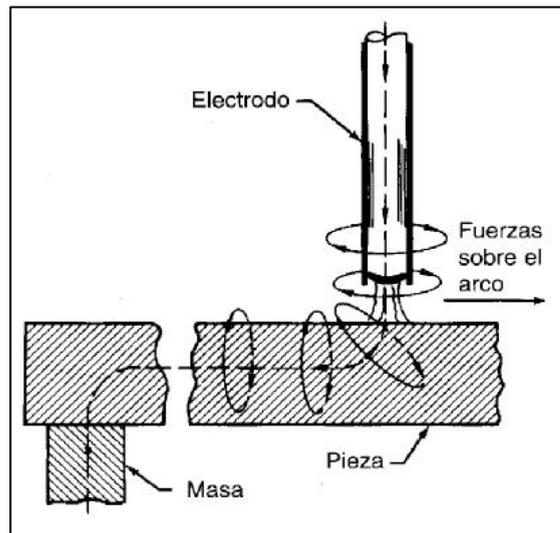


FIGURA 5.26 : CAMBIO DE DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE AL DIRIGIRSE HACIA LA CONEXIÓN DE MASA Y DISTORSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO PROVOCADO POR ESTE CAMBIO

Las líneas de fuerza del campo magnético existente, tienden a pasar por la pieza de metal base (sobre todo si ésta es ferromagnética) antes que por el aire, pues es más fácil para ellas ese camino. Por este motivo, las líneas de fuerza se juntarán en las proximidades de los bordes de la chapa (ver figura 5.27).

Tanto en un caso como en otro, las líneas de fuerza se juntan en una determinada zona; en la figura 5.26 se juntan sobre la curva donde la corriente cambia de dirección y en la figura 5.27 se juntan en el borde de la chapa. Que las líneas de fuerza estén muy juntas, significa que el campo magnético en esa zona es mucho más fuerte que en la zona donde las líneas de fuerza están más separadas.

El arco va a estar sometido a una fuerza, debido a estas distorsiones en el campo magnético. Esta fuerza va a tender siempre a dirigir el arco hacia el camino más fácil, es

decir, hacia donde el campo magnético sea menos fuerte. Esta fuerza es la que provoca la desviación del arco, es decir, es la causa del soplo magnético.

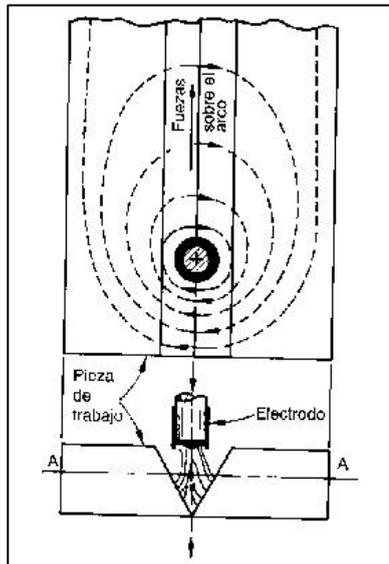


FIGURA 5.27 : DISTRIBUCIÓN DE LAS LÍNEAS DE FUERZA EN LAS PROXIMIDADES DE UN EXTREMO DE LA CHAPA BASE

Las razones más comunes por las que se produce el soplo del arco son:

- Al soldar cerca de los extremos de las piezas (ver figura 5.25).
- Al soldar cerca de la conexión de masa.
- Al soldar cerca de grandes piezas ferromagnéticas.

Con corriente alterna no hay soplo magnético, porque se neutralizan los efectos magnéticos debido al continuo y rápido cambio de dirección de la corriente.

En general, para disminuir el soplo magnético deberemos:

- Colocar la masa tan lejos como sea posible de las piezas que van a soldarse.
- Reducir la corriente de soldeo todo lo posible.
- Utilizar una longitud de arco corta.
- Posicionar el ángulo del electrodo en dirección opuesta al soplo magnético, de forma que la misma fuerza del arco lo contrarreste.
- Emplear una secuencia de soldeo de paso de peregrino.
- Colocar apéndices en los extremos de la unión.
- Utilizar corriente alterna.

5.1.3.5 Características del arco

El arco eléctrico se puede considerar como un conductor gaseoso por tanto existirá una relación entre su intensidad de corriente y su diferencia de potencial, esta relación no es tan sencilla como la ley de Ohm. La relación existente entre el voltaje y la intensidad del arco se denomina “característica del arco” y se representa en la figura 5.28.

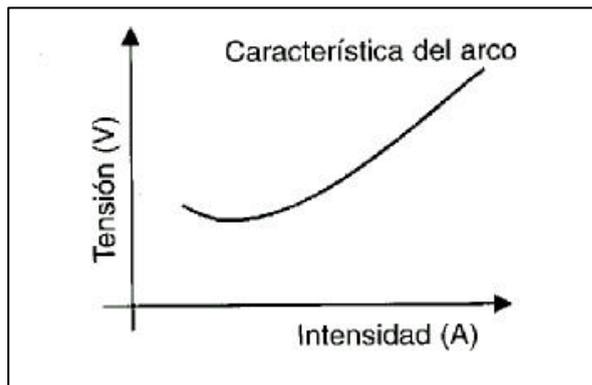


FIGURA 5.28 : CURVA CARACTERÍSTICA DEL ARCO

La curva característica depende, entre otras cosas, del tamaño y naturaleza del cátodo y del ánodo, la naturaleza del gas de protección o del recubrimiento del electrodo y la longitud del arco.

En la figura 5.29, se puede ver las curvas para cuatro longitudes de arco diferentes. A partir de esta figura se observa que para una misma intensidad, la tensión aumenta con la longitud del arco.

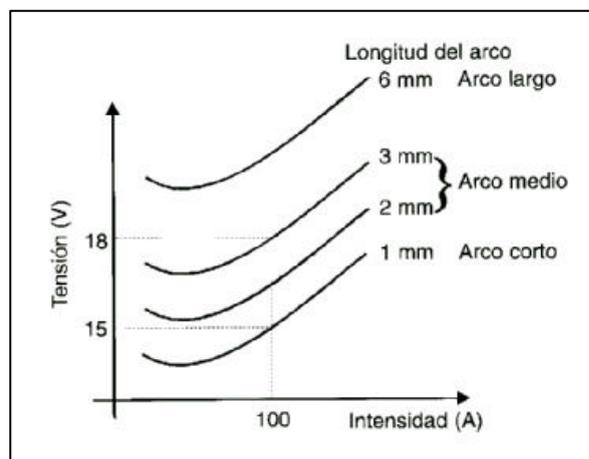


FIGURA 5.29 : CARACTERÍSTICAS DEL ARCO PARA DIFERENTES LONGITUDES DE ARCO

5.1.4 Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)

5.1.4.1 Descripción

El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente solidifica (ver figura 5.30)

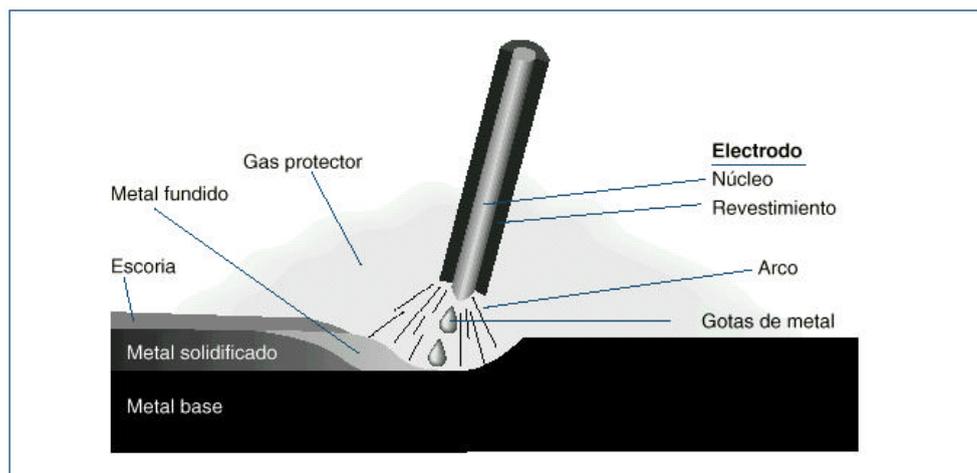


FIGURA 5.30 : DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SMAW

5.1.4.2 Ventajas y limitaciones

La soldadura por arco con electrodo revestido es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras cortas en trabajos de producción, mantenimiento, reparación y para construcción en el campo; presentando las siguientes ventajas y limitaciones:

Ventajas

1. El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger dicho metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura.
2. No se requiere protección con gas auxiliar ni un fúndente granular.
3. El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura por arco protegidos con gas.
4. Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.

Limitaciones

1. Es un proceso lento por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
2. Requiere gran destreza por parte del soldador (soldadores homologados)
3. La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como FCAW o GMAW. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima de 5cm aprox. Cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla de electrodo no consumido e insertar un nuevo electrodo.

El ciclo de trabajo del operador y las tasas de deposición globales para los electrodos cubiertos suelen ser menores que los alcanzables con un proceso de electrodo continuo como FCAW. Esto se debe a que los electrodos sólo pueden consumirse hasta una cierta longitud mínima.

Además, casi siempre debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene, y antes de depositar una franja de soldadura junto a otra previamente depositada.

5.1.4.3 Aplicaciones

El proceso SMAW puede servir para unir la mayor parte de los metales y aleaciones comunes. La lista incluye los aceros al carbono, los de baja aleación, los aceros inoxidable y el hierro colado, así como cobre, níquel y aluminio y sus aleaciones.

El soldeo por arco por electrodo revestido es un de los procesos de mayor utilización especialmente en soldadura de producción cortas, trabajos de mantenimiento y reparación, así como en construcciones en campo.

La mayor parte de aplicaciones del soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendido entre 3 y 38 mm.

Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de estructuras, de maquinas, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderas, refinерías de petróleo, oleoducto y gasoducto y en cualquier otro tipo de trabajo similar.

Se puede emplear en combinación con otros procesos de soldeo, revisando bien la pasada de raíz o las de relleno, en tuberías se suele emplear en combinación con el proceso GTAW. La raíz con GTAW completándose la unión mediante soldeo SMAW.

Protección del arco

La acción de protección del arco, ilustrada en la figura 5.30, es en esencia la misma para todos los electrodos, pero el método específico de protección y el volumen de escoria producido varían de un tipo a otro. El grueso de los materiales de cobertura de algunos electrodos se convierte en gas por el calor del arco, y sólo se produce una pequeña cantidad de escoria. Los electrodos de este tipo dependen en buena medida de un escudo gaseoso para evitar la contaminación por parte de la atmósfera.

La escoria se solidifica después de hacerlo el metal de soldadura. Las soldaduras hechas con estos electrodos se identifican por los gruesos depósitos de escoria que cubren por completo las franjas de soldadura.

Las variaciones en la proporción de protección por escoria y por gas también influyen en las características de soldadura de los electrodos cubiertos. Los electrodos que producen mucha escoria pueden transportar un amperaje elevado y ofrecen altas tasas de deposición, lo que los hace ideales para soldar piezas gruesas en la posición plana. Los electrodos que producen poca escoria se usan con amperajes menores y ofrecen tasas de deposición más bajas. Estos electrodos producen un charco de soldadura más chico y son apropiados para soldar en cualquier posición. Por las diferencias en las características de soldadura, un tipo de electrodo cubierto será por lo regular el más adecuado para una aplicación dada.

5.1.4.4 Selección del tipo de corriente

El soldeo por arco con electrodos revestidos se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá de la fuente, del electrodo y del material base. En la tabla 5.18 se indica la corriente mas adecuada en función de una serie de parámetros.

En cuanto a la polaridad utilizada con corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado sin embargo sabemos que se obtiene mayor penetración con polaridad directa (ver figura 5.31).

TABLA 5.18 : Comparación entre corriente continua y corriente alterna

Parámetros	Corriente Continua	Corriente alterna
Soldeo a gran distancia de la fuente de energía.		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeños diámetro que requiere bajas intensidades de soldeo.	La operación resulta mas fácil.	Si no se actúa con gran precaución se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco.
Cebado del arco	Resultado mas fácil	Mas difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeños diámetros.
Mantenimiento de arco	Mas fácil por la mayor estabilidad.	Mas difícil, excepto cuando se emplean electrodos con gran rendimiento.
Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.	No se presentan problemas
Posición de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones verticales y bajo techo porque deben utilizarse intensidades bajas	Si se utiliza los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición.
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que reestablezcan el arco
Espesor de la pieza	Se prefiere para espesores delgados	Se prefiere para espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos

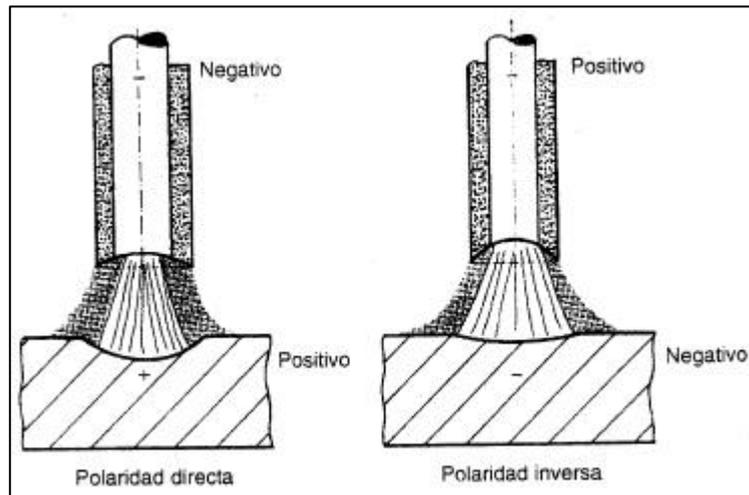


FIGURA 5.31 : PENETRACIÓN OBTENIDA EN FUNCION DE LA POLARIDAD

5.1.4.5 Equipo de soldeo

El equipo de soldeo es muy sencillo (ver figura 5.32), consiste en la fuente de energía, del porta electrodo la conexión de mas y los cables de soldeo.

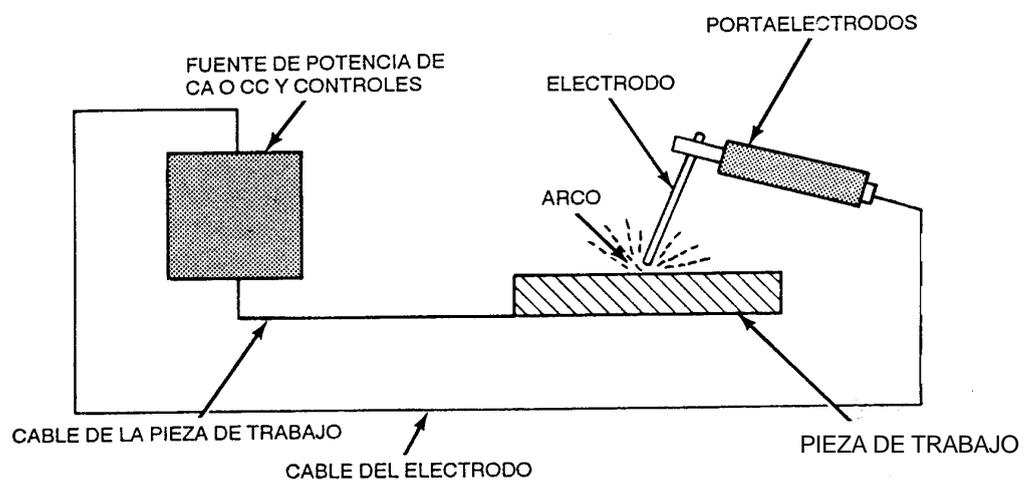


FIGURA 5.32 : LA SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO REVISTIDO, ELEMENTO DE CIRCUITO TIPICO

a) Metal base

Para nuestro caso el material base son los tubos suministrados por el cliente que corresponde a la especificación API 5L:

- Tuberías de acero con costura longitudinal ERW (para tubos de 20 pulg).

- Norma: API 5L
- Grado: X56 PSL2
- Diámetro exterior 20"
- Espesor de pared del tubo 11.13 (para tubos de 20 pulg).
- Longitud Nominal : 12m
- Superficie externa : Polietileno tricapa
- Extremos: Biselados a 30° API 5L
- Para el proyecto también se emplean tuberías sin costura de 10³/₄ ", 6 ", 4¹/₂ y 3¹/₂ de diámetro.

En la tabla 5.19 se puede verificar que el la tubería es un material de 0.28% de carbono y esto significa que es un material de mediano contenido de carbono (0.15 al 0.29%C), por lo tanto pueden soldarse con gran facilidad.

En la tabla 5.20 se muestra las propiedades mecánicas donde nos señalan los rangos de resistencia a la tracción a los cuales pueden soportar.

TABLA 5.19 : Requerimientos químicos

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)	(6)
Grade & Class	Carbono Maximo	Manganeso Maximo	Minimo	Maximo	azufre Maximo	otros
Sin costura						
A25, CI I	0.21	0.60		0.030	0.030	
A25, CI II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	
A	0.22	0.90		0.030	0.030	
B	0.28	1.20		0.030	0.030	b,d
X42	0.28	1.30		0.030	0.030	c,d
X46, X52, X56	0.28	1.40		0.030	0.030	c,d
X60, X65, X70	0.28	1.40		0.030	0.030	c,d
Con costura						
A25, CI I	0.21	0.60		0.030	0.030	
A25, CI II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030	
A	0.22	0.90		0.030	0.030	
B	0.26	1.20		0.030	0.030	b,d
X42	0.26	1.30		0.030	0.030	c,d
X46, X52, X56	0.26	1.40		0.030	0.030	c,d
X60	0.26	1.40		0.030	0.030	c,d
X65	0.26	1.45		0.030	0.030	c,d
X70	0.26	1.65		0.030	0.030	c,d

TABLA 5.20 : Requerimiento de tracción para PSL 2

(1)	(2)		(3)		(4)		(5)		(6)
Grado	Resistencia		Resistencia		Resistencia la tracción		Resistencia la tracción		Elongación (50.8 mm) Min. Porcentaje
	Mínima		Máxima		Mínima		Máxima		
	psi	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	
B	35000	(241)	65000	(448)	60000	(414)	110000	(758)	a
X42	42000	(290)	72000	(496)	60000	(414)	110000	(758)	a
X46	46000	(317)	76000	(524)	63000	(434)	110000	(758)	a
X52	52000	(359)	77000	(531)	66000	(455)	110000	(758)	a
X56	56000	(386)	79000	(544)	71000	(490)	110000	(758)	a
X60	60000	(414)	82000	(565)	75000	(517)	110000	(758)	a
X65	65000	(448)	87000	(600)	77000	(531)	110000	(758)	a
X70	70000	(483)	90000	(621)	82000	(565)	110000	(758)	a
X80	80000	(552)	100000	(690)	90000	(621)	120000	(827)	a

b) Electrodo revestido

El elemento fundamental de este proceso es el electrodo que establece el arco, protege el baño de fusión y al consumirse produce la aportación del material que unido al material fundido del metal base, va constituir la soldadura.

Los electrodos revestido están formados por:

- Un alambre de sección circular uniforme denominado alma, de composición normalmente similar a la del metal base.
- El revestimiento es un cilindro que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumplen varias funciones, las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo.

Los electrodos cubiertos se clasifican de acuerdo con los requisitos de especificaciones emitidas por la American Welding Society (AWS). Los números de especificación de la AWS y las clasificaciones de electrodos correspondientes se dan en la tabla 5.21. Los electrodos se clasifican con base en la composición química o en las propiedades mecánicas, o ambas cosas, de su metal de soldadura sin diluir. Los electrodos de acero al carbono, acero de baja aleación y acero inoxidable también se clasifican de acuerdo con el tipo de corriente de soldadura con la que trabajan mejor, y en ocasiones de acuerdo con las posiciones de soldadura en las que pueden emplearse.

TABLA 5.21 : especificaciones de la AWS para electrodos cubiertos

Tipo de electrodo	Especificación de la AWS
Acero al carbono	A5.1
Acero de baja aleación	A5.5
Acero resistente a la corrosión	A5.4
Hierro colado	A5.15
Aluminio y aleaciones de aluminio	A5.3
Cobre y aleaciones de cobre	A5.6
Níquel y aleaciones de níquel	A5.11
Recubrimiento	A5.13 y A5.21

c) Electrodos de acero al carbono

En ANSI/AWS A5.1, Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura por arco, se usa un sencillo sistema de numeración para clasificar los electrodos. En E6010, por ejemplo, la E designa a un electrodo. Los dos primeros dígitos (60) indican la resistencia a la tensión mínima del metal de soldadura sin diluir en kpsi, en la condición “recién soldada”. El tercer dígito representa la posición de soldadura (en este caso, el 1 se refiere a todas las posiciones). El último dígito se refiere al tipo de cobertura y al tipo de corriente con la que puede usarse el electrodo.

Los electrodos de acero al carbono tienen dos niveles de resistencia mecánica: la serie 60 y la serie 70. La resistencia a la tensión mínima permisible para el metal de soldadura de la serie 60 es de 62 kpsi (427 MPa), aunque un alargamiento adicional puede permitir que algunos de éstos bajen hasta 60 ksi (414 MPa). Para la serie 70, es 72 ksi (496 MPa) y, una vez más, algunos de éstos pueden bajar hasta 70 ksi (483 MPa) con alargamiento adicional. En cuanto a la composición química, los límites superiores para los elementos significativos se dan dentro de las especificaciones AWS aplicables a la mayor parte de las clasificaciones de electrodos. Para algunos electrodos de ambas series se dan los requisitos

de prueba de impacto Charpy con muesca en V.

Varios electrodos de la serie 70 son del tipo de bajo hidrógeno. Sus recubrimientos tienen ingredientes con bajo contenido de humedad y de celulosa y, por tanto, de hidrógeno. El hidrógeno produce la baja ductilidad y el agrietamiento de la franja inferior que en ocasiones se observan en soldaduras muy restringidas. Por esta razón, los electrodos de bajo hidrógeno se usan para soldar aceros endurecibles; también se usan para soldar aceros de bajo azufre y para aportar metal de soldadura con buena tenacidad de muesca a baja temperatura.

Para nuestro proyecto se esta soldado con electrodos suministrados por Lincoln. Para la selección del metal de aporte se ha verificado mediante END, el comportamiento el metal base depositado con el material de la tuberías que se empleará en el gasoducto. Después de muchas pruebas para calificar el procedimiento de soldadura y ensayos de validación (destruictivos y no destruictivos) de acuerdo al estándar API 1104-99, se llevo a la conclusión que el electrodo E6010 y E8010-G son los que cumplen con los requerimientos y los resultados de las pruebas que obliga realiza el APUI 1104 salió aceptable. Todos estos ensayos e inspecciones se plasma en la calificación del procedimiento de soldadura.

El electrodo E6010, se emplea en la raíz y tiene las características y propiedades que se indican en las siguientes tablas:

Propiedades mecánicas

Esfuerzo de fluencia (psi)	Esfuerzo de tracción (psi)	Elongación en 2"	Charpy (-29°C) (ft-lbs)
57000 - 76000	72900 - 86200	24 – 33	38 – 63

Análisis de metal depositado

%C	%Mn	%Si	%S	%P
0.10 – 0.20	0.40 – 0.65	0.11 – 0.30	0.009 – 0.020	0.005 – 0.025

5.1.4.6 Conservación y manipulación de los electrodos

El revestimiento del electrodo es muy frágil, si se emplea electrodos con el revestimiento agrietado, o desprendido, la protección del baño de fusión no será perfecta, además disminuirá la estabilidad del arco; por tanto se deben transportar y almacenar en recipientes suficientemente resistentes evitando cualquier golpe en su manipulación. No se deben utilizar los electrodos que presenten algún defecto en su revestimiento.

Nunca se deberá transportar un numero de electrodos mayor que el que se considere va ser necesario para una tarea determinada. Manipular los electrodos con guantes limpios y secos. No exponer los electrodos a ambiente excesivamente húmedos ni depositarlos sobre superficies manchadas de grasa, polvo, pintura o suciedad.

La especificación no fija un límite para el contenido de humedad de estos electrodos, pero se recomienda que sea menor que el 0.6%. Para controlar la humedad es necesario un almacenamiento y manejo correcto; las condiciones de almacenamiento y cocimiento típicas se dan en ANSI/AWS A5.1.

La especificación A5.5 fija límites para el contenido de humedad de los electrodos de bajo hidrógeno empacados en recipientes sellados herméticamente. Estos límites van desde 0.2 hasta 0.6% en peso, dependiendo de la clasificación del electrodo. Cuanto mayor sea el nivel de resistencia mecánica, más bajo será el límite del contenido de humedad. Esto es porque la humedad es una fuente primaria de hidrógeno, y el hidrógeno puede producir agrietamiento en la mayor parte de los aceros de baja aleación si no se emplea precalentamiento a temperatura elevada y ciclos de enfriamiento largos y lentos. Cuanto mayor sea la resistencia mecánica de la soldadura y del metal base, mayor será la necesidad de niveles bajos de humedad para evitar el agrietamiento. La exposición a entornos húmedos (70% de humedad relativa o más) puede elevar el contenido de humedad del electrodo en unas cuantas horas.

5.1.4.7 Parámetros de soldeo

a) Diámetro del electrodo

El diámetro de electrodo correcto es aquel que, usado con el amperaje y velocidad de desplazamiento correctos, produce una soldadura del tamaño requerido en el tiempo más corto posible.

El diámetro que se escoja dependerá en gran medida del espesor del material por soldar, la posición en la que se efectuará la soldadura y el tipo de unión. En general se escogerán electrodos más grandes para aplicaciones que impliquen materiales más gruesos y para soldar en la posición plana, a fin de aprovechar sus mayores tasas de deposición.

Al seleccionar el tamaño del electrodo también debe considerarse el diseño del surco de la unión. El electrodo empleado en las primeras pasadas debe ser lo bastante pequeño como para que pueda manipularse con facilidad en la raíz de la unión. En los surcos en "V", es frecuente usar electrodos de diámetro pequeño para la pasada inicial, a fin de evitar la perforación y controlar la forma de la franja. Luego pueden usarse electrodos más grandes para completar la soldadura, aprovechando su mayor penetración y altas tasas de deposición.

b) Amperaje

La rapidez de deposición aumenta con el amperaje. Para un electrodo de cierto tamaño, los intervalos de amperaje y las tasas de deposición resultantes varían dependiendo de la clasificación del electrodo.

Para un tipo y tamaño de electrodo específicos, el amperaje óptimo depende de varios factores como la posición de soldadura y el tipo de unión. El amperaje debe ser suficiente para obtener una buena fusión y penetración sin perder el control del charco de soldadura.

Al soldar en posición vertical o cenital, lo más probable es que los amperajes óptimos estén en la región baja del intervalo permitido.

No conviene usar amperajes que rebasen el intervalo recomendado, ya que el electrodo puede sobrecalentarse y causar demasiadas salpicaduras, golpe del arco, socavamiento y agrietamiento del metal de soldadura. En las figuras 5.33(A), (B) y (C) se muestra el efecto del amperaje sobre la forma de la franja de soldadura

A B C D E F G

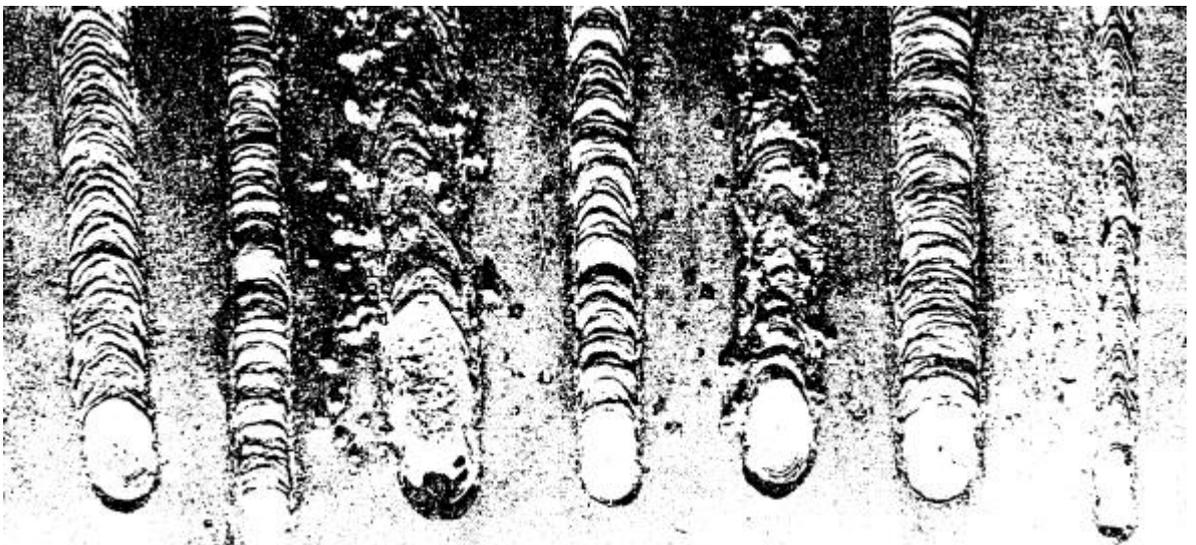


FIGURA 5.33 : Efectos del amperaje, la longitud del arco y la velocidad de avance al soldador: (A) amperaje. Longitud de arco y velocidad de avance correctos; (B) amperaje demasiado bajo ; (C) amperaje demasiado alto; (D) arco demasiado corto; (E) arco demasiado largo; (F) velocidad de avance demasiado lenta; (G) velocidad de recorrido excesiva

c) Longitud del arco

La longitud del arco es la distancia entre la punta derretida del núcleo del electrodo y la superficie del charco de soldadura. Es importante usar un arco con la longitud apropiada para obtener una soldadura de buena calidad. La transferencia de metal desde la punta del electrodo hasta el charco de soldadura no es una acción suave y uniforme. El voltaje instantáneo del arco varía al transferirse gotitas de metal fundido a través del arco, incluso cuando la longitud de éste se mantiene constante. No obstante, las variaciones en el voltaje

serán mínimas si se suelda con el amperaje y la longitud de arco correctos. Para lo segundo se requiere una alimentación del electrodo constante y consistente.

La longitud de arco correcta varía con la clasificación del electrodo, su diámetro y la composición de su cobertura; así mismo varía con el amperaje y la posición de soldadura. La longitud del arco aumenta al incrementarse el diámetro del electrodo y el amperaje. Por regla general, la longitud del arco no debe exceder el diámetro del alambre del núcleo del electrodo, aunque suele ser aún más corta en el caso de electrodos con cobertura gruesa, como los de hierro en polvo o de "arrastre".

Si el arco es demasiado corto, puede ser irregular y entrar en cortocircuito durante la transferencia de metal. Por otro lado, si el arco es demasiado largo, carecerá de dirección e intensidad, y tenderá a dispersar el metal fundido que viaja desde el electrodo hasta la soldadura. Las salpicaduras pueden ser considerables, y la eficiencia de deposición se reducirá. Además, el gas y el fundente generados por la cobertura del electrodo no serán tan eficaces para proteger el arco y el metal de soldadura; esto puede causar porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno o hidrógeno, o con ambos.

El control de la longitud del arco es en gran medida cuestión de habilidad del soldador, e implica conocimientos, experiencia percepción visual y destreza manual. Aunque la longitud del arco varía dentro de ciertos límites al cambiar las condiciones, hay algunos principios fundamentales que pueden servir como guía para determinar la longitud del arco correcta para un conjunto de condiciones determinado.

Si hay golpe del arco, la longitud del arco deberá reducirse hasta donde sea posible. Las diversas clasificaciones de electrodos tienen características de operación muy distintas, incluida la longitud del arco. Por ello, es importante que el soldador esté familiarizado con las características de operación de los tipos de electrodos que usa; así sabrá cuál es la longitud de arco correcta y qué efectos tienen las diferentes longitudes del arco. En las

figuras 5.33 (D) y (E) se muestran los efectos de un arco corto y largo sobre el aspecto de la franja de soldadura cuando se usa un electrodo de acero dulce.

d) Velocidad de avance

La velocidad de avance o de desplazamiento es la rapidez con que el electrodo se desplaza a lo largo de la unión. La velocidad de avance correcta es aquella que produce una franja de soldadura con el perfil y el aspecto correcto, como se muestra en la figura 5.33 (A). Son varios los factores que determinan cuál debe ser la velocidad correcta:

1. Tipo de corriente de soldadura, amperaje y polaridad.
2. Posición de soldadura.
3. Rapidez de fusión del electrodo.
4. Espesor del material.
5. Condición de la superficie del metal base.
6. Tipo de unión.
7. Alineamiento de tuberías.
8. Manipulación del electrodo.

Al soldar, la velocidad de avance debe ajustarse de modo que el arco vaya un poco adelante del charco de soldadura. Hasta cierto punto, un aumento en la velocidad de avance reduce el ancho de la franja de soldadura y aumenta la penetración. Más allá de ese punto, el incremento en la velocidad de avance puede reducir la penetración, causar un deterioro de la superficie de la franja y producir un socavamiento en los bordes de la soldadura, dificultar la eliminación de la escoria y atrapar gas (porosidad) en el metal de soldadura. El efecto de una velocidad de avance alta se muestra en la figura 5.33 (G). Si la velocidad de avance es baja, la franja de soldadura será ancha y convexa, con poca penetración, como se ilustra en la figura 5.33 (F). La falta de penetración se debe a que el arco se queda en el charco de soldadura en vez de adelantarse a él y concentrarse en el metal base.

La velocidad de avance también influye en el aporte de calor, y por tanto afecta las estructuras metalúrgicas del metal de soldadura y de la zona térmicamente afectada. Si la velocidad de avance es baja, se incrementa el aporte de calor y en consecuencia la anchura de la zona térmicamente afectada, y se reduce la rapidez de enfriamiento de la soldadura. La velocidad de avance hacia adelante necesariamente se reduce cuando se aplica una franja “tejida” (con un movimiento zigzagueante del electrodo), en comparación con las velocidades que pueden lograrse aplicando una franja recta. Un aumento en la velocidad de avance reduce el tamaño de la zona afectada por el calor y eleva la rapidez de enfriamiento de la soldadura. El aumento en la tasa de enfriamiento puede elevar la resistencia mecánica y la dureza de una soldadura en un acero endurecible, a menos que se precaliente hasta un nivel tal que se evite el endurecimiento.

e) Orientación del electrodo

La orientación del electrodo con respecto al trabajo y al surco de soldadura es importante para la calidad de la soldadura. Una orientación incorrecta puede causar atrapamiento de escoria, porosidad y socavamiento. La orientación adecuada depende del tipo y tamaño del electrodo, la posición de soldadura y la geometría de la unión. Un soldador experimentado toma en cuenta todos estos factores automáticamente al determinar la orientación que usará para una unión específica. Se emplea el ángulo de desplazamiento y el ángulo de trabajo para definir la orientación del electrodo:

- El ángulo de desplazamiento es el ángulo menor que 90° entre el eje del electrodo y una línea perpendicular al eje de soldadura, en un plano determinado por el eje del electrodo y el eje de soldadura.
- El ángulo de trabajo es el ángulo menor que 90° entre una línea perpendicular a la superficie principal de la pieza de trabajo y un plano determinado por el eje del electrodo y el eje de soldadura.

Si el electrodo apunta hacia la dirección de soldadura, se está usando la técnica de derecha, y en tal caso el ángulo de desplazamiento se denomina ángulo de empuje. En la técnica de dorso el electrodo apunta en dirección opuesta a la de soldadura, y el ángulo de

desplazamiento es el ángulo de arrastre. Estos ángulos se muestran en la figura 5.34.

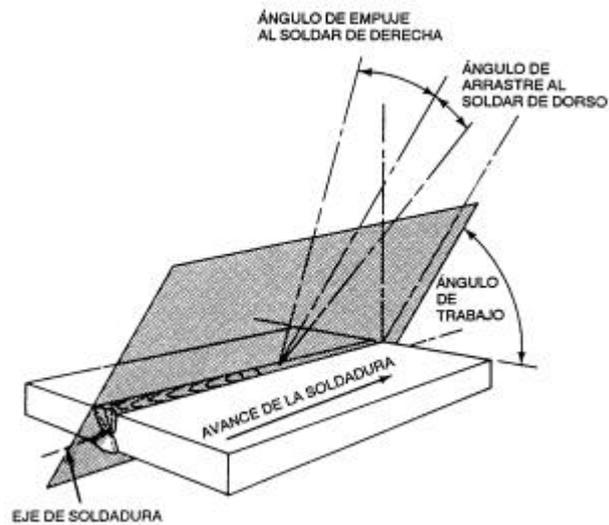


FIGURA 5.34 : ORIENTACIÓN DEL ELECTRODO PARA UNA JUNTA A TOPE

f) Eliminación de escoria

La minuciosidad con que se elimina la escoria de cada franja de soldadura antes de soldar sobre ella influye directamente en la calidad de las soldaduras de múltiples pasadas. Si no se limpia exhaustivamente cada franja, aumenta la probabilidad de atrapar escoria y, por tanto, de producir una soldadura defectuosa. Para la eliminación completa y eficiente de la escoria es necesario que cada franja tenga el perfil apropiado y que se funda en forma continua con la franja o el metal base adyacente.

Las franjas pequeñas se enfrían con mayor rapidez que las grandes, lo que facilita la eliminación de escoria de las franjas pequeñas. Las franjas cóncavas o planas cuyos bordes se confunden con el metal base o la franja adyacente, si la hay, minimizan el socavamiento e impiden que se forme una muesca aguda en el borde de la franja donde podría pegarse la escoria. Por último, es vital que el soldador pueda reconocer las áreas donde podría quedar atrapada la escoria.

5.1.4.8 Calidad de la soldadura

La unión soldada debe tener las cualidades necesarias para desempeñar su función esperada en servicio. Para ello, la unión ha de poseer las propiedades físicas y mecánicas requeridas, y para esto pueden ser necesarias cierta micro estructura y composición química. También son importantes el tamaño y la forma de la soldadura, así como la integridad de la unión. Tal vez se necesite resistencia a la corrosión. En todos estos aspectos influyen los materiales base, los materiales de soldadura y la manera de soldar.

La soldadura por arco con electrodo revestido es un proceso manual, y la calidad de la unión depende de la habilidad del soldador que la produce. Por esta razón, es preciso seleccionar con cuidado los materiales que se usarán, el soldador debe ser apto, y el procedimiento que use debe ser el correcto.

Las uniones soldadas, por su naturaleza, contienen discontinuidades de diversos tipos y tamaños. Por debajo de cierto nivel aceptable, éstas no se consideran perjudiciales. Por encima de ese nivel, se consideran defectos. El nivel de aceptación puede variar con la severidad de las condiciones de servicio, pero lo más común es que se base en requisitos de los contratos de fabricación, en un código o especificación determinada.

En soldaduras hechas con el proceso SMAW a veces se encuentran las siguientes discontinuidades:

1. Porosidad.
2. Inclusiones de escoria.
3. Fusión incompleta.
4. Socavamiento.
5. Grietas.

5.1.5 Proceso de soldadura GTAW

5.1.5.1 Descripción y denominaciones

En nuestros días, las exigencias tecnológicas en cuanto a calidad y confiabilidad de las uniones soldadas, obligan a adoptar nuevos sistemas, destacándose entre ellos la soldadura al Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa (GTAW). El procedimiento del soldeo GTAW, es un sistema de soldadura de arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte. Se utiliza un gas de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, para eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presentes en la atmósfera. Como gas protector se puede emplear Argón o Helio, o una mezcla de ambos.

La característica más importante que ofrece este sistema es entregar alta calidad de soldadura en todos los metales, incluyendo aquellos difíciles de soldar, como también para soldar metales de espesores delgados y para depositar cordones de raíz en unión de tuberías. Las soldaduras hechas con proceso GTAW son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales. Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, se hace necesario utilizar el proceso GTAW (fig. 5.35) para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso.

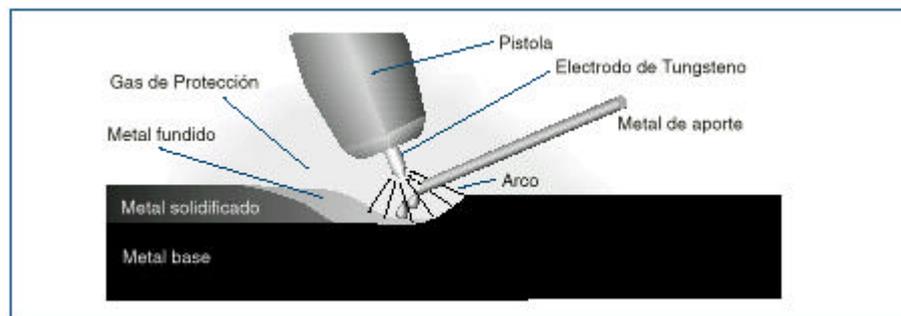


FIGURA 5.35 : DESCRIPCIÓN DEL PROCESO GTAW

5.1.5.2 Ventajas y limitaciones

Ventajas

- Proceso adecuado para unir la mayoría de los metales.
- Arco estable y concentrado.
- Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas en intercambiadores de calor.
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco
- No se produce escoria.
- Produce soldaduras lisas y regulares.
- Se puede utilizar con o sin metal de aporte, en función de la aplicación.
- Puede emplearse en todo tipo de uniones y posiciones.
- Alta velocidad de soldeo en espesores por debajo de 3 - 4 mm.
- Se pueden conseguir soldaduras de gran calidad.
- Permite un control excelente de la penetración en la pasada de raíz.
- No requiere el empleo de fuente de energía excesivamente caras.
- Permite el control independiente de la fuente de energía y del metal de aportación.

Limitaciones

- La tasa de deposición es menor que la que se puede conseguir con otros procesos de soldeo por arco
- Su aplicación manual exige, en general que el soldador sea homologado.
- No resulta económico para espesores mayores de 10mm.
- En presencia de corriente de aire puede resultar difícil conseguir una protección adecuada de la zona de soldadura.

5.1.5.3 Aplicaciones del soldeo GTAW

- Este sistema puede ser aplicado casi a cualquier tipo de metal, como: Aluminio, Acero inoxidable, Acero al Carbono, Hierro Fundido, Cobre, Níquel, Magnesio, etc.
- Es especialmente apto para unión de metales de espesores delgados, desde 0,5 mm, debido al control preciso del calor del arco y la facilidad de aplicación con o sin metal de aporte. Ej.: tuberías, estanques, etc.
- Para soldadura de tuberías, es ventajosa la combinación:
 - Cordón de raíz : GTAW
 - Resto de pases : MIG o Arco manual

5.1.5.4 Selección del tipo de corriente

El proceso GTAW puede utilizarse tanto con corriente continua como con corriente alterna. La elección de la clase de corriente y polaridad se hará en función del material a soldar. Con el fin de realizar esta elección correctamente, se va a destacar algunos aspectos diferenciales de ambas alternativas.

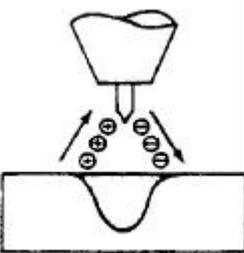
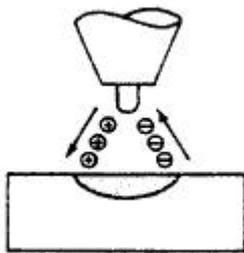
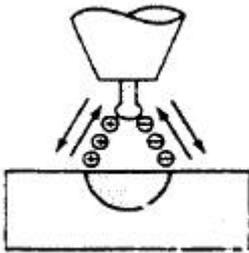
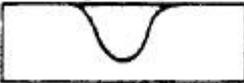
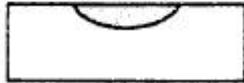
En la tabla 5.22 se han resumido los efectos de la polaridad cuando se suelda con corriente continua y los efectos del soldeo con corriente alterna.

Arco con corriente continua

La polaridad recomendada en corriente continua es la directa, ya que si se suelda con polaridad inversa se tienen que utilizar intensidades tan bajas para que no se sobrecaliente el electrodo

que resulta impracticable el soldar.

TABLA 5.22 : Características del soldeo de acuerdo con la corriente seleccionada.

Tipo de corriente	Corriente continua	Corriente continua	Corriente alterna
Polaridad	Directa	Inversa	
Flujo de electrones			
Aspecto de penetración			
Acción decapantes	No	Si	Si, Una vez durante el semiciclo positivo
Balance calórico (aproximado)	70% en la pieza 30% en la punta del electrodo	30% en la pieza 70% en la punta del electrodo	50 % en la pieza 50% en la punta del electrodo
Penetración	Profunda y estrecha	Ancha y menos profunda	Media
Comportamiento del electrodo	Excelente Ej. 400 A; 3,2 mm	Pobre Ej. 30 A; 3,2 mm	Buena Ej. 225 A; 3,2 mm

Arco con corriente alterna

La corriente alterna auna, aunque reducidas, las ventajas de las dos polaridades (Ver tabla 5.22) el buen comportamiento durante el semiciclo de polaridad directa y el efecto decapante del baño durante el semiciclo de polaridad inversa, por lo que suele emplearse en el soldeo de aleaciones ligeras, tales como las de aluminio y magnesio.

Como principales inconvenientes presenta dificultades de cebado y de estabilidad del arco, lo que obliga a incorporar al equipo un generador de alta frecuencia.

5.1.5.5 Equipo de soldeo

El equipo para proceso GTAW consta básicamente de:

- Fuente de Energía
- Pistola o Porta electrodo

- Electrodo, cables de soldeo, botellas de gas inerte
- Suministro agua de enfriamiento (depende del equipo)

La pistola asegura el electrodo de tungsteno que conduce la corriente, el que está rodeado por una boquilla de cerámica que hace fluir concéntricamente el gas protector.

La pistola normalmente se refrigera por aire. Para intensidades de corriente superiores a 200 Amp. se utiliza refrigeración por agua, para evitar el recalentamiento del mango. (Figura 5.36)

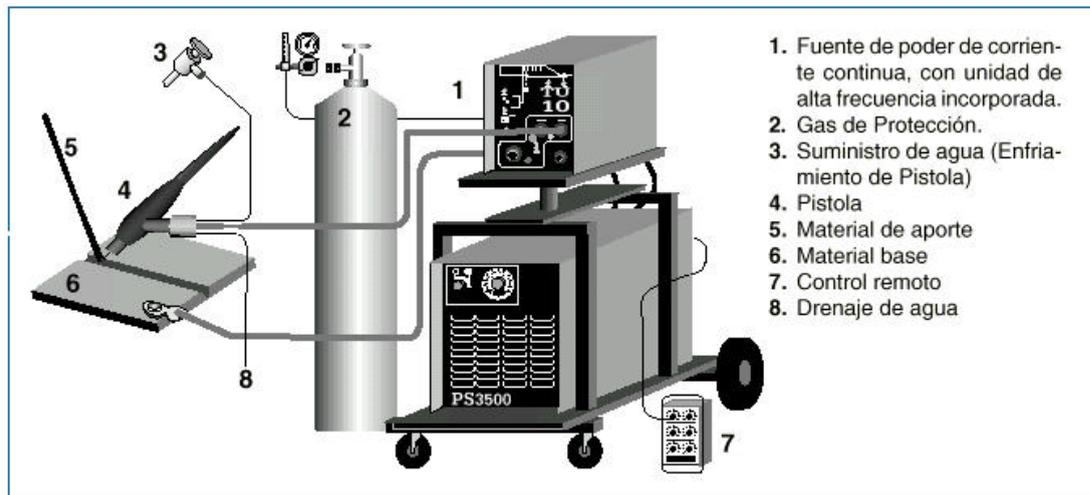


FIGURA 5.36 : DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE EQUIPO GTAW

Fuente de energía

La fuente de energía para el soldeo GTAW debe presentar una característica descendente (de intensidad constante), para que la corriente de soldeo se vea poco afectada por las variaciones en la longitud del arco.

La fuente de energía debe tener un rango de variación continua de intensidad y una intensidad mínima baja (5 - 8 Amp.). Lo último es importante para la función "disminución progresiva de intensidad o control de pendiente". Además la fuente de energía debe ser

capaz de suministrar una intensidad tan alta como sea requerida por los espesores y el material que se va a soldar.

Tipos de fuente en corriente alterna

- Transformadores con un control adicional para la unidad de alta frecuencia y la unidad de control de gas.
- Equipo de soldeo GTAW con capacidad para corriente alterna y corriente continua.

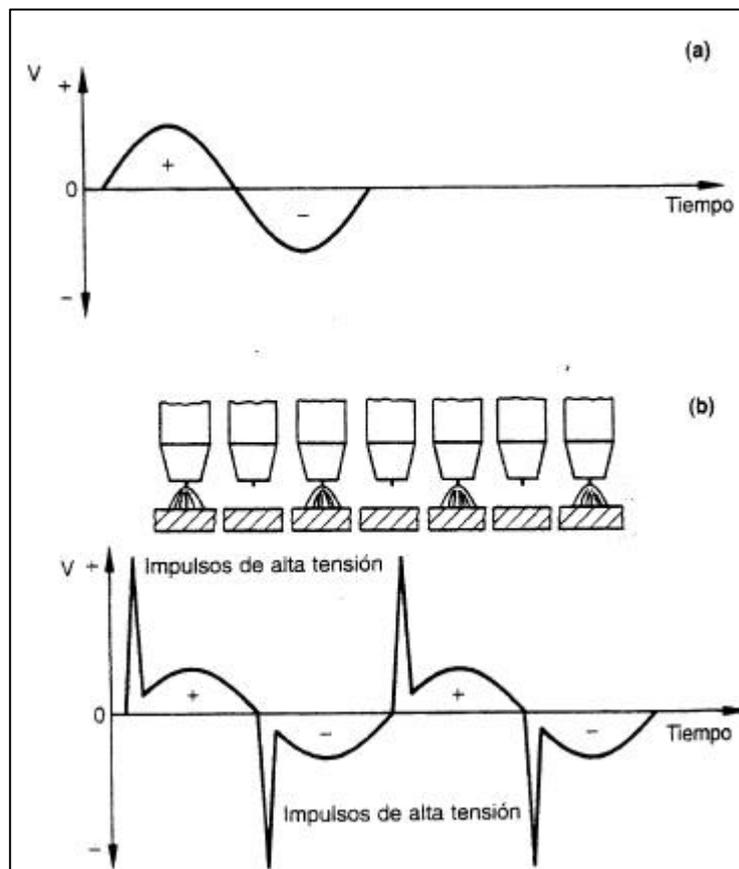


FIGURA 5.37 : (A) CORRIENTE ALTERNA; (B) CORRIENTE ALTERNA CON IMPULSOS DE ALTA FRECUENCIA

Se emplea corriente alterna para favorecer el decaído de la capa de óxido en aleaciones de aluminio y magnesio, también se utiliza para el soldeo de materiales de bajo espesor.

Las fuentes de corriente alterna convencionales utilizan una onda sinusoidal (ver figura 5.37) simplemente transformando la onda de la red para adecuar los parámetros de intensidad y tensión. El arco con corriente alterna es inestable, por lo que se utilizan diferentes medios para estabilizar el arco durante el soldeo como son: generador de impulsos de alta frecuencia, filtros capacitivos o empleo de fuentes de onda cuadrada.

Las fuentes de onda cuadrada pueden cambiar el sentido de la corriente de soldeo en muy poco tiempo, permitiendo una óptima activación de la semionda positiva y de la negativa consiguiéndose gran estabilidad. Algunas fuentes de onda cuadrada poseen un control de balance de la onda, estas fuentes ajustan el nivel de intensidad que se alcanza en la semionda positiva y en la negativa. Otras fuentes de onda cuadrada ajustan también el tiempo de cada semionda.

Tipos de fuente de energía para soldeo con corriente

- Equipos ordinarios para trabajar con electrodos revestidos en corriente continua, equipados con porta electrodos GTAW. Esta es la solución más simple pero tiene sus limitaciones, especialmente al comenzar y terminar la soldadura.
- El mismo que el anterior pero equipado con un control de gas y otras funciones necesarias.
- Rectificador especialmente preparado para el soldeo GTAW La maquina posee una unidad de control de gas, una unidad de alta frecuencia y otras funciones necesarias.

Portaelectrodo

La figura 5.38 muestra varias configuraciones de los portaelectrodos, también denominados "sopletes" en el proceso GTAW.

Tienen la misión de conducir la corriente y el gas de protección hasta la zona de soldeo. Pueden ser de refrigeración natural (por aire) o de refrigeración forzada (mediante circulación de agua, como se observa en la figura 5.39 los primeros se emplean en el soldeo de espesores finos, que no requieren grandes intensidades, y los de refrigeración forzada se recomiendan para trabajos que exijan intensidades superiores a los 150 - 200 Amperios. En estos casos la circulación de agua por el interior del portaelectrodos evita el sobrecalentamiento del mismo. A partir de 300 amperios en régimen discontinuo es necesario que también la boquilla esté refrigerada por agua.

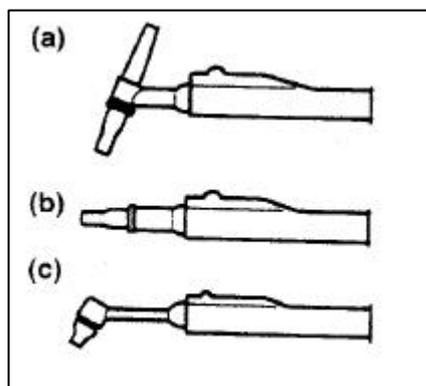


FIGURA 5.38 : CONFIGURACIONES DEL PORTAELECTRODOS GTAW (a) NORMAL; (b) RECTA; (c) CORTA

El electrodo de wolframio que transporta la corriente hasta la zona de soldeo se sujeta rígidamente mediante una pinza alojada en el cuerpo del portaelectrodos. Cada portaelectrodos dispone de un juego de pinzas, de distintos tamaños, que permiten la sujeción de electrodos de diferentes diámetros.

El gas de protección llega hasta la zona de soldeo a través de una tobera de material cerámico, sujeta en la cabeza del portaelectrodos. La tobera tiene la misión de dirigir y distribuir el gas protector sobre la zona de soldeo. A fin de acomodarse a distintas exigencias de consumo, cada portaelectrodos va equipado con un juego de toberas de diferentes diámetros.

Hay que tener en cuenta que el electrodo de wolframio debe estar perfectamente centrado dentro de la tobera para que el chorro de gas inerte proteja bien el baño de fusión y,

también, en caso de tobera de cobre, no se produzca el arco doble. esto es, que el arco salte primero entre el electrodo y la tobera y después continúe entre ésta y el metal base.

En la figura 5.39 se da un esquema de un portaelectrodo seccionado.

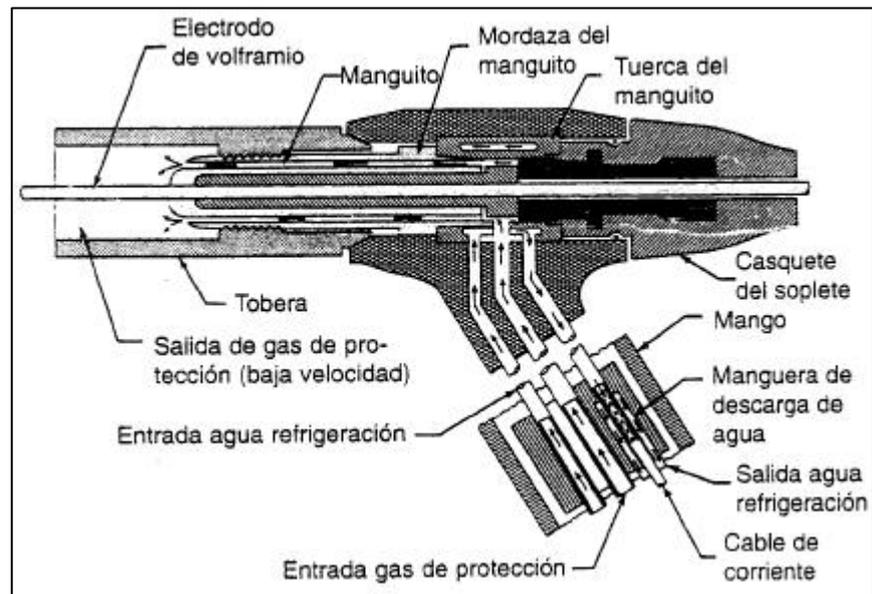


FIGURA 5.39 : PORTAELECTRODO CON REFRIGERACIÓN POR AGUA PARA GTAW

5.1.5.6 Electrodos no consumibles

La misión del electrodo en este proceso es únicamente la de mantener el arco sin aportar material al baño de fusión. Por este motivo y para evitar su desgaste, es muy importante que posea una alta temperatura de fusión. Esta es la razón por la que, cuando se emplea c.c., el electrodo se suele conectar al polo negativo, pues el calor generado en el extremo es inferior y permanece más frío que si conectase al polo positivo.

En general, se emplean tres tipos diferentes de electrodos, que se clasifican en función de su composición en:

- Wolframio puro.
- Wolframio aleado con torio.
- Wolframio aleado con circonio.

Al principio los electrodos fueron de wolframio puro, pero posteriormente se pudo comprobar que al añadir a este metal óxidos de torio o circonio aumenta la emisividad,

incrementándose el flujo de electrones. favoreciéndose el encendido y reencendido del arco y, como consecuencia, su estabilidad.

Además. estos elementos permiten utilizar mayores intensidades de corriente, pues elevan el punto de utilización del electrodo. De esta forma se evita el fenómeno de desgaste del electrodo de wolframio puro que, adicionalmente, contaminaría el baño de fusión.

Los diámetros disponibles son: 1, 1.6, 2, 2.4, 3.2, 4, 4.8, 5 y 6.4 mm, siendo los más empleados los señalados en negrita. La longitud estándar de estos electrodos es de 150 mm.

Simbolización

La siguiente información ha sido obtenida de la Norma UNE 14208 (EN 26848) y de la Norma AWS - A5.12.

La simbolización de los electrodos de wolframio se basa en su composición según las indicaciones que figuran en la tabla 5.23, la primera letra caracteriza el componente principal, wolframio. La segunda representa las adiciones de óxido. la letra elegida es la inicial del elemento que forma el óxido adicionado, el número corresponde al contenido medio de óxido multiplicado por diez.

Los electrodos deben marcarse de acuerdo con la tabla, según su composición. con un anillo en el caso de los electrodos normales y con dos anillos en el caso de los electrodos compuestos. el color del anillo será el indicado en la tabla y se situarán en uno de los extremos del electrodo. El ancho de cada anillo será igual o superior a 3 mm.

TABLA 5.23 : Simbolización de acuerdo con UNE/EN y AWS de los electrodos de wolframio

Símbolo	Composición		Contenido de wolframio mínimo	Color de identificación mínimo (2)	Equivalencia con la simbolización AWS (3)
	Óxido adicional (1)				
	Naturaleza del óxido adicional	%			
WP	-	-	99.8	verde	EWP
WT4	ThO ₂	0,35 a 0,55	resto	azul	EWTh-3
WT10	ThO ₂	0,80 a 1,20	resto	amarillo	EWTh-1
WT20	ThO ₂	1,70 a 2,20	resto	rojo	EWTh-2
WT30	ThO ₂	2.80 a 3.20	resto	violeta	
WT40	ThO ₂	3,80 a 4,20	resto	naranja	
WZ3	ZrO ₂	0,15 a 0,30	resto	marrón	EWZr- 1
WZ8	ZrO ₂	0,70 a 0,90	resto	blanco	
WL10	LaO ₂	0,90 a 1,20	resto	negro	EwLa1
WL20	CeO ₂	1.80 a 2,20	resto	gris	EWCe-2

(1) Los óxidos adicionados en general están finamente dispersos en la matriz de wolframio, pero existen electrodos llamados compuestos que están formados por un alma de wolframio puro con un revestimiento exterior de óxido. Estos electrodos reúnen las cualidades del wolframio puro con las del wolframio con adición de óxidos pero tiene el inconveniente de que no pueden tallarse los extremos cuando se precise.

(2) Los electrodos compuestos se identifican con un segundo anillo de color rosa.

(3) Se ha indicado la simbolización según AWS de los electrodos mas usuales, el electrodo también está representado por una franja del mismo color y el porcentaje de Óxido medio es el mismo.

5.1.5.7 Metales de aportación

Varillas

Con la finalidad de obtener uniones sin defectos, es muy importante que el metal de aportación se mantenga libre de contaminaciones ya sea en forma de humedad, polvo o suciedad. Debe por tanto mantenerse en su paquete hasta el momento de ser utilizado. Durante el soldeo es importante que la parte caliente de la varilla este siempre lo suficientemente cerca del baño de fusión como para que lo cubra el gas de protección.

Puesto que el GTAW es un proceso que no produce escorias y que se realiza en una atmósfera inerte que no provoca reacciones en el baño, el material de aportación cuando se utilice, deberá tener básicamente una composición química similar a la del material de base.

Normalmente, se presentan en forma de varillas de distintos diámetros

Para el caso del proyecto se esta empleando el ER 70S-6, ver tabla 5.24 y 5.25

TABLA 5.24 : Propiedades mecánicas del metal depositado ER 70S-6

Esfuerzo de fluencia Lbs/pulg²	Esfuerzo a la tracción Lbs/pulg²	Elongación en 2"
60 000	72 000	22%

TABLA 5.25 : Composición química del metal depositado ER 70S-6

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu
0.074	0.858	1.455	0.010	0.011	0.006

5.1.5.8 Gases de protección

Para el soldeo GTAW se utilizan los siguientes gases:

- Helio
- Argón
- Argón + Helio

Normalmente suele utilizarse de 7 a 16 lt/min para el argón y de 14 a 24 lt/min para el helio.

El empleo excesivo de gas de protección produce turbulencia y favorece la entrada de aire de la atmósfera contaminando la soldadura. La presión de trabajo adecuada debe ser de 2 a 3 bar que es lo mismo de 2 a 3 Kg/cm².

Clasificación de los gases de protección

Se clasifican en dos grandes grupo:

A) Gases Inerte:

- Argón (Ar)
- Helio (He)

B) Gases Activos :

- Dióxido de Carbono (CO₂)
- Hidrogeno (H₂)
- Oxígeno (O₂)
- Nitrógeno (N₂)

Una mezcla de gases es activa siempre que alguno de sus componentes lo sea y solo es inerte si todos sus componentes lo son: por tanto las mezclas Argón + CO₂, Argón + O₂, Argón + Helio + CO₂, son activas (independientemente del porcentaje de gas activo); solamente es inerte la mezcla Argón + Helio.

Un gas se denomina activo porque reacciona químicamente de alguna forma a la temperatura del arco, Al contrario que los inerte que permanecen inalterables en cualquier circunstancia.

Propiedades de los gases

Las propiedades o características de los gases a tener en cuenta son:

- Energía de Ionización
- Densidad
- Conductividad

Energía de ionización

Recordemos que al establecerse un arco eléctrico el gas circulante se ioniza, es decir se produce la separación. con carácter reversible, de los átomos o moléculas del gas en iones y electrones: se forma la columna de plasma. También los gases formados con más de un átomo, como el nitrógeno (N₃) o el hidrógeno (H₂), se disocian, es decir se produce la separación, con carácter reversible, de los iones en sus átomos.

Para conseguir estos fenómenos, ionización y disociación, es necesario suministrar al gas una energía, denominada respectivamente de ionización y de disociación. En ambos casos esta energía la proporciona el propio arco eléctrico durante la operación de soldeo.

Cuando el gas ionizado o disociado entra en contacto con la pieza a soldar se enfría y el plasma se convierte de nuevo en gas; es decir los iones y átomos se vuelven a unir formando el gas en el mismo estado que antes de comenzar la operación de soldeo. Al

unirse los átomos se libera la energía de ionización o de disociación que se transmite a la pieza.

Por tanto, cuanto mayor sea la energía de ionización de un gas más difícil será el establecimiento del arco, dificultad de cebado y menor estabilidad del arco, pero mayor será la energía que aporte a la pieza.

Como ejemplo: el argón posee una energía de ionización más baja que el helio razón por la cual el arco de argón aporta menos calor que el de helio.

La energía para ionizar cualquiera de los gases activos nombrados también es mayor que la energía de ionización del arzón, consecuentemente aportarán mayor calor a la pieza.

Densidad

Cuanto mayor sea la densidad de un gas se requerirá menor caudal para obtener la misma protección, ya que cubrirá más fácilmente la zona de soldeo.

Como ejemplo: El argón posee una densidad más alta que el helio y la del CO, es mayor que la del argón, por lo tanto hará falta menos caudal de argón que de helio y menos de CO, que de argón para un mismo grado de protección.

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la facilidad para transmitir el calor. Cuanto mayor sea la conductividad térmica la distribución de temperaturas en el arco es más homogénea, dando lugar a cordones más anchos y penetración más uniforme. Ejemplo: La conductividad del argón es menor que la del helio, lo que supone que la penetración con helio es mayor que con argón.

Argón

Las características de este gas son:

- Eficiente protección debido a su alta densidad. El argón es 1,4 veces más pesado que el aire, lo que significa que tiende a cubrir bien el área de soldadura en contraposición al helio que es mucho más ligero que el aire. La densidad del argón es diez veces superior a la del helio. Debido a ello se requiere un caudal de helio dos o tres veces superior al de argón para proporcionar al arco la misma protección. Debido a su mayor densidad, el es también más aconsejable para soldar en posición bajo techo y vertical y es menos sensible a las corrientes de aire.
- Cebado fácil. Es más fácil cebar el argón que el helio por la menor energía de ionización del argón. También es más fácil cebar el arco en argón que en CO₂.
- Buena estabilidad del arco. El argón posee una baja energía de ionización, lo que facilita el cebado y origina arcos estables y tranquilos con pocas proyecciones. Esta cualidad es particularmente importante en el soldeo con corriente alterna.
- Económico. el argón es generalmente menos costoso que el helio, aunque es más caro que el CO₂, el empleo del helio resulta económico en Estados Unidos donde este gas suele acompañar al crudo en los pozos de petróleo.
- Idóneo para pequeños espesores. Al tener una energía de ionización reducida, necesita tensiones reducidas y produce, consecuentemente arcos poco enérgicos, con aporte de calor reducido, resultando idóneo para el soldeo de piezas de pequeños espesores.
- Forma del cordón y penetración. El argón tiene una conductividad térmica más baja que el helio, por lo que el calor se concentra en la zona central del arco

5.2 Proceso de corte de tubería

En la ejecución del proyecto de red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao, se realizaron ensayo no destructivos a las juntas soldadas, las juntas que no cumplían con el estándar API 1104 eran rechazadas, estas tienen que ser reparadas y si la reparación no quedaba bien, dichas juntas tenían que ser cortadas. En adelante hablaremos de corte de juntas usando el proceso de oxicorte donde se retira la junta soldada que tienen discontinuidad.

En el proyecto tenemos cortes en tuberías de 20", 10³/₄" , 6 " y 4¹/₂ usando el proceso de oxicorte y un equipo de corte móvil orbital a control remoto (ver figura 5.40). De acuerdo a la especificación del procedimiento de soldadura EPS-02 (ver apéndice), los cortes de tuberías tienen una inclinación de 30° con respecto a la sección transversal de la tubería.

Para realizar corte de una junta soldada es necesario realizar dos cortes a la tubería , Los cortes de juntas soldadas son trabajo de no calidad. Para tener una idea de corte en el proyecto en tubería de 20" se realizaron 91 cortes de juntas de un total 5285 juntas que se encuentran en la línea del gasoducto.



FIGURA 5.40 : CORTE DE TUBERIA CON EQUIPO DE CORTE ORBITAL AUTOMATICO

5.2.1 Clasificación y definición de los procesos de corte

Para el proyecto el corte de tuberías se uso el corte térmico. El corte térmico es un grupo de procesos que separan o retiran el metal mediante su vaporización, fusión o combustible localizada.

Se puede dividir en:

- Corte por oxígeno u oxicorte
- Corte por arco y otros tipos de corte.

Corte por oxígeno u oxicorte

Es un grupo de procesos que separan o retiran el metal mediante combustión del mismo (ver figura 5.41). los procesos de corte por oxígeno mas comunes son el corte con gas combustible.

Existen dos tipos corte por oxígeno u oxicorte :

- Corte manual
- Corte de maquina automática

El equipo manual se utiliza primordialmente para mantenimiento, para corte de chatarra, para quitar rebabas de piezas coladas y otras operaciones que no requieren un alto grado de precisión.

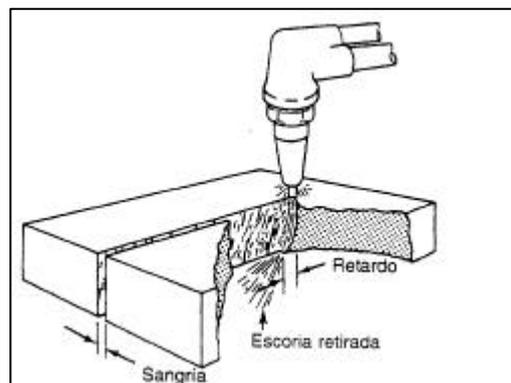


FIGURA 5.41 : EL OXIGENO DE CORTE QUEMA EL METAL PRECALENTADO Y RETIRA LA ESCORIA FORMADA, DEJANDO UN CANAL DENOMINADO "SANGRIA"

El corte a maquina automática se emplea para trabajo preciso de alta calidad y para cortes de gran volumen. Ambos tipo de equipo funcionan con el mismo principio.

5.2.2 Fundamento del proceso de oxiacorte

El oxiacorte es un procesos de corte empleado para separar o eliminar metales mediante una reacción exotérmica del oxígeno con el metal base de bajo porcentaje de carbono.

El oxiacorte separa o elimina metal mediante la reacción química del oxígeno con el metal a temperaturas elevadas. La temperatura requerida se mantiene con una flama de gas combustible que arde en oxígeno.

La operación de corte se basa en la combustión o quemado de un metal en presencia de oxígeno.

El acero no es un material combustible en condiciones atmosféricas normales. Sin embargo, si se calienta el acero a temperaturas de 900°C (temperatura de ignición) y se pone en atmósfera de oxígeno puro la reacción es totalmente distinta, en estas condiciones podemos referirnos a la combustión del acero de la misma manera que la de otras materias.

No todos los metales pueden cortarse con gas combustible, las condiciones para que un material se pueda oxiacortar son:

- El metal, una vez calentado, debe quemarse en oxígeno puro y producir una escoria fluida que pueda ser desalojada fácilmente, de la hendidura del corte, por el chorro de oxígeno .
- La temperatura de inflamación del metal (temperatura a la que comienza la combustión) debe ser inferior a su punto de fusión, pues de no ser así el metal se fundirá y cada fundido obstruirá la perforación del corte.

- La capa de óxido existente en el metal ha de tener una temperatura de fusión inferior a la temperatura de fusión del metal.
- La escoria y óxidos producidos durante el proceso deben tener baja densidad y una temperatura de fusión inferior a la del metal, con el fin que no obstruyan el corte.
- La conductividad térmica del metal no debe ser muy elevada.

Las anteriores condiciones sólo las cumplen el hierro, el acero al carbono y el acero de baja aleación.

Los materiales que no pueden oxidadarse son:

- Acero inoxidable, por no cumplir las condiciones C y D.
- Otros aceros de alta aleación por no cumplir la condición D.
- El aluminio, por no cumplir la condición E.
- Las fundiciones, por no cumplir la condición A.

La llama de precalentamiento se produce por la mezcla de un gas combustible y oxígeno. Su función es calentar la pieza hasta la temperatura de inflamación del material y limpiar la superficie de óxidos y escorias.

El corte se realiza por flujo de un chorro de oxígeno que quema el metal y retira la escoria formada. Debido al metal quemado y retirado se forma un canal estrecho denominado "sangría" (Ver figura 5.41).

5.2.2.1 Equipo de corte automático

Durante la ejecución del proyecto se obtuvieron juntas soldadas rechazadas, las cuales fueron reparadas y en algunos de los casos la reparación también eran rechazadas, Estas juntas fueron cortadas con el equipo de corte automático el cual realiza un trabajo preciso de corte y biselado de alta calidad.

El equipo para cortar tubería es un equipo de oxicorte automático (oxígeno y acetileno) el cual tiene un aditamento especial (rieles y carrito) para realizar el corte en el perímetro de la tubería, esta compuesto por:

- Reguladores de presión
- Sopletes
- Boquillas
- Manija tensora, cadena, embrague, riel guía y soporte
- Control remoto

Oxígeno

El oxígeno empleado en las operaciones de corte debe tener una pureza del 99.5% o superior, pues las impurezas reducen la eficiencia de la operación de corte. Una disminución del 1% en pureza del oxígeno, a 98.5%, resultará en una reducción de la velocidad de corte de aproximadamente un 15% y en un aumento de cerca del 25% en el consumo del oxígeno de corte. La calidad de corte sufrirá menoscabo, y aumentará la cantidad y la tenacidad de la escoria adherida. Si la pureza del oxígeno se reduce al 95% o menos, la acción de corte conocida desaparece, convirtiéndose en una reacción de fusión y lavado que casi siempre resulta inaceptable.

Acetileno

Existen una variedad de gases combustibles como son gas natural, el hidrógeno, propano y acetileno, para el proyecto se utiliza el gas acetileno que proporciona una alta velocidad de corte.

Las funciones de las flamas de precalentamiento durante la operación de corte son:

- Elevar la temperatura del acero hasta el punto de ignición.
- Agregar la energía calorífica al trabajo para mantener la reacción de corte.
- Crear un escudo protector entre el chorro de oxígeno de corte y la atmósfera.

- Eliminar el orrín de la superficie de acero, así como las incrustaciones, pintura y demás sustancias extrañas que impedirían o retardarían el avance normal de la acción de corte.

Reguladores de presión

El regulador es un aparato para reducir la presión de los gases al valor adecuado al espesor a cortar, que se conecta por roscado a cada botella.

Boquilla

Suelen poseer varios conductos para la llama de precalentamiento dispuestos en círculo rodeando el orificio del oxígeno (ver tabla 5.26 A).

Las boquillas normales tienen un conducto recto para el oxígeno (ver figura 5.42) mientras que las boquillas de alta velocidad difieren en la forma de este orificio.

La forma del orificio del oxígeno no depende del tipo de combustible, sin embargo el diseño y número de orificios del gas combustible sí depende del tipo de gas combustible, ya que la cantidad de oxígeno varía con el tipo de gas. Se deberá utilizar siempre una boquilla diseñada para el gas combustible que sea utilizado.

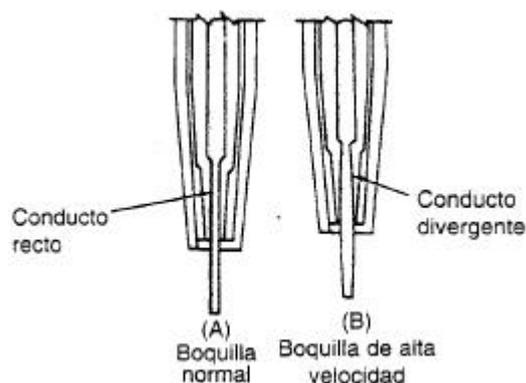
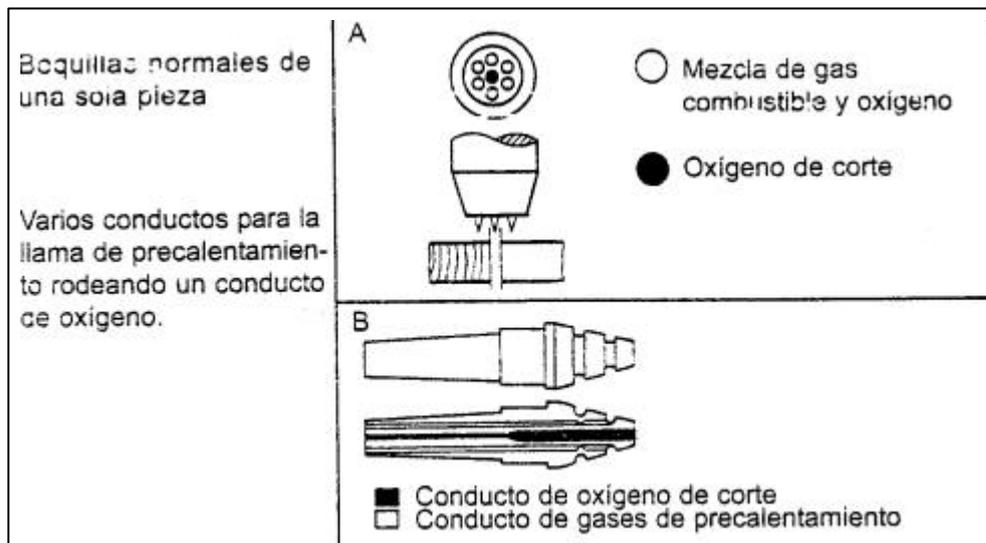


FIGURA 5.42 : TIPOS DE BOQUILLA PARA OXICORTE

TABLA 5.26 : Tipos de boquillas



5.2.3 Ventajas y desventajas del oxicorte

Ventajas

- En general, los aceros pueden cortarse con mayor rapidez por oxicorte que por procesos de eliminación mecánica.
- Los costos básicos del equipo de oxicorte son bajos en comparación con las máquinas herramientas.
- La dirección del corte puede cambiarse rápidamente con una pequeña operación.

Desventajas

- La tolerancia dimensional es menor que las alcanzadas con máquinas herramientas.
- Las flamas de precalentamiento y la escoria al rojo vivo que sale despedida representan riesgos de incendio y quemaduras para la planta y el personal.
- La quema del combustible y la oxidación del metal requieren un control de emisiones de humo apropiado y una ventilación adecuada.

5.2.4 Recomendación para conseguir un corte de calidad

- Seleccionar el tamaño de la boquilla en función del espesor de la pieza
- Elegir la presión de oxígeno recomendada para dicha boquilla.
- Empezar a cortar con una velocidad no muy alta.
- Incrementar la velocidad hasta conseguir la mejor combinación entre rapidez de trabajo y calidad
- Se puede reconocer un corte de calidad por el ruido y por la no-existencia de escoria en el corte
- No se deberá seleccionar una presión ni boquilla mayor que las recomendadas. Tampoco seleccionar una presión más baja. El corte eficaz se basa en seleccionar la presión y boquilla justa y una velocidad de 25 a 75 mm/min menor que el máximo recomendado.

Siempre que se oxide una pieza se desea que la superficie oxidada sea regular, sin embargo su consecución no es siempre posible. La observación de las superficies permitirá conocer los fallos cometidos y la forma de corregirlos.

Cualquier superficie oxidada queda con unas líneas denominadas líneas de retardo (ver tabla 5.27(B) y figura 541), cuando más curvadas estén estas líneas en la parte inferior de la pieza más rápido se ha realizado el corte.

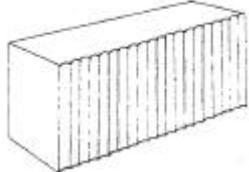
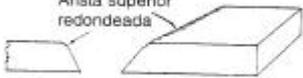
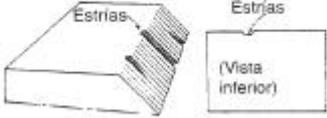
5.2.5 Regulación de la llama para corte

El acetileno se usa ampliamente como gas combustible para corte con oxígeno. Sus ventajas principales son la disponibilidad, la alta temperatura de flama y la familiaridad que un gran número de usuarios tiene con las características de la flama.

La combustión de acetileno en oxígeno produce una flama corta y caliente como un cono interior brillante en cada salida de precalentamiento. El punto más caliente se encuentra en el extremo de este cono interior. La combustión se completa en la flama exterior larga.

La clara distinción entre las dos flamas ayuda a ajustar la proporción oxígeno-acetileno para la característica de flama deseada.

TABLA 5.27 : Defectología de las superficies oxicortadas

CAUSAS	FALLO
Velocidad de desplazamiento durante el corte muy baja	Rugosidad de la superficie de corte muy marcada. (A) 
Velocidad de desplazamiento durante el corte elevada. Las líneas de retardo quedaran más curvadas cuanto más rápido sea el corte	Línea de retardo (B) 
Excesiva velocidad de corte que no permite que la escoria sea expulsada de la pieza quedándose adherida. En este caso las líneas de retardo estarán muy curvadas en su parte inferior. Boquilla sucia: La suciedad, escoria u óxido en la boquilla producen una desviación del oxígeno de corte que provoca una superficie muy irregular y escoria adherida.	(C) 
Velocidad de corte demasiado baja. A medida que disminuye la velocidad de corte aparecen también canales o huellas de corte muy profundas. Exceso de precalentamiento Boquilla demasiado lejos de la chapa	Arista superior redondeada. (D) 
Demasiado oxígeno de corte. Una vez realizado el corte limpio de la parte superior el oxígeno resultante creara estrías en la zona inferior de la pieza; a medida que se ajusta adecuadamente el oxígeno las estrías quedan más en la zona inferior. Se puede corregir aumentando la velocidad de corte o disminuyendo la dimensión de la boquilla	Estrías. (E) 

Dependiendo de esta proporción, la flama puede ajustarse de modo que sea reductora (carburizante) neutral u oxidante, como se muestra en la fig. 5.43. La flama neutral, que se

obtiene con una proporción de aproximadamente una parte de oxígeno a una parte de acetileno, sirve para el corte manual. Al reducirse el flujo de oxígeno, comienza a aparecer una flama brillante, esto indica una flama reductora.

Cuando se suministra oxígeno en exceso, el cono de la flama interna se acorta y se vuelve más intenso. La temperatura de la flama aumenta a un máximo cuando la razón oxígeno / acetileno es aproximadamente 1.5 a 1. Se utiliza flama oxidante para obtener tiempos de precalentamiento cortos y para cortar secciones muy gruesas. La tabla 5.29 muestra las propiedades de gas acetileno.

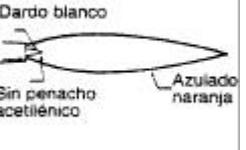
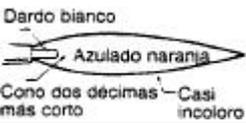
Tipo de llama	Aspecto de la llama	Aplicaciones				
		Acero	Fundiciones	Cobre	Latón	Aluminio
Lama de acetileno puro		No adecuada	No adecuada	No adecuada	No adecuada	No adecuada
Carburante con exceso de oxígeno		No adecuada	Adecuada	No adecuada	No adecuada	Adecuada
Nuetra igual cantidad de oxígeno que de acetileno		Adecuada	Aceptable	Adecuada	No adecuada	Adecuada
Oxidante Exceso de oxígeno		No adecuada	No adecuada	No adecuado	adecuado	No adecuado

FIGURA 5.43 : TIPOS DE LLAMA OXIACETILENICA Y APLICACIONES

5.2.6 Procedimiento de corte manual

Uno de los métodos de corte es colocar la punta totalmente sobre el material por cortar. La flama de precalentamiento se mantendrá allí hasta que el metal alcance su temperatura de encendido. Luego la punta se moverá hacia el borde de la placa de modo que el chorro de oxígeno apenas libre el metal. Con el oxígeno de cortar abierto, se iniciará el corte. Este método tiene la ventaja de producir esquinas más rectas al principio del corte.

Una vez iniciado el corte, el soplete se mueve a lo largo de la línea de corte con un movimiento suave y constante. El operador deberá mantener una distancia entre la punta y el trabajo lo más constante que pueda. El soplete deberá moverse a una velocidad tal que produzca un sonido de rasgamiento ligero y un flujo de chispas uniforme.

En el caso de placas de 13 mm (1/2 pulg) o más de espesor, la punta de corte deberá sostenerse perpendicular a la placa. En placas delgadas, la punta puede inclinarse en la dirección del corte. La inclinación aumenta la velocidad de corte y ayuda a evitar que la escoria se congele sobre el ancho del corte. Cuando corte material en posición vertical, comience en el borde inferior del material y corte hacia arriba. (ver figura 5.44).

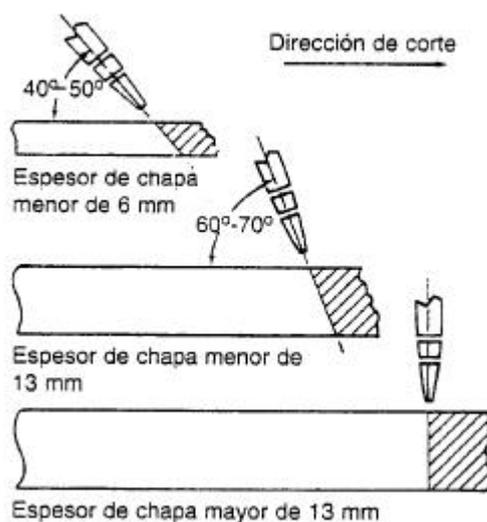


FIGURA 5.44 : ANGULO DE INCLINACIÓN DEL SOPLERE O DEL ESPESOR

5.2.7 Procedimiento de corte automático

Las condiciones de operación para el corte automático con oxígeno varían dependiendo del gas combustible y del tipo de soplete de corte que se usen.

Los procedimientos de arranque y apagado para el corte automático son en esencia los mismos que se dieron anteriormente para el trabajo con soplete manual. Sin embargo, el ajuste correcto de las condiciones de operación es más importante si se desea obtener cortes de alta velocidad y alta calidad. Se deberá utilizar el diagrama de corte del fabricante o del proveedor para seleccionar el tamaño de punta apropiado para el espesor de material que se va a cortar. Además del tamaño de la punta, hay que seleccionar del diagrama los ajustes de presión iniciales para el combustible y el oxígeno, y las velocidades de recorrido. Es frecuente que el diagrama indique también tasas de flujo de gas, tamaño de barreno para el orificio del oxígeno, longitudes de los conos de precalentamiento y ancho del corte. Con estos datos se ajustarán las condiciones de operación para obtener un corte con la calidad deseada.

El tamaño de punta y la presión del oxígeno de cortar correctos son importantes para realizar un corte a máquina de calidad. Si no se utiliza una punta del tamaño adecuado, no se alcanzará la velocidad de corte máxima ni se obtendrá un corte de calidad óptima. El ajuste de la presión del oxígeno de cortar es una condición esencial; las desviaciones respecto al valor recomendado afectarán considerablemente la calidad del corte. Por esta razón, algunos fabricantes especifican la presión que debe ajustarse en el regulador y la longitud que debe tener la manguera. Si se usan mangueras más largas o más cortas, deberá ajustarse la presión para compensar. Una alternativa consiste en medir la presión del oxígeno en la entrada del soplete. La presión del oxígeno de cortar se ajustará entonces de modo que se obtenga la presión recomendada en la entrada del soplete, en lugar de en la salida del regulador.

Hay otros ajustes importantes, como las presiones del combustible y el oxígeno de precalentamiento y la velocidad de recorrido. Una vez ajustados los reguladores, se utilizarán las válvulas del soplete para controlar los flujos de gas a fin de obtener la flama de precalentamiento deseada. Si no se logran tasas de flujo suficientemente altas, se pueden aumentar las presiones en el regulador para compensar. La limpieza de la boquilla, el tipo de metal base, la pureza del oxígeno de corte y otros factores tienen una influencia directa sobre el rendimiento.

En la tabla 5.28 se dan datos representativos para cortar acero de bajo carbono, usando gases combustibles más comunes.

TABLA 5.28 : Datos para el corte de acero de bajo carbono limpio, sin precalentamiento

Espesor del acero		Diámetro del orificio de corte	Velocidad de corte		Flujo de gas	
					Oxígeno de corte	Acetileno
pulg	mm	mm	pulg/min	mm/s	l/min	l/min
1/8	3.2	0.51 - 1.02	16 – 32	6.8 - 13.5	7.2 - 21.2	2 - 4
¼	6.4	0.76 - 1.52	16 – 26	6.8 - 11.0	14.2 - 26	2 - 4
3/8	9.5	0.76 - 1.52	15 – 24	6.4 - 10.1	18.9 - 33	3 - 5
½	13	1.02 - 1.52	12 – 23	5.1 - 9.7	26 - 40	3 - 5
¾	19	1.42 - 1.52	12 – 21	5.1 - 8.9	47.2 - 70.9	3 - 6
1	25	1.14 - 1.52	9 – 18	3.8 - 7.6	51.9 - 75.5	4 - 7
1 ½	38	1.52 - 2.03	6 – 14	2.5 - 5.9	51.9 - 82.6	4 - 8
2	51	1.52 - 2.03	6 – 13	2.5 - 5.5	61.4 - 89.6	4 - 8
3	76	1.65 - 2.16	4 – 11	1.7 - 4.7	89.6 - 142	4 - 9
4	102	2.03 - 2.29	4 – 10	1.7 - 4.2	113 - 170	5 - 10
5	127	2.03 - 2.41	4 – 8	1.7 - 3.4	127 - 170	5 - 10
6	152	2.41 - 2.67	3 – 7	1.3 - 3.5	123 - 236	5 - 12
8	203	2.41 - 2.79	3 – 5	1.3 - 2.1	217 - 293	7 - 14
10	254	2.41 - 2.79	2 – 4	0.85 - 1.7	274 - 331	7 - 17
12	305	2.79 - 3.30	2 – 4	0.85 - 1.7	340 - 401	9 - 19

Notas:

- Consumo de oxígeno de precalentamiento para acetileno = 0.52 a 0.59 x flujo de acetileno L/min.
- Notas de operación : Los flujos de gas más altos y las velocidades de corte más bajas generalmente están asociadas al corte manual, en tanto que los flujos de gas más bajos y las velocidades más altas se aplican al corte a máquina.

5.2.8 Equipo de corte automático (AUTO PICLE –S)

El equipo de corte orbital llamado así por que jira alrededor de la tubería, esta conformado por : un carrito, riel guía, cadena tensora, Control remoto. se utilizan primordialmente para cortar tuberías de gran diámetro. Estas maquinas normalmente consiste en un carro impulsado por motor provisto de una montura ajustable para el soplete de corte. El equipo de corte orbital funciona con un mando a distancia conectado con cables eléctricos donde se accionan solo el giro del carrito, más no el flujo del oxigeno ni del carburante.

El carrito es accionado por un motoreductor eléctrico de 15 W, las conexiones del oxigeno y del el carburante es idéntico a los equipos que cortan manual y bajo el mismo principio de funcionamiento, la regulación cierre y apertura del oxigeno es manual gobernado por un operador de corte.

El carrito se instala abrazandose a la tubería con eslabones de cadena, cada eslabón mide aproximadamente una pulgada y se empalman entre si hasta completar toda la circunferencia. El grado de precisión del corte depende tanto de la exactitud de los rieles guías, como del ajuste entre rieles y las ruedas impulsadoras del carrito que pasa por un engranaje accionado por el mando eléctrico.

Estos eslabones que forman una cadena se tensa y se hace una verificación que al dar una vuelta el equipo este gire sobre un solo plano y no esté avanzando longitudinalmente a lo largo de la tubería.

Una vez que el equipo de corte automático funcione correctamente se gradúa el angulo de corte el cual para el proyecto se trabaja con 30°, el Auto Picle–s nos brinda un buen acabado en el bisel de 30°.

El operador enciende el soplete. Y se ubica en el punto inicial, abre el flujo de oxigeno de corte, ajusta la altura del soplete para mantener las flama de precalentamiento a la distancia

correcta de la superficie de trabajo y luego de realizar el precalentamiento entra en funcionamiento el carrito (ver figura 5.45), al terminar el corte, el operador apaga el soplete de corte y detiene el carro.

Especificaciones técnicas del equipo de corte

Marca : KOIKE

Modelo : Auto Plíce – S

Peso : 15 kg

Dimensiones : L: 270 mm, A: 230mm, H:400mm

Diámetro efectivo De corte : 4" – 24" con cadena estándar, mayor a 24" con cadena extra.

Espesor de pared : 5 – 50 mm (3/16 – 2")

Tipo de corte : I, V (hasta 45°)

Motor : 15W 10,000rpm



FIGURA 5.45 : EQUIPO DE CORTE AUTOMATICO AUTO PLICE-S

TABLA 5.29 : Propiedades de gases Acetileno

Descripción	Fórmula química	Acetileno C ₂ H ₂
temperatura de flama neutra	°F	5600
	°C	3100
Emisión de calor de flama primaria	Btu/ft ³	507
	MJ/ m ³	19
Emisión de calor de flama secundaria	btu/ft ³	963
	MJ/ m ³	36
Valor calorífico total	btu/ft ³	1470
(después de la vaporización)	MJ/ m ³	55
Valor calorífico total	btu/lb	21500
(después de la vaporización)	MJ/ kg	50000
Oxígeno total requerido (flama neutra)	Volumen O ₂ /Comb.	2.5
Oxígeno suministrado por el soplete	Volumen O ₂ /Comb.	1.1
(flama neutra)	ft ³ oxígeno/lb comb. (60 °F)	16
	m ³ oxígeno/kg (15.6 °C)	1
Presión de regulador	psi	15
Máxima permisible	Kpa	103
Límites explosivos en	aire : por ciento	2.5-80
Razón volumen/peso	ft ³ /lb (60 °F)	14.6
	m ³ /kg (15.6 °C)	0.91
Peso específico relativo del gas (Aire =1)	(60 °F, 15.6 °C)	0.9

5.3 Proceso de reparación de soldadura

De acuerdo al párrafo 10.2 del API 1104-99 las reparaciones y remociones de discontinuidades se tiene que realizar según el procedimiento establecido y calificado. Esto debe incluir lo siguiente:

- Método de exploración de discontinuidad
- Método de remoción de discontinuidad
- El canal de reparación debe ser examinado para confirmar la completa remoción del defecto
- Requerimiento de precalentamiento y tratamiento térmico interpases
- Proceso de soldadura.
- Requerimiento para ensayos no destructivos entre pases.

Además en el párrafo 10.3 del API 1104-99 señala, que las áreas reparadas deben ser inspeccionadas por los mismos medios usados previamente. Esto quiere decir que si hemos empleado ultrasonido después de la reparación debemos verificar con ultrasonido y si empleamos como ensayo no destructivo (END) radiografía debe de ser la misma prueba.

Para las reparaciones se empleara el proceso de soldadura SMAW cuando tengamos defectos en el relleno o acabado, pero si el defecto se encuentra en la zona de raíz se empleara el proceso GTAW solo para el pase de raíz, continuando los siguientes pases con el proceso SMAW.

La exploración de los defectos serán realizadas en forma mecánica empleando amoladores y discos de desbaste, corte de 4 1/2" de diámetro.

Cuando se completa la soldadura de una junta soldada, se realiza la inspección visual a cargo del supervisor QC, donde se verifican:

- Las dimensiones del refuerzo de soldadura

- El grado de uniformidad del acabado
- La existencia de defectos superficiales como socavación, poros etc.

La inspección visual de la junta soldada debe cumplir con las exigencias del estándar API 1104-99, el supervisor QC libera el 100% de las juntas soldadas, quien tiene a su cargo asegurar la calidad de las juntas soldadas. Una vez completada esta etapa, el 100% de las juntas aprobadas en la inspección visual, al somete al ensayo no destructivo (END), empleándose el ultrasonido o radiografía Industrial.

Cuando el END indica que existen discontinuidades en una junta soldada, esta soldadura tendrá que someterse a reparación.²

La ubicación de la discontinuidad en una junta soldada esta definida por tres zonas, según sea la profundidad donde se encuentre la discontinuidad de acuerdo a:

- | | | |
|----------------------|--------|---------------------------|
| a) Zona de raíz | 0 | discontinuidad < 5 mm |
| b) Zona de relleno | 5 mm | discontinuidad < 9.5 mm |
| c) Zona de cobertura | 9.5 mm | discontinuidad < 11.13 mm |

En la figura 5.46 se muestran las tres zonas de discontinuidades.

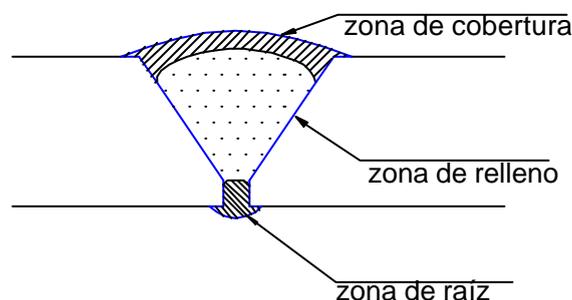


FIGURA 5.46 : ZONAS DE DISCONTINUIDADES

² Solo se puede reparar una sola vez. Si luego de la reparación continua el defectos la junta tiene que cortarse.

De acuerdo con esta división de zonas analizaremos los costos típicos para cada una de las reparaciones, de acuerdo al ítem 9 del API 1104-99 (estándares de aceptación para ensayos no destructivos), se identifican 11 tipos de defectos por los que una junta soldada no es aceptable, y pasa a reparación. En la tabla 5.30 se detalla la lista de 11 discontinuidades típicas contempladas en el estándar API 1104 - 99 y la ubicación típica de estas discontinuidades que pueden estar en la raíz, relleno o cobertura.

TABLA 5.30 : Discontinuidades según el estándar API 1104-99

ITEM	TIPO DE DISCONTINUIDAD	UBICACIÓN
1	Penetración Inadecuada sin desalineamiento	Raíz
2	Penetración Inadecuada debido a desalineamiento	Raíz
3	Penetración transversal Inadecuada	Relleno
4	Fusión Incompleta	Cobertura
5	Fusión Incompleta debido superposición fría	Relleno
6	Concavidad interna	Raíz
7	Quemadura transversal	Raíz
8	Inclusiones de escoria	Raíz, Relleno y Cobertura
9	Porosidad	Raíz, Relleno y Cobertura
10	Rajadura	Cobertura
11	Socavación	Cobertura
12	Acumulación de imperfecciones	_____
13	Imperfección de tubería o accesorio.	_____

Consideraciones:

Para cuantificar el valor de la reparación dependiendo de la ubicación de la discontinuidad (raíz, relleno o cobertura), se está asumiendo una longitud típica de 4 ½ puesto que el costo de materiales que se necesita para reparar una longitud representa el 2, 0.4 y 0.2% si se está reparando en la raíz, relleno o cobertura respectivamente. De acuerdo a esta premisa se realizarán todos los cálculos de reparación

El costo de reparación de una junta no depende del diámetro de la tubería, sino de la ubicación ésta, pudiendo ser de raíz, relleno o cobertura.

5.3.1 Calidad de la soldadura

La unión soldada debe tener las cualidades necesarias para desempeñar su función esperada en servicio. Para ello, la unión ha de poseer las propiedades físicas y mecánicas requeridas, y para esto pueden ser necesarias cierta micro estructura y composición química. También son importantes el tamaño y la forma de la soldadura, así como la integridad de la unión. Tal vez se necesite resistencia a la corrosión. En todos estos aspectos influyen los materiales base, los materiales de soldadura y la manera de soldar.

La soldadura por arco con electrodo revestido es un proceso manual, y la calidad de la unión depende de la habilidad del soldador que la produce. Por esta razón, es preciso seleccionar con cuidado los materiales que se usarán, el soldador debe ser apto, y el procedimiento que use debe ser el correcto.

Las uniones soldadas, por su naturaleza, contienen discontinuidades de diversos tipos y tamaños. Por debajo de cierto nivel aceptable, éstas no se consideran perjudiciales. Por encima de ese nivel, se consideran defectos. El nivel de aceptación puede variar con la severidad de las condiciones de servicio, pero lo más común es que se base en requisitos de los contratos de fabricación, en un código o especificación determinada.

En soldaduras hechas con el proceso SMAW a veces se encuentran las siguientes discontinuidades:

- Penetración inadecuada
- Porosidad.
- Inclusiones de escoria.
- Fusión incompleta.
- Socavamiento.
- Grietas.
- Convidad interna
- Quemaduras

CAPITULO 6

APLICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Cuando un trabajo está terminado, no se puede emitir ningún juicio sin una evaluación previa, para esto existen diferentes métodos y técnicas que nos permiten verificar la calidad del trabajo.

Para llegar a la conclusión que una junta soldada está conforme tienen que existir tres elementos fundamentales:

1. Personal calificado
2. Herramientas de medición
3. Especificaciones técnicas

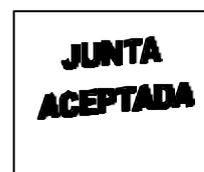
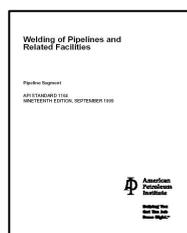


FIGURA 6.1 : ELEMENTOS DE VERIFICACION

6.1 Ensayos utilizados en el proyecto

Para la evaluación de las juntas soldadas en producción se pueden emplear los siguientes ensayos no destructivos:

1. Inspección visual
2. Ultrasonido
3. Radiografía
4. Líquidos penetrantes
5. Partículas magnéticas

Para efecto de la tesis vamos a desarrollar solo los END que se aplican en el proyecto red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao que son los 3 primeros.

6.2 Inspección visual

Es este uno de los métodos de inspección más rápidos, fácil de aplicar, barato y que normalmente no requiere ningún equipo especial.

El inspector de soldadura debe estar capacitado para la buena práctica de su trabajo con la documentación técnica, normas, instrumentos de medición y todas las fases de buena práctica del taller. El área de inspección debe estar bien iluminada.

6.2.1 Inspección anterior a la soldadura

La inspección empieza por la preparación de biseles antes del comienzo del proceso de soldeo. Las laminaciones de la plancha pueden ser detectadas en los bordes de soldadura.

Las dimensiones de las los espesores de los tubos deben ser verificadas por control dimensional.

Una vez los tubos han sido alineados para su posterior soldadura, el supervisor de calidad puede detectar anomalías tales como separación inadecuada, preparación de bordes incorrecta, desalineación, etc.



FIGURA 6.2 : ALINEAMIENTO DE TUBERIA CON GRAMPA EXTERNA

Los siguientes puntos deberían ser comprobados como mínimo antes de empezar a soldar para asegurarse de que cumplen con el procedimiento:

1. Preparación de soldadura, dimensiones y acabado (bisel 60°).
2. Separación de talones (2 mm).
3. Alineación de presentación de bordes.
4. Limpieza de bordes.

Todo aquello que se sospeche puede originar defectos durante la soldadura debe ser eliminado.

6.2.2 Inspección durante la soldadura

Como mínimo se deben comprobar los siguientes puntos

1. Proceso de soldeo (tensión, amperaje, velocidad, etc.)
2. Limpieza entre pases.
3. Temperaturas de precalentamiento.
4. Preparación de la unión.
5. Metal de aporte.

El supervisor de calidad debe estar familiarizado con todos los detalles de los procedimientos calificados y verificar su cumplimiento, especialmente durante las primeras

etapas de soldadura. La inspección de los distintos cordones de soldadura debería ser práctica normal.



FIGURA 6.3 : INSPECCION DEL PROCESO DE SOLDEO

La pasada de raíz o primer cordón es el más importante desde el punto de vista de bondad de la soldadura. En él, debido a la gran masa de metal a unir con respecto al espesor de este cordón y por la geometría de las uniones, se pueden producir enfriamientos rápidos que pueden resultar en escorias y gases atrapados difíciles de eliminar y lo que es más peligroso, el metal fundido durante esta pasada es susceptible de agrietamiento. Este tipo de grietas son especialmente peligrosas porque pueden propagarse a las capas que posteriormente se depositen.

La inspección del pase de raíz ofrece la oportunidad de comprobar laminaciones en los bordes que por el calor aportado durante la soldadura tenderán a abrirse.

6.2.3 Inspección después de la soldadura

Como mínimo se debe comprobarlo siguiente:

1. Control dimensional de la soldadura.
2. Aspecto de la soldadura acabado.
3. Ausencia de cráteres, porosidad superficial, socavación y grietas.
4. Desalineamiento.
5. Identificación y marcado.



FIGURA 6.4 : MEDICION DE DISCONTINUIDADES

6.2.4 Resumen

La inspección visual no es un método por el que se pueda determinar con exactitud la bondad de una soldadura, pero si nos hemos asegurado de que los bordes no tenían laminaciones, la limpieza y preparación han sido correctas y se ha seguido escrupulosamente el procedimiento calificado de soldadura, realizado por soldadores calificados, con todo esto podemos estar seguro de que esa soldadura no tendrá grandes defectos.

6.3 Ultrasonido

Para la inspección de ultrasonido en el proyecto red de distribución de gas natural para Lima y Callao, en las tuberías de 20", 10³/₈ ", 6 " y 4¹/₂ se utiliza el sistema RTD Rotoscan.

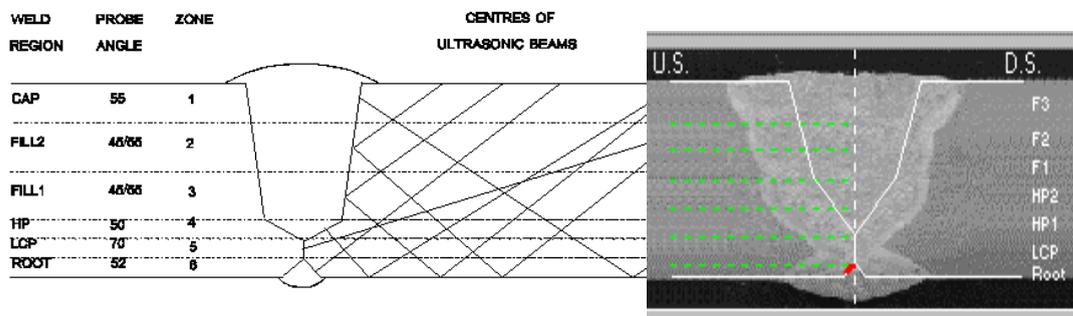


FIGURA 6.5 : MAPEO DEL CORDON DE SOLDADURA

Rotoscan es un sistema automático sofisticado para la inspección ultrasónica de las soldaduras de la circunferencia de la tubería y se basa en el método el eco del pulso,

realizado con un mapeado de imágenes. Básicamente, este ensayo consiste en aportar vibraciones sónicas de baja energía y alta frecuencia al interior de la pieza a ensayar. Estas vibraciones son alteradas o modificadas por la pieza. Detectando estos cambios en el equipo podremos detectar, localizar, identificar y medir discontinuidades en la soldadura.

A partir del límite de 20.000 c.p.s., el sonido no es percibido por el oído humano y recibe el nombre de Ultrasonido.

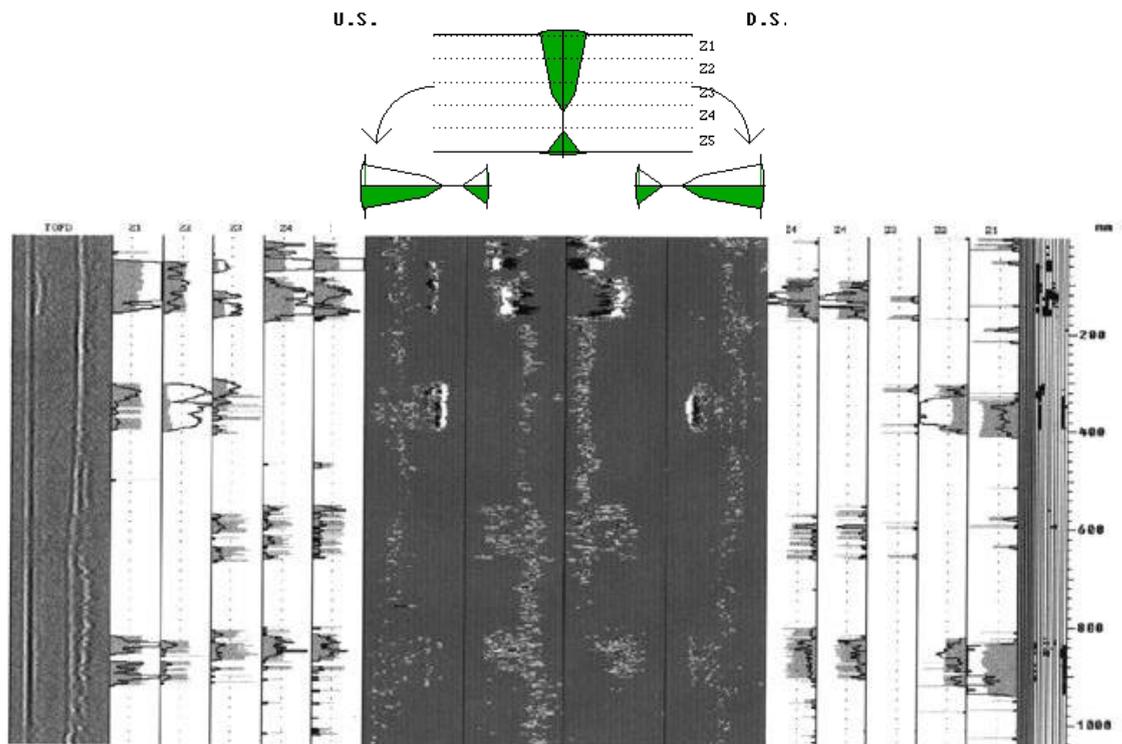


FIGURA 6.6 : REPORTE DE ULTRASONIDO DE RTD

La pieza en la que introducimos la energía reaccionará absorbiendo o reflejando esa energía, en cualquier caso, nos facilitará información en medio de estudio para conocer algo sobre ella.

Las puntas de prueba del Rotoscan se arreglan de tal manera que el cordón de soldadura son examinadas de ambos lados en una sola exploración circunferencial. La información ultrasónica se transfiere a una computadora para la presentación y el análisis de los datos.

6.3.1 Conceptos básicos

Las vibraciones se pueden transmitir también por agua, aceite, aire, etc., siendo la velocidad de transmisión constante en cada medio y distinta entre ellos, y depende de la densidad y elasticidad del medio. Velocidad Sonido en Acero = 4 veces en agua y 19 veces en aire.

La figura 6.7 adjunta muestra un palpador vibrando a una frecuencia "F" e introduciendo ondas sonoras en una pieza a una velocidad fija. La distancia entre dos ondas o desplazamientos se llama Longitud de Onda.



FIGURA 6.7 : PALPADOR A UNA FRECUENCIA F

La formula que relaciona estos parámetros es: $\lambda = \frac{V}{F}$

De la que se deduce que la longitud de onda es directamente proporcional a la velocidad de transmisión del sonido e inversamente proporcional a la frecuencia.

6.3.2 Efecto piezoeléctrico

Un cristal o palpador es un dispositivo que convierte la energía de una forma a otra. En nuestro caso, energía eléctrica en mecánica y viceversa. Esta capacidad de ciertos materiales se conoce por el nombre de Efecto Piezo Eléctrico.

Se llama intensidad de una vibración a la fuerza relativa del haz en un área determinada. Este intensidad decrece del centro a los extremos del haz ultrasónico y con la distancia. (la intensidad del haz es mayor en el punto "y", que en el "x" y el "z"). La divergencia del haz ultrasónico está condicionada por el tamaño del cristal y la frecuencia. A mayor frecuencia menor divergencia y a mayor tamaño de cristal también menor divergencia del haz.

El recorrido del haz ultrasónico podemos dividirlo en dos campos. El Campo Cercano, en la que la intensidad varía de forma irregular y el Campo Lejano, en la que la intensidad varia uniformemente, decreciendo con la distancia al palpador, debido a la absorción de energía, por la pieza. Esta pérdida de energía se llama Atenuación.

6.3.3 Impedancia acústica

Impedancia Acústica es la resistencia que un medio opone a las vibraciones. Cuanto más próximos sean los valores de impedancia de dos medios diferentes, más energía, o vibraciones se transmitirán del uno a otro. Para el ensayo de ultrasonidos la relación de impedancias acústicas debe ser lo menor posible. Esta es la razón por la que se usa un Acoplante entre palpador y pieza a ensayar.

Con el uso del acoplante:

- Eliminaríamos aire entre pieza y palpador.
- Reducimos la relación de impedancias.
- Mejoramos la transferencia del sonido.

$$z = \rho \times v$$

donde: z = Impedancia Acústica. ρ = Densidad del Material. v = velocidad de propagación del sonido en el medio.

6.3.4 Palpadores y generadores de vibraciones

Los palpadores se proyectan para trabajar a una frecuencia llamada frecuencia central, que se define como aquella a la cual el palpador vibra, o genere impulsos, más fácilmente, pero también responden a otras frecuencias dependiendo de la amplitud de la frecuencia central, el conjunto de estas formas lo que se conoce por banda de frecuencias.

Todas las frecuencias, cuyas amplitudes estén dentro del 70% del valor de la amplitud de la frecuencia central, son las que se consideran que forman la banda de frecuencias. En la figura 6.8 adjunta, se muestra, para un palpador de 5 megaciclos, la relación entre la

amplitud de la frecuencia central y la banda de frecuencias, que como se ve, está comprendida entre 3 y 7 megaciclos.

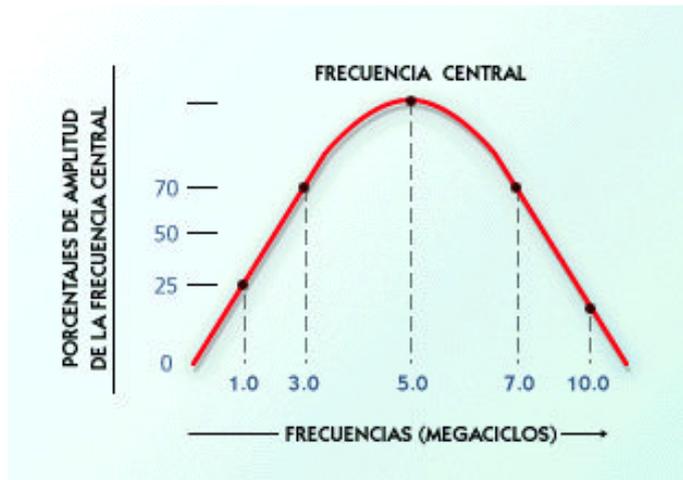


FIGURA 6.8 : AMPLITUD Y FRECUENCIA CENTRAL

6.3.5 Ley de SNELL

Cuando un haz sonoro incide en la **interfase** que separa dos medios diferentes parte se refleja y parte se refracta. La porción de haz incidente refractado forma un ángulo con la normal a la interfase que se deduce de la Ley de Snell.

$$\frac{\text{SEN}\alpha_1}{\text{SEN}\alpha_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

Siendo V_1 y V_2 , las velocidades de propagación del sonido en los medios 1 y 2 respectivamente y α_1 y α_2 los ángulos de Incidencia y refracción.

6.3.6 Palpadores y generadores de vibraciones

Según aumenta el ángulo de incidencia también lo hace el ángulo de refracción. Cuando el ángulo de refracción de las ondas longitudinales es de 90° , el ángulo de incidencia se denomina Angulo Critico, a partir de este valor del ángulo de incidencia, la onda longitudinal es totalmente reflejada.

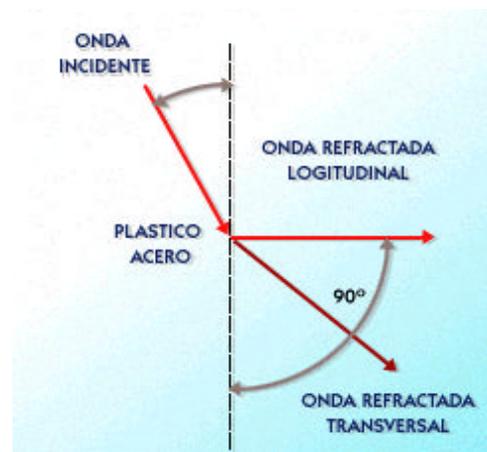


FIGURA 6.9 : ANGULO DE INCIDENCIA

Si continuamos aumentando el ángulo de incidencia, llegará un momento que el ángulo de refracción de las ondas transversales también sea de 90° (ver figura 6.9), cuando esto ocurra diremos que hemos alcanzado el ángulo de incidencia crítico para las ondas transversales. Para valores del ángulo de incidencia superiores al crítico de las ondas transversales tendremos Reflexión Total.

Cuando el valor del ángulo de incidencia es el correspondiente al ángulo crítico para las ondas transversales, estas se propagan paralelamente a la superficie que es la onda que conocemos como Onda Superficial.

6.3.7 Propagación de ondas y características de los diferentes medios de propagación

Tipos de Ondas

Onda Longitudinal o de presión es aquella en la que las oscilaciones ocurren en la dirección de propagación de la onda, se propagan a través de sólidos, líquidos y gases.

Onda Transversal o de cizalladura es aquella en la que las oscilaciones ocurren perpendiculares a la propagación de la onda, solo se transmiten a través de sólidos.

Onda de Superficie o de Rayleigh se propaga solamente en la periferia plana o curva de un sólido siguiendo las irregularidades del mismo o contorno.

Onda de Chapa o de Lamb es la onda de superficie cuando se propaga por una chapa delgada. Cuando el espesor de la chapa es del orden de la longitud de onda se producen varios tipos de onda.

Propagación. Cuando una onda Incide sobre una intercara (superficie de separación de dos medios) parte de la onda se refleja (haz reflejado) y parte se transmite (haz refractado). La figura 6.10, muestra lo que ocurre cuando una onda incide sobre una intercara y la dirección de la onda incidente no es normal a la intercara.

Resonancia, Es la característica de un cuerpo en vibración que bajo ciertas condiciones vibra en armonía con una fuente de vibración. La resonancia se da cuando el espesor de la pieza es múltiplo exacto de la mitad de la longitud de onda. Cuando el espesor es igual a media longitud de onda, la frecuencia se llama Frecuencia Fundamental cuando el espesor a los diferentes múltiplos de media longitud de onda las frecuencias se denominan, armónicos.

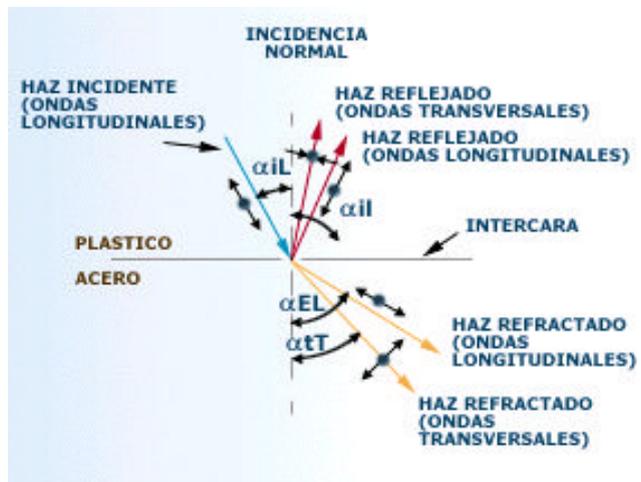


FIGURA 6.10 :INCIDENCIA DE ONDA

6.3.8 Métodos y sistemas del ensayo mediante ultrasonidos

Existen tres sistemas básicos:

- El Sistema Impulso-Eco.
- El Sistema de Transmisión.
- El Sistema de Resonancia.

Sistema Impulso-Eco

Es el sistema más ampliamente utilizado. Se transmiten, al material a ensayar, Impulsos ultrasónicos periódicamente desfasados y de corta duración. Estos impulsos se reflejan en las discontinuidades que encuentran en su camino y en los contornos de la pieza.)son captados por un palpador y convertidos en indicaciones analizables en la pantalla de un tubo de rayos catódicos (TRC). Generalmente se emplea un solo palpador que hace las veces de emisor y receptor de los impulsos, aunque pueden emplearse dos palpadores actuando uno solo como emisor y el otro solo como receptor.

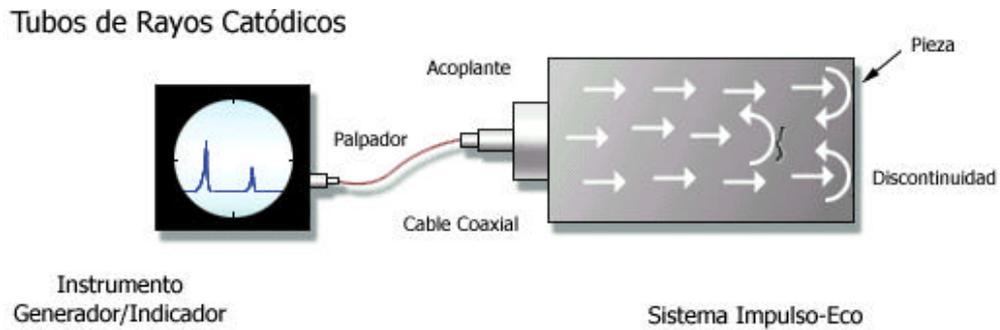


FIGURA 6.11 : SISTEMA DE IMPULSO ECO

Transmisión

Se pueden emplear impulsos intermitentes o continuos. Un palpador (emisor) emite las ondas ultrasónicas alineado con otro (receptor) que los recibe y por la energía perdida por el impulso al llegar al receptor se obtiene Información sobre la pieza.

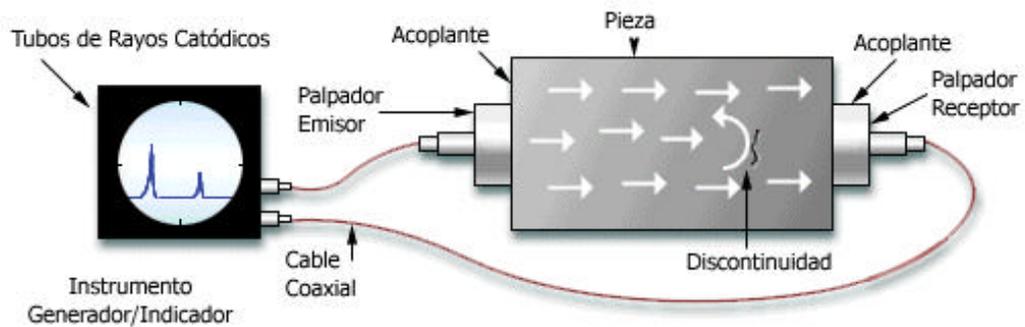


FIGURA 6.12 : SISTEMA DE IMPULSO INTERMITENTE

Resonancia

Haciendo uso de este fenómeno, este sistema se emplea para determinar espesores y estudiar la calidad de piezas plaqueadas y en menor grado para detectar discontinuidades.

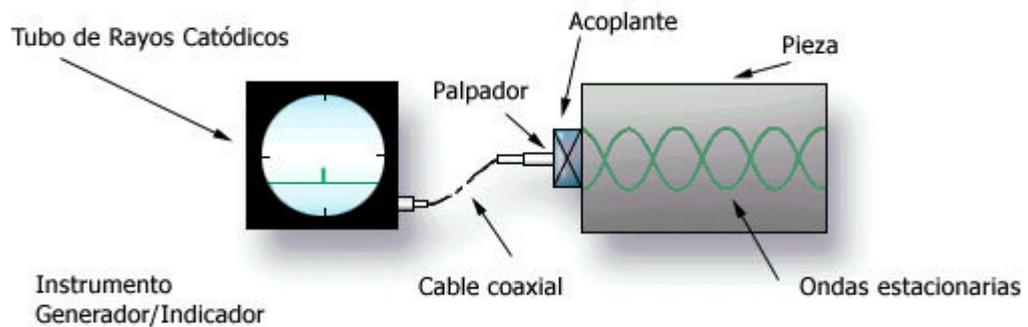


FIGURA 6.13 : SISTEMA DE IMPULSO DE RESONANCIA

Ensayo por Contacto y por Inmersión

Ensayo por Contacto.

En el ensayo ultrasónico por contacto, el palpador se sitúa en contacto directo con la superficie del material a ensayar, el acoplamiento se efectúa a través de una delgada capa de acoplante, generalmente semi-líquido, o pastoso. El ensayo por contacto es el más empleado en Inspecciones en obra, ya que estos equipos son, generalmente, portátiles.

Ensayo por inmersión

En el ensayo por inmersión tanto la pieza como el palpador se encuentran sumergidos en un líquido que sirve como acoplante y a través del cual se aplican las vibraciones.

Representación de discontinuidades

Existen tres tipos de representación de discontinuidades:

- La Representación "A" facilita correlación entre tiempo y amplitud. La existencia de discontinuidades se conoce mediante de unos ecos en la pantalla del TRC.
- La Representación "B" facilita una vista de la sección transversal de la pieza a ensayar.
- La Representación "C" facilita una vista en planta, similar a la que se obtiene en radiografía.

Debido a que la representación tipo "A" es la más utilizada, vamos a estudiar con mayor detenimiento su interpretación.

Representación de discontinuidades

La primera indicación (impulso inicial) aparece a la izquierda de la pantalla del TRC y la indicación de la reflexión en la superficie posterior aparece desplazada hacia la derecha. La indicación de la reflexión en la discontinuidad aparece entre las dos anteriores, su posición relativa depende de la profundidad a que la discontinuidad se encuentre. La onda transmitida al material que se ensaya, continua reflejándose en las superficies en que incide hasta que pierde su energía, la cual se disipa en forma de calor.

Las alturas de los ecos representan, las amplitudes de las reflexiones que experimentan las ondas ultrasónicas al incidir sobre las superficies que encuentran en su camino. Las distancias en la pantalla del TRC son proporcionales a los tiempos invertidos por el sonido en su recorrido.

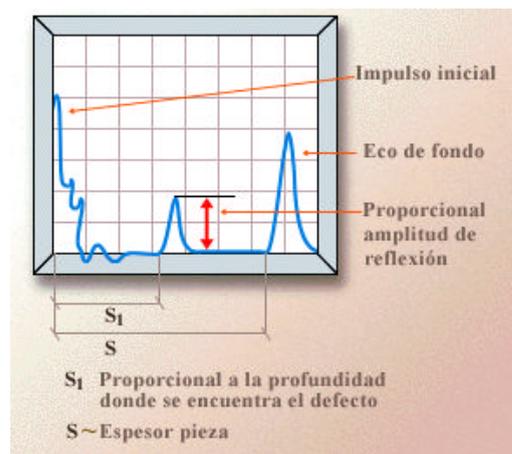


FIGURA 6.14 : REPRESENTACION DE DISCONTINUIDADES

Influencia del estado de la pieza a ensayar sobre la propagación de las ondas

Las Ondas Ultrasónicas se verán afectadas por:

- Estado Superficie.
- Geometría de la Pieza.
- Estructura interna.

Todos estos factores producirán falsas indicaciones y enmascaran otras. Las Superficies rugosas, pueden causar:

- Perdida de Amplitud Eco Discontinuidad.

- Pérdida de Amplitud Eco de Fondo.
- Aumento Ancho Eco Emisión con Pérdida de Resolución.
- Distorsión Directividad Ondas.
- Generación de Ondas Superficiales.

La reflexión ultrasónica es comparable a la de la luz, si Incide en superficies perpendiculares al haz, se refleja como la luz en un espejo y la respuesta será mejor cuando las superficies son paralelas, que cuando no lo son.

Palpadores

El palpador es el ojo de la inspección. Examina el material y manda una señal que se hace visible en la pantalla del TRC. Los palpadores están hechos de materiales piezoeléctricos (Cuarzo, Sulfato de Litio y Cerámicas Polarizadas).

Las cerámicas más usadas son:

- Titanato de Bario.
- Circonato de Plomo.
- Metauranato de Plomo.
- Titanato Doble de Circonio y Plomo.

Estos son excelentes generadores de energía.

Los cristales cortados al eje X producen ondas longitudinales y los cortados al eje Y transversales.

La Capacidad

La capacidad de un palpador se mide por su sensibilidad y poder de resolución.

Sensibilidad.

Sensibilidad es la capacidad que el palpador tiene para detectar pequeñas discontinuidades.

Se mide por la amplitud de su respuesta sobre una discontinuidad artificial en un bloque patrón. Palpadores similares tienen diferentes sensibilidades.

Resolución.

Resolución es la habilidad de separar reflexiones procedentes de dos discontinuidades. A mayor frecuencia, mejor resolución. Hay palpadores de muchas formas y tamaños, pero siempre hay que tener en cuenta que a mayor tamaño, menor dispersión y que los palpadores pequeños, de haz concentrado y alta frecuencia detectan mejor las discontinuidades pequeñas. Los palpadores grandes quedan limitados a bajas frecuencias por problema de rotura de cristales.

Acoplantes

Su principal función, es la de proporcionar al sonido un medio adecuado de transmisión, desde el palpador hasta la superficie de la pieza a ensayar, y eliminar el aire existente entre palpador y pieza, ya que, el aire tiene una impedancia acústica muy baja y es muy mal conductor de la energía sonora. Los acoplantes rellenan, las irregularidades superficiales, facilitando, en el ensayo por contacto, el movimiento del palpador a lo largo de la superficie e ensayar.

Los acoplantes pueden ser: líquidos, semi-líquidos, pastosos e incluso sólidos. El material acoplante empleado debe mojar, las superficies del palpador y de la pieza, asegurando así la eliminación del aire entre dichas superficies. Por ello se les añade, generalmente, un agente que facilita el mojado y asegura una adecuada adhesión. Además, deben ser homogéneos y libres de partículas sólidas o burbujas de aire. También deben ser sustancias fáciles de aplicar y retirar, pero con cierta tendencia a permanecer sobre las superficies, sin dañarlas o causar efectos perjudiciales sobre las mismas.

La elección de un acoplante, para el ensayo por contacto, depende en gran parte del estado de la superficie a ensayar. Una mezcla de una parte de glicerina y dos de agua ó aceite ligero, pueden ser adecuados para superficies relativamente lisas.

Bloques de Referencia y de Calibración

a) Bloques de Referencia

Los Bloques de Referencia sirven para comparar la amplitud de los ecos y poder determinar con bastante aproximación los tamaños reales de los defectos.

Bloques de Referencia Normalizados.

Están fabricados de materiales cuidadosamente seleccionados. En ellos se han efectuado discontinuidades artificiales en forma de taladros de fondo plano. Los más conocidos de estos son:

- Serie "A" de Alcoa, bloques amplitud-área.
- Serie "B" de Alcoa, bloques amplitud-distancia.
- Serie básica de ASTM.

b) Bloque de Calibración

Los Bloques de Calibración sirven para asegurarse del correcto funcionamiento del equipo y de los palpadores.

Equipos y accesorios

El equipo consiste básicamente en un instrumento electrónico capaz de generar, recibir y representar en la pantalla de un tubo TRC una señal electrónica.

El equipo genera impulsos electrónicos de alto voltaje y corta duración. El "Circuito de impulsos" controla la duración del impulso. (a veces se denomine anchura del impulso), y el "temporizador" controla las veces que el impulso se repite. Estos impulsos eléctricos son transmitidos simultáneamente al palpador y al amplificador receptor.

El palpador convierte los impulsos eléctricos en vibraciones mecánicas que son transmitidas a las piezas a ensayar. Un gran porcentaje de sonido es reflejado en la superficie frontal de la pieza y regresa al palpador, el resto del sonido se propaga a través del material y es

reflejado por la superficie posterior de la pieza o portas discontinuidades que encuentre en su camino.

Mandos de equipos

Iluminación de Escala.

- Control de Centrado Vesical de Base de Tiempos (sube y baja la base de tiempos).
- Control de Centrado Horizontal de Base de Tiempos (ajuste el eco inicial horizontalmente).
- Control Focal Ajuste el Foco del TRC y Corrige las Distorsiones Causadas por otros Ajustes.
- Control de Ganancia (Sensibilidad).
- Control de Base de Tiempo (Campo).
- Aumentando el campo veremos una parte menor de la pieza.
- Control de longitud de impulsos (Duración del Impulso).
- Duración Impulso -Energía- Penetración.
- Duración impulso-Resolución.
- Supresor de Hierba (elimina ecos parásitos producidos por ruido metálico y por estructura de grano grueso).

Selección del sistema de ensayo

Los ultrasonidos tienen sus limitaciones como cualquier otro ensayo, las más importantes son:

- Geometría de las piezas a ensayar que tengan contornos muy complejos.
- Estructura interna de los materiales con variaciones, en el tamaño de grano y que contengan porosidad, inclusiones o segregaciones abundantes y dispersas.

Estos dos factores afectan la facilidad con que se detectan los defectos (sensibilidad y resolución) así como la capacidad de diferenciar señales procedentes de discontinuidades o equipo electrónico.

Selección de frecuencia

Depende de

Grano Grueso (Bajo Frecuencia).

Dispersión Haz

Mal Estado Superficial (Baja Frecuencia).

A Mayor frecuencia menos Sensibilidad.

A Menor Frecuencia Mayor Penetración.

A Mayor Frecuencia Mejor Detección Discontinuidades Próximas a La Superficie.

Inspección de soldadura

Frecuencia: 1, 2, 5, 6.5 MHz

Palpadores Normales o Angular

La zona de fusión da un pequeño eco a veces con palpador angular.

- Cubrir toda la soldadura con el barrido del palpador angular.
- Tomar precauciones para no producir ondas de superficie.
- A medida que aumenta el espesor de la chape se debe disminuir el ángulo del palpador.

6.4 Radiografía

El objeto del END utilizando radiografía industrial es obtener información sobre la microestructura interna de la junta soldada.

El principio aplicado es el de la transparencia de los materiales para ondas electromagnéticas de energía apropiada (rayos gamma) y el uso de un transductor (película radiográfica) que permita el registro de la imagen obtenida por transparencia.

La aplicación del ensayo requiere el uso de una fuente productora de radiación, la obtención de una imagen radiante que sensibiliza la película radiográfica (transductor), la formación de una imagen latente en la película que una vez revelada brinda una imagen fotográfica observable visualmente por transparencia.

Esta imagen fotográfica o radiográfica es el registro de la estructura de la junta soldada en una proyección plana y correctamente interpretada permite obtener información sobre la presencia de discontinuidad, cambios de sección, variaciones locales de densidad o composición que pueden o no constituir defectos. El carácter permanente del registro obtenido constituye una de las ventajas del método.

6.4.1 Ventajas y limitaciones del ensayo por radiografía industrial

Ventajas

- Puede ser aplicado a casi todos los materiales.
- Una radiografía es un excelente registro permanente del estado interno del objeto inspeccionado.
- La evidencia o registro de calidad se obtiene directamente de la pieza inspeccionada.
- Permite ver la naturaleza de la discontinuidad.
- Detecta determinados errores de fabricación y muchas veces proporciona suficiente información sobre las medidas correctivas.
- Descubre las discontinuidades estructurales y los errores de montaje.

Limitaciones

- Peligro de irradiación: la operación del equipo presenta riesgos para el operador si no toma en cuenta las normas de seguridad de protección radiológica.
- El personal debe estar calificado y requiere entrenamiento y experiencia en la técnica debido a: seguridad (protección contra la radiación), procesado de las películas

fotográficas, evaluación de tiempos de exposición, selección adecuada del tipo de películas.

- Se requiere tener acceso por los lados opuestos del material para producir la radiografía.
- La forma de la pieza (geometría complicada) puede dificultar el producir una radiografía que proporcione la información adecuada.
- Las discontinuidades tales como fisuras, laminaciones, falta de fusión, etc. deben estar alineadas con, o ser paralelas al haz de radiación X o γ para detectarlas claramente.
- Esta limitado por el espesor del material. Resulta costoso siempre que se trate de examinar objetos muy gruesos los cuales requieren equipos con gran poder de penetración.
- El costo del equipo generalmente es alto, de tal forma que es de más alto costo dentro de los métodos de inspección.

6.4.2 Equipos de radiografía industrial

La generación de rayos X y la emisión de rayos γ (gamma) en radiografía industrial, se realizan con equipos especiales y acondicionados de acuerdo a su utilización.

La radiación X es generada por dispositivos electrónicos. La radiación γ (gamma) es producida por fuentes radiactivas naturales o por isótopos radiactivos artificiales producidos para fines específicos de radiografía industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137, tulio 170, etc.

Los equipos de radiografía industrial son:

- Equipos de Radiación γ (Gamma)
- Equipos de Radiación X

Para el proyecto red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao se usa en los ensayos END equipos de radiación Gamma.

6.4.3 Equipo de radiación gamma

El equipo de radiación γ emplea un radioisótopo (fuente radiactiva). Este radioisótopo emite radiación constantemente, es por éste motivo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlar la fuente radiactiva; esta fuente es como una pequeña píldora que es conectada al final del cable de control. Cuando la fuente está en el contenedor, la mayoría de la radiación gamma es absorbida por el blindaje. Cuando la fuente es sacada del contenedor por medio del cable de control la radiación del radioisótopo se dispersa en todas direcciones y es empleada para crear una radiografía.

Debido a que las fuentes radiactivas están emitiendo su radiación continuamente, estas fuentes tienen que manejarse y deben estar contenidas en contenedores o gammágrafos que, al tiempo que permiten su utilización en forma fácil y segura, garanticen una protección eficaz contra la radiación que emiten aún cuando no se estén utilizando. Existen tres tipos básicos de cámaras. Uno retiene en forma permanente la fuente en su interior y para hacer la exposición se abre un diafragma colimador del haz que restringe el ángulo sólido de exposición a un valor determinado. Otro tipo dispone de un mecanismo que permite conducir la fuente, por control remoto, desde el blindaje hasta el extremo de un tubo flexible que se posiciona en el lugar adecuado para hacer la exposición. Finalmente existe un tercer tipo, llamado de antorcha, este tiene restricciones en su uso por razones de seguridad y se lo emplea generalmente en la radiografía de soldadura de tuberías.

6.4.4 Fuentes de radiación gamma

Si bien en principio todo radioisótopo emisor de radiación gamma puede ser usado para radiografía en la práctica solo cinco de ellos reúnen características que permiten su aplicación en radiografía industrial. En la tabla 1 se dan las principales características de estas fuentes.

Radioisótopo	Cobalto 60	Cesio 134	Cesio 137	Iridio 192	Thulium 170
Periodo de semidesintegración	5,26 años	2,1 años	30 años	74 días	127 días
Energías (Me V)	1,17-1,33	0,48-1,4	0,66	0,30-0,61	0,052-0,084
Rango de aplicación : Acero (cm) Aluminio (cm)	5-15 15-45	5-10 15-30	5-10 15-30	1-7 3-20	0,25-1,25 0,75-3,75
Factor de exposición (Roentgens/hora por Curie a 1m de distancia)	1,3	0,87	0,33	0,48	0,0025

TABLA 6.1: CARACTERISTICAS DE LOS RADIOISOTOPOS

6.4.5 La practica radiográfica

Tal como dijimos antes una radiografía es el registro en un film fotográfico de la imagen radiante, de un objeto, producida por el paso de radiación X o gamma a través del mismo.

El film consiste en un soporte transparente cubierto en ambos lados con una capa de gelatina que contiene en suspensión granos extremadamente fino de haluro de plata. Cuando el film es expuesto a radiación gamma, ultravioleta o luz visible se produce una excitación fisicoquímica de los granos de haluro de plata. Así excitados pueden ser reducidos a partículas negras de plata metálica mediante un proceso químico controlado que se conoce como "revelado del film"; terminado este proceso se deben eliminar los granos de haluro de plata no reducidos mediante el "fijado" y lavado del film que elimina además todos los agentes químicos incorporados durante el "proceso del film". Seco el film su observación se debe hacer por transparencia.

La radiación es parcialmente absorbida, en función del espesor y densidad del material atravesado, emergiendo diferenciada en su intensidad y constituyendo la "imagen radiante" del objeto. Esta imagen radiante es recogida por el film radiográfico colocado inmediatamente detrás del objeto y protegido, por una cubierta contra el efecto de la luz. Se produce en el film una imagen latente que es puesta de manifiesto como la radiografía del objeto una vez realizado el proceso del film. En la radiografía aquellas partes mas oscuras

corresponden a las zonas donde la intensidad de radiación ha sido mayor es decir a las partes del objeto que tienen menor espesor o menor densidad. Al observar una radiografía se debe tener en cuenta tres características importantes.

Densidad

El ennegrecimiento que se produce en la película radiográfica, una vez que se ha sometido al tratamiento adecuado, es función de la cantidad de la plata metálica depositada por unidad de superficie, dependiendo a su vez de la cantidad de radiación absorbida por la emulsión sensible de película. El término empleado, tanto en fotografía como radiología, para designar el grado de ennegrecimiento de una película expuesta a la acción de una radiación es el de "**densidad fotográfica**" y se define como:

$$D = \log \frac{I_i}{I_t}$$

donde:

I_i : Intensidad del haz luminoso que se hace incidir sobre la película para su observación

I_t : Intensidad de la luz transmitida

D: Densidad fotográfica

La relación I_i/I_t es llamada "opacidad óptica" de la película y a su valor recíproco, "transmitancia". Para una película que transmita íntegramente la luz incidente, o sea, en la cual $I = I_t$ la opacidad será igual a 1 y su densidad fotográfica $D = 0$. En la película que transmita la mitad de la luz, la opacidad será 2 y $D = 0,3$. Las películas que transmiten 1/10, 1/100 y 1/1000 de la luz incidente tiene una opacidad respectiva de 10, 100 y 1000, mientras que sus correspondientes densidades serán 1, 2 y 3.

Contraste

Al observar una radiografía la imagen se ve como variaciones en la luz transmitida que llega al observador a través de distintas densidades. La diferencia entre la intensidad luminosa de dos áreas adyacentes es un índice de contraste.

El contraste percibido por el observador es un valor subjetivo que no puede medirse y depende del mismo y de las condiciones de observación. El contraste como valor objetivo puede ser medido mediante un densímetro y se expresa como la diferencia entre las densidades medidas en dos áreas adyacentes.

Cuando la diferencia en brillo entre dos áreas contiguas decrece hasta un cierto valor el ojo no es capaz de distinguirla. Experimentalmente se ha comprobado que en las mejores condiciones esta diferencia debe ser 1% como mínimo. El ojo más sensible cuando la luz transmitida es del orden de 10 Candelas por pie cuadrado y existe una neta transición de un campo a otro.

En la práctica esto significa que el reconocimiento de pequeñas diferencias de densidades es subjetivamente influenciado por la nitidez de bordes de la imagen y la intensidad.

Definición

La nitidez de bordes o límites entre dos áreas de diferentes densidades se conoce como definición radiográfica. El valor objetivo de la definición está dado por el ancho del límite entre dos zonas adyacentes de densidad diferente pero uniforme. Prácticamente su valor se obtiene registrando punto a punto los cambios de densidad a través del límite entre dos zonas adyacentes.

6.4.6 Indicadores de calidad de imagen

En una pieza sometida a un examen radiográfico, la percepción de los posibles defectos que en ella se pueden presentar depende tanto de la calidad de la imagen como la sensibilidad de la radiografía obtenida.

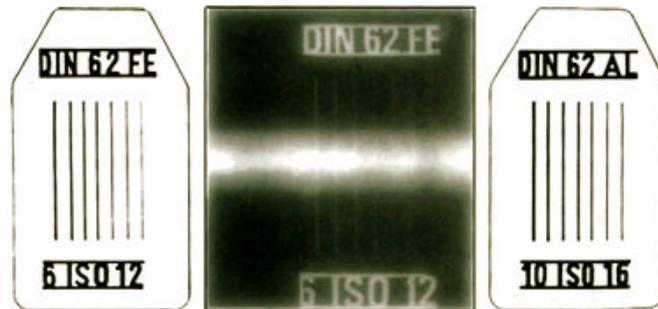


FIGURA 6.15 :INDICADORES DE CALIDAD DE IMAGEN

Para poder apreciar la calidad de la imagen radiográfica, debe traducirse esta apreciación en valor numérico recurriendo a lo llamados indicadores de calidad.

Los indicadores de calidad consisten, por ejemplo en una serie de hilos delgados de diferentes diámetros o de una serie de pequeñas planchas de grosores diferentes y provistas o no de pequeños agujeros de diámetros diferentes. Se coloca el indicadores de calidad del lado de la fuente de rayos y en contacto inmediato con el objeto a examinar.

La sensibilidad de una radiografía viene indicado, por ejemplo, por el numero de hilos más delgados todavía visibles. La sensibilidad puede expresarse también el %. Si por ejemplo, el diámetro de hilo mas delgado aun perceptible a simple vista representa el 5% del grosor del objeto examinado, se dirá que la sensibilidad es de 5. Los indicadores de calidad empleados deben ser de la misma naturaleza que el objeto a examinar.

El instituto internacional de la Soldadura (I.I.W.) recomienda dos sistemas de indicadores de calidad, los indicadores de hilos y los indicadores de peldaños con perforaciones, cuyos grosores y diámetros varían en progresión geométrica.

Existen actualmente dos series de indicadores de calidad que responden a las normas recomendadas y que son:

- Los indicadores de hilos según la norma DIN 54109 de 1962

No obstante, existen otros números indicadores de calidad de imagen que responden también a las especificaciones y a las normas del ejercito, de la industria petrolera, de la construcción naval, etc. Trataremos a continuación de algunos de los indicadores mas utilizados.

Indicadores de hilos

El indicador de calidad de imagen de hilos, constituido de acuerdo con la norma DIN 64 109, 1962, consiste en una serie de hilos cuyos diámetros varían según la progresión geométrica adoptada por el I.I.W / I.I.S. habiéndose previsto tres series de indicadores de siete hilos cada una. Estos hilos van embutidos en un material plástico transparente.

Cada uno de estos Indicadores lleva una serie de marcas que aparecen en la radiografía.

Estas marcas son de dos clases:

- Marcas Comunes: DIN-62 SO.
- Marcas Variables: Fe 1-7, Al 6-12, Cu 10-16

Estas marcas variables se deben a que existen tres clases de indicadores: una para la radiografía de la fundición y los distintos tipos de acero (clase Fe), otra para el aluminio y sus aleaciones (clase Al) y una tercera para el cobre y sus aleaciones (clase Cu). Los grupos de cifras 1-7, 6-12 y 10-16, son los números de orden del primero y último de los hilos de cada Indicador.

Al examinar las radiografías, se podrá observar sobre su imagen una serie de hilos y conociendo la progresión en que varían sus diámetros, podemos saber cuál es el del hilo más fino que sea perfectamente visible.

Indicadores de escalones con taladros

Los indicadores que siguen la norma francesa AFNOR NF, A04-304-1 959 son planchas metálicas de peldaños. El grosor de los peldaños varía según una progresión geométrica, que corresponde a las recomendaciones de la I.I.W. Cada peldaño tiene uno o varios agujeros, cuyo diámetro, es igual al grosor del peldaño. Existen varios modelos de planchas de peldaños. La serie de indicadores utilizados más corrientemente consiste en una plancha de peldaños cuadrados de 15x15 mm y en tres planchas de peldaños hexagonales, compuesta cada una por 6 triángulos de 14 mm.

Los peldaños cuyo grosor es inferior a 0,8 mm están provistos de dos agujeros de igual diámetro. Para que la imagen de un peldaño determinado sea considerada como visible, es necesario que todos los agujeros de este peldaño sean visibles en el clisé. El indicador se coloca sobre la pieza y en íntimo contacto con ella.

6.4.7 Defectos detectados por el método de radiografía industrial

- Defectos internos y variaciones de fabricación.
- Penetración inadecuada
- Fusión incompleta
- Concavidad interna
- Quemón
- Inclusión de escoria
- Porosidad
- Fisuras
- Mordedura

6.4.8 Evaluación

Las radiografías deben ser examinadas en una habitación o cámara oscurecida, con la ayuda de un megatoscopio cuya superficie iluminada pueda ser regulada al mínimo compatible con el examen adecuado de la imagen radiográfica. La intensidad de iluminación deberá poder ser variada, con el fin de permitir una lectura satisfactoria de las radiografías. En nuestra opinión, antes de emprender la interpretación de una radiografía es necesario disponer de los siguiente grupos de datos:

A. Información sobre el objeto radiografiado.

- Material.
- Rango de espesores.
- Proceso de fabricación del objeto.
- Planos del mismo.
- Informes sobre su aspecto superficial obtenido por inspección visual.
- Informe sobre otros ensayos realizados sobre el objeto.
- Conocimiento de lo que se pretende conseguir del ensayo, defectos que se desea detectar, zonas críticas, etc.

B. Información sobre la técnica radiográfica seguida:

- Tensión de trabajo.
- Exposición.
- Película.
- Distancia.
- Uso de filtros, hojas reforzadoras, etc.
- Otros datos que puedan ser significativos.

Nunca deberá emprenderse el examen de una radiografía de responsabilidad sin tener conocimiento de estos datos.

6.4.9 Resumen de la ejecución del ensayo radiográfico

La secuencia resumida de la ejecución del ensayo es la siguiente:

- Verificar las dimensiones de la pieza a ser radiografiada.
- Definir técnica radiográfica, distancia fuente película, cantidad de película, IQI, etc.
- Montar los chasis.
- Definir tiempo de exposición.
- Preparar los equipos y tomar precaución en cuanto a protección radiológica.
- Verificar las condiciones de limpieza y preparación de las piezas a ser radiografiadas.
- Preparar las superficies si fuese necesario.
- Aislar el área, montar las películas en la pieza y ejecutar las exposiciones.
- Procesar las películas y verificar la calidad de los mismos.
- Preparar las cubiertas de las radiografías.
- Emitir un veredicto de acuerdo con los criterios de aceptación.

CAPITULO 7

COSTOS EN PROCESOS DE SOLDADURA, REPARACION Y CORTE

7.1 Costos relativos a la calidad

Una mejor calidad exige un menor costo: buena calidad significa buena utilización de recursos (equipos, materiales, información, recursos humanos, etc.), es decir, costos más bajos y mayor productividad.

Para que un sistema de gestión de calidad funcione es importante que toda la organización del proyecto participe, y se definan las responsabilidades y cada uno de los integrantes entiendan la importancia que significa conocer el tema de costos de calidad.

La medida del costo de la calidad como primer paso ha de servir para adquirir un conocimiento firme del nivel en que se encuentran las actividades de calidad del proyecto.

La medida y el análisis del costo de la calidad deben conducir al establecimiento de un programa en el que se definan las acciones que se deben llevar a cabo para corregir los desequilibrios observados en diferentes áreas de forma que se tienda a conseguir en todo el proyecto un sistema armónico de calidad.

Como resumen de lo anterior, se puede decir que los costos de calidad son las herramientas para conocer dónde y cómo se encuentra el sistema de calidad de calidad para el proyecto, qué es necesario hacer y cuánto se va a gastar y ahorrar para conseguir el nivel que se ha fijado alcanzar.

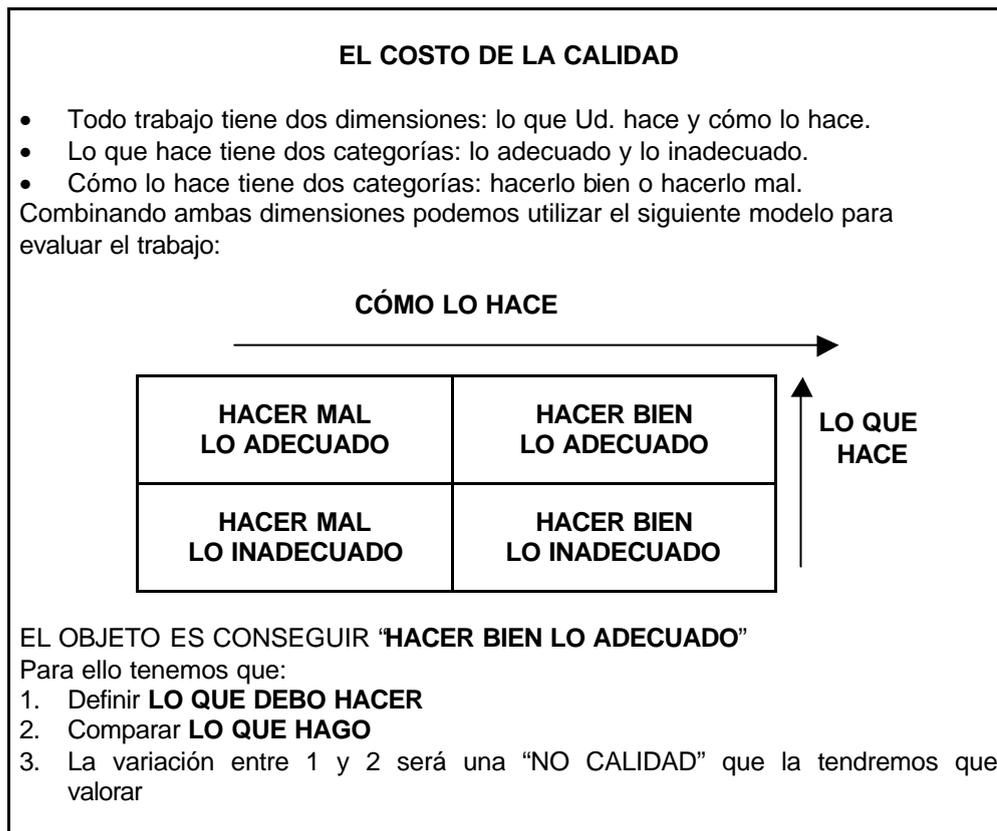


FIGURA 7.1 : EL COSTO DE LA CALIDAD

En la figura 7.2, se indica la suma de los costos de calidad y costos de no calidad cuyo resultado se conoce como costos totales de calidad. A continuación se definen los distintos tipos de costos:

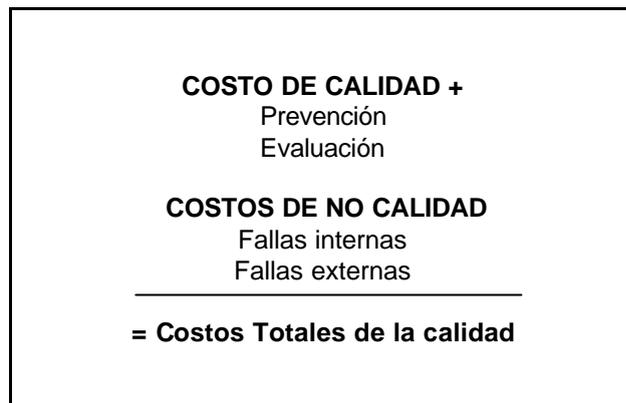


FIGURA 7.2 : COSTOS TOTALES DE LA CALIDAD

7.2 Costos de calidad

Son los gastos originados por el desarrollo de actividades necesarias para alcanzar los objetivos de calidad definidos por la Gerencia del Proyecto. Reflejan el esfuerzo económico de la empresa para asegurar que la soldadura cumpla los requisitos establecidos contractualmente en las especificaciones técnicas y el estándar API 1104-99 aplicable en el proyecto. De acuerdo a la figura 7.2 es la suma de los costos de prevención y los costos de evaluación.

7.2.1 Costos de prevención

Gastos originados por el desarrollo de actividades necesarias para mejorar el sistema de calidad, y prevenir la aparición de defectos, asegurando económicamente los niveles de calidad establecidos. (por ejemplo: planificación de calidad, formación de la cultura de calidad, etc.).

Los costos de prevención para todas las actividades que se consideran en el proceso de soldadura del proyecto red de distribución de Gas Natural para lima y callao son los siguientes:

7.2.1.1 Planificación y administración de la calidad

7.2.1.2 Desarrollo del sistema de calidad

7.2.1.3 Desarrollo de los procedimientos de calidad

7.2.1.4 Capacitación del personal para la calidad.

- 7.2.1.5 Gastos administrativos
- 7.2.1.6 Especificación de procedimiento de soldadura
- 7.2.1.7 Calificación de procedimiento de soldadura
- 7.2.1.8 Calificación de soldadores
- 7.2.1.9 Evaluación de proveedores
- 7.2.1.10 Costo de prevención de operaciones
- 7.2.1.11 Auditorias del sistema de calidad

A continuación se desarrolla cada uno de estos elementos.

7.2.1.1 Planificación y administración de la calidad

Costos originados por actividades de análisis de la información que comprende el proyecto (especificaciones técnicas, estándares de calidad, norma ISO 9001:2001, etc.), con el fin de establecer los requisitos que deben cumplirse en el proyecto.

7.2.1.2 Desarrollo del sistema de calidad

Costos incurrido en plasmar el manual del sistema de calidad para el proyecto de distribución de Gas Natural para Lima y Callao.

7.2.1.3 Desarrollo de los procedimientos de calidad

Son los costos incurrido para la elaboración de los procedimientos de calidad que deben responder a los requerimientos mínimos establecidos en el contrato del proyecto.

Dentro estos documentos debemos considerar a los procedimientos generales y las instrucciones técnicas de trabajo con sus respectivos registros de calidad, por ejemplo: calificación de soldadores, procedimientos de soldadura, reparación, corte, etc.

7.2.1.4 Capacitación del personal para la calidad

Son los costos incurridos en el desarrollo y realización de programas de formación en el tema de calidad (charlas de inducción), con el objeto expreso de prevenir errores - programas que hacen hincapié en el valor de la calidad y el papel que cada integrante debe desempeñar en su labor.

7.2.1.5 Gastos administrativos

Son los costos incurridos en la administración global de la función de calidad.

- **Salarios del personal de calidad**

Costos de compensación de todo el personal de la función de calidad (gerente, supervisores de soldadura, supervisores de control de calidad, ingenieros , etc.).

- **Gastos administrativos**

Son todos los demás costos y gastos cargados o asignados a la función de gestión de calidad que no estén cubiertos específicamente en otra parte de este sistema (tales como útiles de oficina, fotocopiadora, internet, luz, teléfono, etc.).

- **Informes y reportes de comportamiento de la calidad**

Son los costos incurridos en el mantenimiento y la administración del sistema de base datos, para ver el comportamiento de la calidad, compilación, análisis y publicación de los impresos diseñados para promover la mejora continuada del comportamiento de la calidad. Los Informes del costo de la calidad se incluirían dentro de esta categoría.

- **Educación para la calidad**

Son los costos incurridos en llevar a cabo los programa de educación para la calidad, donde hacen resaltar en el valor del comportamiento de la calidad y el papel que desempeña cada función en su consecución, como el trabajo de soldadura.

7.2.1.6 Especificación de procedimiento de soldadura

Costos originados por las actividades de análisis del diseño, definición del proceso a emplear en la soldadura, selección del metal de aporte y ensayos a los que serán sometidos de acuerdo al estándar API 1104-99.

7.2.1.7 Calificación de procedimiento de soldadura

Costos originados por las actividades de:

- Ejecución de la especificación del procedimiento
- Preparación de probetas a ser ensayadas
- Resultados de ensayos destructivos, por una entidad externa.

7.2.1.8 Calificación de soldadores

Son los costos originados en verificar la destreza del personal que se encargara de la soldadura. A través de la elaboración de sus probetas y el sometimiento de estas al ensayo no destructivo y la emisión de las respectivas homologaciones.

7.2.1.9 Evaluación de proveedores

Costo del personal dedicado a:

- Implantar y aplicar un sistema de evaluación de suministradores, y determinar las correspondientes calificaciones para mejorar la selección.
- Perseguir los problema de calidad en los materiales suministrados y orientar a los suministradores en el cumplimiento de las acciones correctoras que deban revisar.

7.2.1.10 Costo de prevención de operaciones

Son los costos incurridos para garantizar la capacidad y disponibilidad de las operaciones en cumplir las normas y requisitos de calidad especificadas para el

proyecto, planificación del control de calidad de todas las actividades de producción.

Procesos de validación de operaciones

Es el costo de las actividades establecidas con objeto de garantizar la capacidad de los nuevos métodos, procesos, equipos, maquinaria y herramientas de producción para que funcionen consistentemente dentro de los límites requeridos.

7.2.1.11 Auditorias del sistema de calidad

Costos originados por las actividades que significa realizar auditorias que tengan por objeto evaluar la eficacia del sistema de calidad.

7.2.2 Costos de evaluación

Gastos originados por el desarrollo de actividades como ensayos, inspecciones y verificaciones, etc necesaria para comprobar que se consiga la calidad especificada.

Los elementos de costos de evaluación para el proyecto son los siguientes:

7.2.2.1. Costo de evaluación de compras

7.2.2.2. Verificación de recepción de entrada de material.

7.2.2.3. Adquisición de equipos para medir la calidad

7.2.2.4. Calibración de equipos para medir la calidad

7.2.2.5. Verificación de producción interna

7.2.2.6. Costo de evaluación de operaciones.

7.2.2.7. Medida de control de proceso

7.2.2.8. Inspección y toma de datos de parámetros eléctricos de soldadura

7.2.2.9. Registros de calidad de soldadura

7.2.2.10. Ensayos y pruebas

7.2.2.11. Ensayos especiales

7.2.2.12. Revisión del dossier de calidad

7.2.2.13. Costo de evaluación externa

Los elementos mencionados anteriormente son desarrollados a continuación:

7.2.2.1 Costo de evaluación de compras

Generalmente los costos de evaluación de compras se pueden considerar como los costos incurridos en la inspección y/o ensayo de los materiales comprados para determinar su aceptabilidad para el uso. Estas actividades se pueden realizar como parte de una función de inspección en recepción o como inspección en origen en las instalaciones del proveedor.

para el proyecto de tesis los materiales son suministrados por el cliente, esto significa que el cliente ha puesto en practica su sistema de evaluación de compras.

7.2.2.2 Verificación de recepción de entrada de material

Son los costos de todas las inspecciones y/o ensayos rutinarios que se someten a los materiales y productos adquiridos. Estos costos representan los costos iniciales de la evaluación de los artículos comprados como continuación de la función normal de inspección en recepción.

7.2.2.3 Adquisición de equipos para medir la calidad

Es el costo de la adquisición de equipos e instrumentos de medida y galgas utilizados en la evaluación e inspección de los trabajo.

7.2.2.4 Calibración de equipos para medir la calidad

Son los costos de calibración y mantenimiento de los instrumentos de medición y control. El control de estos equipos garantizan la integridad de los resultados, sin la cual la eficacia del programa de evaluación estaría en peligro.

7.2.2.5 Verificación de producción interna

Costos originados por actividades de inspección desarrolladas durante el proceso productivo, donde incluyen:

- Costos de inspección realizadas por el personal del área de calidad.
- Costos de inspección realizadas por personal del área de producción

7.2.2.6 Costo de evaluación de operaciones

Es el de todas las inspecciones y/o ensayos planificados, realizados durante el proceso constructivo en puntos seleccionados a lo largo de toda la etapa de operación, incluyendo el punto de entrega final.

7.2.2.7 Medida de control de proceso

Es el costo de todas las medidas planificadas realizadas en la línea de producción (temperatura de precalentamiento, voltaje, amperaje de la soldadura etc.), para garantizar la conformidad de los trabajos. Incluye los ajustes realizados para mantener resultados favorable.

7.2.2.8 Inspección y toma de datos de parámetros eléctricos de soldadura

Son los costos de medición y toma de datos necesarios para determinar y garantizar la aceptabilidad de la soldadura, y continuar con la producción.

7.2.2.9 Registros de calidad de soldadura

Es el costo correspondiente a la toma de datos de soldadura, reparación, corte, etc, que garantiza el cumplimiento de los controles efectuados.

7.2.2.10 Ensayos y pruebas

El costo de todos los ensayos no destructivos, realizadas a las juntas soldadas a lo largo de todo el proceso de construcción.

También incluye el costo total de cualquier muestra adicional necesaria. Este es el costo inicial de evaluación de operaciones. No incluye los costos de hacer frente a anomalías, procesos y reparaciones todos los cuales se define como costo de fallas.

7.2.2.11 Ensayos especiales

Es el costo de las inspecciones y ensayos no rutinarios realizados sobre las juntas soldadas, formando parte del plan de evaluación. Estos costos incluyen normalmente el ensayo destructivo de una junta por cada 15 km de tuberías soldadas.

7.2.2.12 Revisión del dossier de calidad

Es el costo correspondiente al ordenamiento de los registros de calidad en forma cronológica de toda la información recopilada por la función calidad.

7.2.2.13 Costo de evaluación externa

Se incurre en costos de evaluación externas siempre que haga falta una preparación o instalación y comprobación previas a la aceptación oficial por parte del cliente. También cuando son necesarias las pruebas en servicio de nuevos productos.

7.3 Costos de no calidad

Son los gastos asociados a las fallas de los productos que no cumplen los requisitos acordados con el cliente. Reflejan las consecuencias económicas negativas que ocasionan las fallas en materia de calidad. Son la sumas de los costos de las fallas internas y los costos de fallas externas.

7.3.1 Costos de fallas internas

Son los gastos asociados a los productos que no cumplen los requisitos de calidad y que se manifiestan antes de su entrega al Cliente, entre las que podemos identificar:

- 7.3.1.1. Costo de revisión de materiales y acción correctora
- 7.3.1.2. Costos de reparación de materiales y acción correctora
- 7.3.1.3. Reelaboración de registros de calidad
- 7.3.1.4. Identificación y elaboración de registros no elaborados
- 7.3.1.5. Tratamiento y cierre de no conformidades
- 7.3.1.6. Costo de repetición de ensayo
- 7.3.1.7. END de juntas soldadas después del corte
- 7.3.1.8. Producto y materiales rechazados
- 7.3.1.9. Costo de reparación y reproceso de operaciones
- 7.3.1.10 Perdida de mano de obra de fallas internas

A continuación definiremos cada uno de los costos de fallas internas:

7.3.1.1 Costo de revisión de materiales y acción correctora

Es el costo de la investigación de todos los problemas necesaria para resolver completamente los problemas del producto.

7.3.1.2 Costos de reparación de materiales y acción correctora

Son los costos incurridos en la revisión y disposición del producto no conforme y las acciones correctoras necesarias para subsanar los defectos y evitar que vuelvan a ocurrir.

- **Reparación de juntas**

Es el costo (materiales, mano de obra y gastos generales), de todo el trabajo realizado para reparar la junta rechazada y llevar la junta a una condición aceptable según el estándar API 1104.

- **Corte de una junta, teniendo la posibilidad de repararse**

Es el costo que representa tomar la decisión de cortar una junta sin considerar la alternativa que se tiene de reparar la junta para no llegar al corte.

- **Corte de una junta reparada**

Es el costo que significa realizar una mala reparación, para que después se procede al corte y elimine el trabajo de haberse reparado.

- **Corte de una junta rechazada por mala practica**

Es el costo de eliminar una junta para ser cortada, por no cumplir con los estándares de calidad establecidas en el API 1104-99.

- **Corte de juntas aprobadas por mala planificación**

Es el costo que significa cortar juntas soldadas y aprobadas, solo por una mala previsión de los trabajo (falta de planificación).

7.3.1.3 Reelaboración de registros de calidad.

Son todos los costos incurrido en el proceso de rehacer registros de calidad mal elaborados.

7.3.1.4 Identificación y elaboración de registros no presentados.

Son todos los costos incurridos en la verificación de la trazabilidad y elaboración de registros que no fueron presentados oportunamente por la función calidad.

7.3.1.5 Tratamiento y cierre de no conformidades

Es el costo que se incurre para tomar la acción correctiva, y llevar la no conformidad a una situación estándar y completar documentalmente con el cierre de la no conformidad.

7.3.1.6 Costo de repetición de ensayos

Es aquella parte de la inspección, ensayos y trabajo en que se incurre a causa de los rechazos. Una de las repeticiones típicas son los ensayos de ultrasonido que se realizan después que la junta ha sido reparada.

7.3.1.7 END de juntas soldadas después del corte

Es el costo de los ensayos no destructivos realizados a las junta que fueron cortadas y soldadas por segunda vez.

7.3.1.8 Productos y materiales rechazados

Es el costo (materiales, mano de obra y gastos generales) de un producto defectuoso que se desecha porque no se puede reprocesar para que sea conforme con los requisitos establecidos. Las perdidas inevitables de material (tales como niples de tuberías, aproximadamente 1m de longitud) que se retira junto con la soldadura rechazada.

7.3.1.9 Costo de reparación y reproceso

Son los costos de mano de obra, materiales y gastos generales de reproceso efectuados durante la construcción de la línea del gasoducto.

7.3.1.10 Perdida de mano de obra de fallas internas

Es el costo de la mano de obra que se deja de aprovechar por el hecho de estar ocupado en tareas de reparaciones y reproceso, cuando debería de estar avanzando con la producción.

7.3.2 Costos de las fallas externas

Son los gastos asociados a los productos que no cumplen los requisitos de calidad, y que se manifiestan después de su entrega al Cliente. Entre estos costos tenemos identificados:

7.3.2.1. Costos por garantías

7.3.2.2. Garantías comerciales

7.3.2.3. Servicio al cliente y al producto

7.3.2.4. Levantar observaciones de los registros de calidad

7.3.2.5. Investigación de reclamaciones

7.3.2.6. Tratamiento y cierre de no conformidades

7.3.2.7 Costo de reconversión

A continuación detallamos cada uno de los costo de fallas externas:

7.3.2.1 Costos por garantías

Costos originados por actividades de servicio a clientes para subsanar defectos de calidad, cuando se ha acordado contractualmente. O por compromiso de garantía contractual.

7.3.2.2 Garantías comerciales

Costos aceptados por razones de interés comerciales, para subsanar defectos de calidad de sus productos fuera de las condiciones estipuladas en las garantías contractuales.

7.3.2.3 Servicio al cliente y al producto

Costos originados por actividades de investigación de quejas del Cliente, así como la comprobación de su satisfacción con el servicio.

7.3.2.4 Levantar observaciones de los registros de calidad

Son los costos de revisión, comprobación de la trazabilidad de datos, evaluación, rectificación y emisión de nuevos registros de calidad dejadas de emitir en su debido momento.

7.3.2.5 Investigación de reclamaciones

Es el costo de investigar, resolver y responder a las reclamaciones o interrogantes del cliente, incluyendo el servicio postventa necesario.

7.3.2.6 Tratamiento y cierre de no conformidades

Son los costos de las acciones que hay que tomar para atender las no conformidades, y estas pueden ser:

- La no conformidad se cierra sin reparar
- La no conformidad se cierra previa reparación
- La no conformidad se cierra retirando el trabajo mal efectuado

7.3.2.7 Costo de reconversión

Son los costos de modificar o actualizar los productos y ponerlos a un nuevo nivel determinado por un cambio de diseño, basado en una reforma importante del diseño debido a deficiencias del mismo. Sólo incluye aquella porción de reconversiones que se deben a problemas de calidad.

7.4 Análisis de costo de soldadura

Para la evaluación del costo de soldadura nuestro análisis estará basado en el soldeo de los 360° de un empalme entre dos tuberías que pueden ser de 20", 10³/₈ ", 6 " y 4¹/₂ de diámetro.

El análisis de costos de soldadura es una herramienta que muchas personas no lo entienden por variedad de razones, una de estas razones es la parte numérica y los conceptos en el campo de la soldadura.

Los costos de soldadura están desglosados en 3 áreas básicas: Materiales, Mano de obra y Equipo & Herramienta en una operación típica de soldadura para nuestra evaluación tenemos que del 60 al 65% del costo de soldadura esta referido al costo de equipos & herramienta y del 25 al 30% con la mano de obra, los costos de materiales hacen la diferencia restante y sin embargo esta es el área que por lo general mas se concentran para hacer reducciones de costos o sacrificios en la calidad de soldadura.



FIGURA 7.3 : SOLDADURA DE TUBERIA

Para el desarrollo del tema de tesis el análisis de costos de soldadura estará en función de la junta soldada (US\$/Junta). Pudiendo ser estas para junta de tuberías de 20", 10³/₈ ",

6 " y 4^{1/4} para esto consideraremos la siguiente distribución para el análisis de costo de soldadura:

- Costos de Materiales
- Costo de Mano de Obra
- Costo de Equipo & Herramienta

7.4.1 Constantes, Parámetro y Nomenclaturas

TABLA 7.3 : Constantes usadas

Item	Constante	Símbolo	Valor	Unidad
1	Peso específico	γ	7850	kg/m ³
2	Pi	π	3.1415	Cte.

TABLA 7.4 : Parámetros y Nomenclaturas

Item	Descripción	Símbolo	Unidad
1	Peso de metal depositado	Pmd	kg/Junta
2	Area de secc. Transversal	S _t	mm ²
3	Area de secc. de raíz	S _{raíz}	mm ²
4	Area de secc. de relleno-cobertura	S _{r-c}	mm ²
5	Longitud de soldadura	L	mm
6	Diámetro nominal	D	mm
7	Eficiencia de deposición	Ed	%
8	Velocidad de deposición	Vd	kg/
9	Tiempo arco prendido	T _{AP}	
10	Factor de Operación	fo	%
11	Tiempo pagado	T _{Pagado}	.
12	Costo de electrodo	Ce	US\$/Junta
13	Valor de electrodo	Ve	US\$/kg
14	Costo de Mano de Obra	CMO	US\$/Junta
15	Valor de Mano de Obra	VMO	US\$/
16	Costo de Gastos Generales	CGG	US\$/Junta
17	Valor de Gastos Generales	VGG	US\$/
18	Costo de Equipo	CEq	US\$/Junta
19	Valor de Equipo	VEq	US\$/
20	Costo de herramienta	CH	US\$/Junta

A continuación definiremos e indicaremos las formulas a emplearse en el análisis de costo de soldadura para una junta.

7.4.1.1 Peso de metal depositado (Pmd)

Es la cantidad de metal de aporte necesario para completar los 360° de cordón de soldadura para unir dos tuberías, esta información es fundamental para determinar los costos de soldadura con electrodo de arco manual (SMAW).

En cada procedimiento calificado de soldadura se especifica el diseño de la unión soldada y por lo tanto queda establecida la geometría de esta, la sección transversal (S_t) se calcula geoméricamente. El peso de metal depositado se calcula mediante la formula siguiente:

$$Pmd \text{ (kg/Junta)} = S_t \times L \times g_a \dots\dots\dots(7.1)$$

Si de una junta soldada se extrae solamente el metal depositado, el Pmd estaría representado por la figura 7.4B y si a esta junta le hacemos un corte transversal tendríamos la S_t mostrada en la figura 7.4A.

En la figura se muestra el cordón de soldadura de una junta, para calcular el peso de metal depositado se tendrá que hallar el área de la sección transversal longitud de soldadura.



FIGURA 7.4 A : SECCION TRANSVERSAL

FIGURA 7.4 B : PESO DE METAL DEPOSITADO

a) Area de Sección Transversal (S_t)

De acuerdo al procedimiento calificado de soldadura, la junta realiza en 7 pases donde el 1er pase es de raíz con el electrodo E6010 de Φ 4mm y el pase en caliente, pases de relleno, y el pase de cobertura es con electrodo E8010-G de Φ 5mm, por tanto para el análisis de costo se debe tener en cuenta que S_t es el suma de las áreas parciales.

TABLA 7.5 : Cantidad de pases por sección transversal

Pases	Secuencia	Sección transversal	
		S_{raiz}	S_t
Raíz	1 ^{er} Pase	S_{c-c}	S_t
Caliente	2 ^{do} Pase		
Relleno 1	3 ^{er} Pase		
Relleno 2	4 ^{to} Pase		
Relleno 3	5 ^{to} Pase		
Relleno 4	6 ^{to} Pase		
Cobertura	7 ^{mo} Pase		

De la tabla 7.5 tendremos que la sección transversal esta conformado por la suma de las áreas parciales:

$$S_t = S_{raiz} + S_{c-c}$$

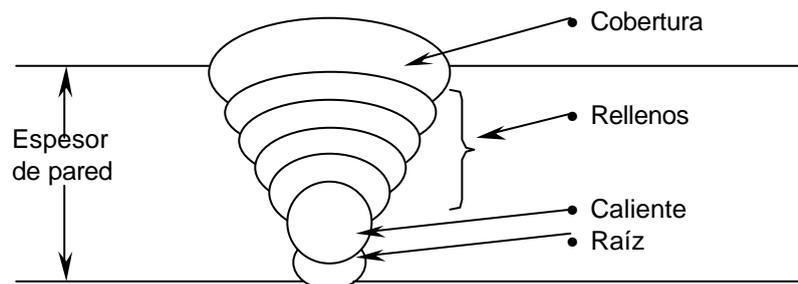


FIGURA 7.5: DISTRIBUCIÓN DE PASES

Para las juntas que se van a calcular el análisis de costo de soldadura, El diseño está definido tal como se muestra en la figura 7.6 puesto que las tuberías suministradas vienen de fabricación con un bisel de 30° preparados en ambos extremos.

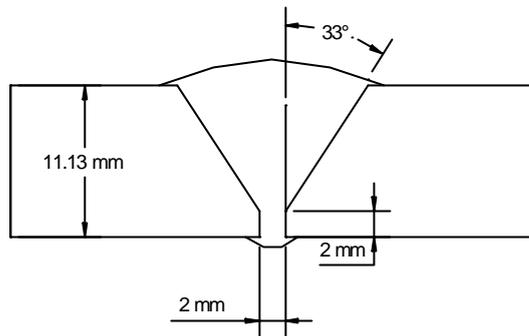


FIGURA 7.6 : DISEÑO DE JUNTA

b) Longitud de soldadura (L)

La longitud de soldadura esta dado por el desarrollo de la circunferencia de la tubería, por lo tanto esta longitud de soldadura esta en función del diámetro de la tubería, la figura 7.7 muestra la longitud de soldadura en un tubería y se calcula según la formula siguiente:

$$L \text{ (mm)} = \delta \times D \dots\dots\dots(7.2)$$



FIGURA 7.7 : LONGITUD DE SOLDADURA

c) Peso especifico del acero (g_a)

El peso especifico para el material de la tubería (API 5LX56 PSL 2) densidad de aporte tiene un valor de 7850 kg/m³

7.4.1.2 Eficiencia de deposición (Ed)

Es la relación entre el metal efectivamente depositado y la cantidad en peso de electrodos requeridos para efectuar el deposito de soldadura, y corresponde a la razón entre el peso de metal depositado y el peso total de los electrodo usados, expresada en porcentaje.

Para el peso de electrodo requerido en una junta debemos considerar los desperdicios que existen en la soldadura tales como salpicaduras y residuos de colillas.

Por otro lado el procedimiento de soldadura exige el uso de grampa externa de alineamiento de tuberías para realizar el 50% de la longitud del pase de raíz como mínimo, esta grampa tiene varios puntos de apoyo en la longitud de soldadura, los puntos de apoyo obligan a realizar paradas durante el pase de raíz generando mayor desperdicio de electrodo, hasta retirar la grampa y apartir de este momento hasta el ultimo pase también existen desperdicios de eléctrodos por los pases que se realizan.

En todos los casos se desecha los electrodos sobrantes y por consiguiente tenemos una eficiencia de deposición baja.

Una forma practica de hallar la eficiencia de deposición es teniendo el peso depositado y el peso de electrodos usados para la soldadura de una junta.

También recomendaciones para determinar la eficiencia de deposición que muestra en la tabla 7.6.

TABLA 7.6 : Eficiencia de deposición

<u>Proceso</u>	<u>Eficiencia Deposición</u>
Electrodo Manual	60 - 70
MIG Sólido	90
MIG Tubular c/protección	83
MIG Tubular s/protección	79
TIG	95
Arco sumergido	98

7.4.1.3 Velocidad de deposición (Vd)

La velocidad de deposición es el peso de metal depositado (Pmd) por unidad de tiempo de arco prendido. Se calcula según la fórmula siguiente:

$$Vd(\text{kg/h}) = \frac{Pmd}{T_{AP}} \dots\dots\dots(7.3)$$

7.4.1.4 Factor de operación (fo)

Corresponde a la razón entre el tiempo del arco prendido (tiempo real de deposición) y el tiempo total que utiliza el soldador para realizar la junta soldada (tiempo pagado), expresada en porcentaje.

El factor de operación disminuyen con trabajos de retiro de la grampa de alineamiento, limpieza entre pases, cambio de electrodo, etc.

El factor de operación se calcula según la fórmula siguiente:

$$fo(\%) = \frac{T_{AP}}{T_{\text{pagado}}} \times 100 \dots\dots\dots(7.4)$$

Existen recomendaciones de fo en función del proceso a emplear tal como muestra el siguiente tabla 7.7

TABLA 7.7 : Factor de operación

<u>Proceso</u>	<u>Factor de Operación (%)</u>
Electrodo Manual	5 - 30
MIG solido	10 - 60
MIG Tubular	10 - 60
TIG	5 - 20
Arco Sumergido	50 - 100

7.4.1.5 Costo de materiales

Dentro de los costos de materiales se considera el costo de electrodo empleado en una junta, y está expresado en (US\$/Junta).

El costo de Material se calcula en base al peso de metal depositado (Pmd), valor del electrodo (Ve) y la eficiencia de deposición (Ed), el costo de material se calcula según la siguiente formula:

$$\text{Costo de Materiales (US$/Junta)} = \frac{\text{Pmd} \times \text{Ve}}{\text{Ed}} \dots\dots\dots(7.5)$$

7.4.1.6 Costo de mano de obra (CMO)

El costo de mano de obra para producir una junta entre dos tuberías depende del peso de metal depositado, Velocidad de Deposición, Factor de Operación y Valor de Mano de Obra.

Dentro del costos de mano de obra, se considera un porcentaje de la participación de cada personal para realizar una junta:

1. Supervisor de línea
2. Supervisor soldadura
3. Supervisor QC de soldadura
4. Soldador calificado
5. Maniobrista de Hiab
6. Operador de Hiab
7. Alineador de tubería
8. Ayudante de soldadura
9. Ayudante de regulación de amperaje
10. Ayudante de alineador

El costo de Mano de Obra esta expresado en dólar por junta (US\$/Junta). Se calcula según la siguiente formula:

$$\text{CMO (US$/Junta)} = \frac{\text{Pmd} \times \text{VMO}}{\text{Vd} \times \text{fo}} \dots\dots\dots(7.6)$$

7.4.1.7 Costo de equipo & herramientas

Costo de Equipo (CEq)

Es el costo de equipo esta representado por el costo de alquiler camión Hiab, motosoldadora, etc. El calculo del costo de Equipo se calcula según la formula siguiente :

$$CEq (US\$/junta) = \frac{Pmd \times VEq.}{Vd \times fo} \dots\dots\dots(7.7)$$

Costo de herramienta (CH)

Para el costo de herramientas establecemos la depreciación como un porcentaje del Costo de mano de obra (CMO), la herramientas usadas para realizar la soldadura, reparaciones y corte de las juntas, son los siguientes:

- Esmeril angular
- Escobilla circular
- Maletín de calderero
- Tablero eléctrico
- Disco de desbaste.

Formula para hallar el costo de herramienta:

$$CH (US\$/Junta) = 5\% \times CMO \dots\dots\dots 7.8$$

7.4.2 Ejemplo de calculo de costo de soldadura para tuberías de Φ 20"

En el ítem 7.4.1 se a presentado el modelo de las formulas y concepto para el calculo de los costos de soldadura en tuberías para un proyecto de distribución de gas natural, a continuación desarrollaremos el calculo en cifras reales solo para el caso de una junta de 20" de diámetro, que es la mas representativa entre las juntas que vamos ha calcular su costo de soldadura, y para esto debemos tener presente las siguientes consideraciones:

1. Jornada de trabajo de 8 horas.
2. El proyecto esta dividido en dos frentes 1 y 2, cada frente tiene 4 grupos de trabajo. la cantidad de junta diarias por frente es un promedio 8 junta, y por

grupo de trabajo es de 2 juntas diarias, para tubería de 20" (ver el organigrama de participación).

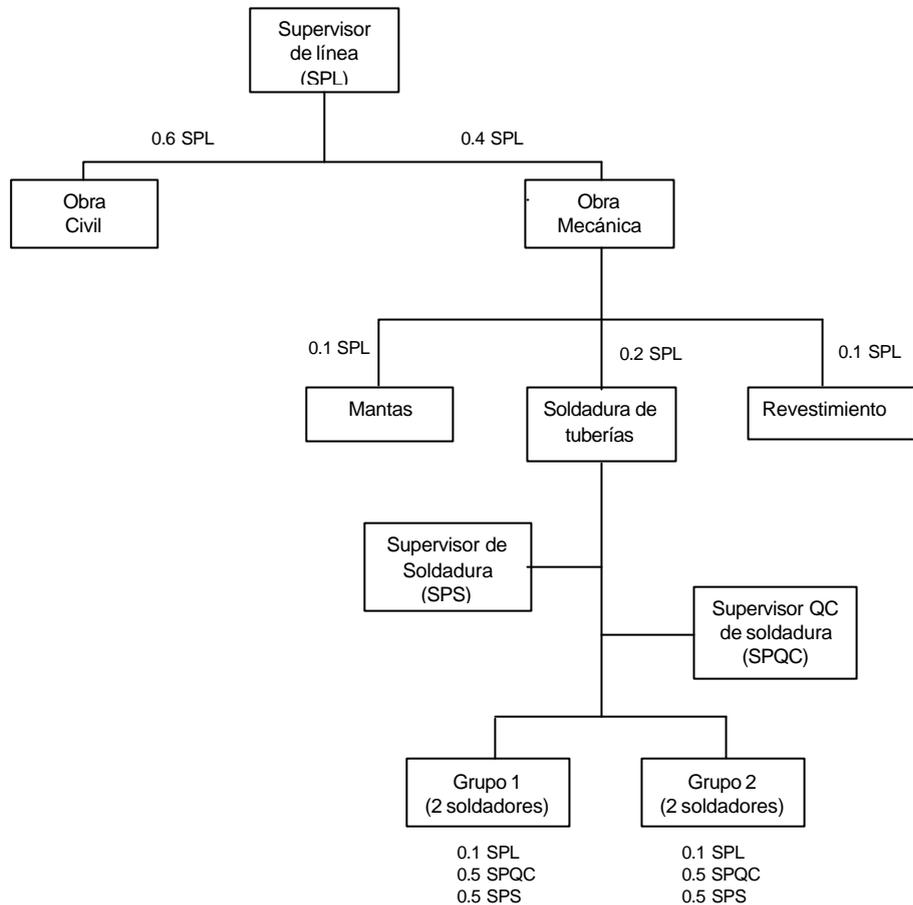
3. Tiempo aproximado para realizar una junta de tubería de Φ 20" por grupo de trabajo es de 55min.
4. Según el procedimiento de soldadura para soldar una junta se emplea dos tipos de electrodos, el E6010 de 4 mm Φ para el pase de raíz y E8010-G de 5 mm Φ para los siguientes pases. Realizaremos el calculo del costos para el E6010 y E8010-G previo calculo de el peso del metal depositado, y el área de sección transversal.
5. A continuación se define los integrantes para un grupo de trabajo que intervienen en la producción de una junta soldada.

Integrante de un grupo de trabajo	
Supervisores	Mano de obra directa
Supervisor de línea	Soldador calificado
Supervisor de soldadura	Alineador de tubería
Supervisor QC de soldadura	Operador de Hiab
	Maniobrista de Hiab
	Ayudante

Para efectos del análisis de costo, debemos cuantificar la participación de los supervisores que interviene en la producción de una junta soldada. A continuación se muestra el organigrama de participación del personal para la producción de juntas soldadas.

ORGANIGRAMA DE PARTICIPACION

(GRUPO DE TRABAJO)



Nota: Para la soldadura de juntas de diámetros 20", 10% y 8 " participan 2 soldadores en forma simultanea

a) La participación del **supervisor de línea**, es el siguiente:

Item	Supervisión	Factor de participación
1	Obra civil	0.6
2	Obra mecánica	0.4
2.1	Soldadura de Junta	0.2
2.1.1	Grupo 1	0.1
2.1.2	Grupo 2	0.1

Para un grupo de trabajo el factor de participación de un supervisor de línea es 0.1 de la jornada de trabajo de 8h, esto es que el supervisor de línea esta dedicando el 10% de su tiempo en la planificación y coordinación en la soldadura de Junta.

- b) La participación del **supervisor de soldadura** es la siguiente:

Item	Supervisión	Factor de participación
2.1.1	Grupo 1	0.5
2.1.2	Grupo 2	0.5

Para un grupo de trabajo el factor de participación de un supervisor de soldadura es el 0.5 de la jornada de 8h, esto quiere decir que el supervisor de soldadura comparte sus actividades entre dos grupos de soldadura, es decir el 50% a cada grupo.

- c) La participación del **Supervisor QC** de soldadura es la siguiente:

Item	Supervisión	Factor de participación
2.1.1	Grupo 1	0.5
2.1.2	Grupo 2	0.5

Para un grupo de trabajo el factor de participación del supervisor QC de soldadura es el 0.5 de la jornada de trabajo de 8h, esto es idéntico al ítem anterior.

- d) En la tabla 7.8 se muestra el resumen de los supervisores y la mano de obra directa que participan en un grupo de trabajo y cada integrante se señala el factor de participación que este tiene en el grupo de trabajo.

TABLA 7.8: Resumen de factor participación de mano de obra.¹

Item	Grupo de trabajo	Factor de Participación
1	Supervisor de línea	0.1
2	Supervisor de soldadura	0.5
3	Supervisor QC de soldadura	0.5
4	Soldador calificado	2
5	Alineador de tubería	1
6	Operador de Hiab	1
7	Maniobrista de Hiab	1
8	Ayudante	4

¹ El factor de participación de la tabla 7.8 solo es válido para grupo de trabajo de 20", 10 ¾ y 8".

7.4.2.1 Calculo peso del metal depositado (Pmd)

Para el calculo del peso de metal depositado, hallaremos peso depositado para el 1^{er} pase de raíz con electrodo E6010, y el peso metal depositado del 2^{do} al ultimo (pases en caliente, relleno y cobertura) pase con electrodo E8010-G, previo calculo del área se sección transversal y longitud de soldadura.

a) **Area de la sección transversal de junta (S_t)**

Para la tubería de 20" de diámetro el espesor de pared el de 11.13 mm y según la sección mostrada el la figura 7.8 tendremos un área S_t = 96.3 mm², esta sección tenemos que compartir por cada electrodo ya que para la raíz se emplea el E6010 y el resto de pases el E8010-G.

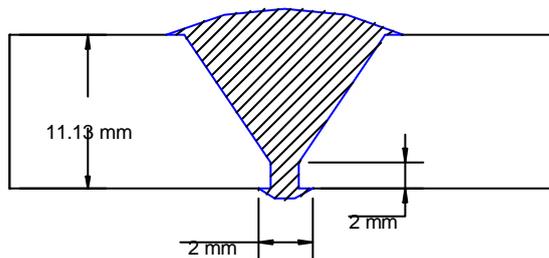


FIGURA 7.8 : AREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL

a.1) **Area de sección 1er pase de raíz (S_{raíz})**

Para un tubería de 20" de diámetro, después del pase de raíz tenemos un profundidad de surco igual a 9.5 mm y por diferencia del espesor de pared del tubo 11.13 mm, tenemos que la altura del pase de raíz es 1.63 mm, ver figura 7.5

$$S_{raíz} = 1.63 \times 2 = 3.26 \text{ mm}^2$$

a.2) **Area de sección de pase en Caliente – Cobertura (S_{c-c})**

$$S_{c-c} = S_t - S_{raíz}$$

$$S_{c-c} = 96.3 - 3.26 = 93.04 \text{ mm}^2$$

b) Calculo de la longitud de soldadura (L)

Para la soldadura del pase raíz, pases de relleno y cobertura la longitud de soldadura es la misma,

De la formula 7.2

$$L(\text{mm}) = p \times D \dots \dots \dots (7.2)$$

$$L = 3.1415 \times (20 \times 25.4) = 1596 \text{ mm}$$

c) Calculo del peso del metal depositado (Pmd)

$$Pmd \text{ (kg/Junta)} = S_t \times L \times \gamma_a$$

c.1) Peso metal depositado en el pase raíz:

$$Pmd_{raiz} = S_{raiz} \times L \times \gamma_a$$

$$Pmd_{raiz} = (3.26 \times 1596 \times 7850) \times 10^{-9}$$

$$Pmd_{raiz} = 0.04 \text{ kg/Junta}$$

c.2) Peso metal depositado del pase de caliente hasta cobertura :

$$Pmd_{c-c} = S_{c-c} \times L \times \gamma_a$$

$$Pmd_{c-c} = (96.3 \times 1596 \times 7850) \times 10^{-9}$$

$$Pmd_{c-c} = 1.17 \text{ kg/Junta}$$

7.4.2.2 Velocidad de deposición (Vd)

Consideraciones para el calculo de la Velocidad de deposición:

Para soldar dos tuberías de 20" de diámetro participan dos soldadores donde cada soldador participa solo en el 50% de la junta, y soldando ambos en forma simultanea.

Calculo del tiempo de arco prendido (T_{AP})

El tiempo para realizar la soldadura de la junta en la tubería de 20" es de 55 min, con dos soldadores soldando simultáneamente (ver tabla 7.9).

TABLA 7.9 : Tiempo de limpiezas

Item	Actividades	Nro. Pases	Tiempo(min)
1	Soldadura de raíz	1er pase	
2	1ra limpieza	-----	5
3	Soldadura en caliente	2do pase	
4	2da limpieza	-----	3
5	Soldadura del 1er relleno	3er pase	
6	3ra limpieza	-----	3
7	Soldadura del 2do relleno	4to pase	
8	4ta limpieza	-----	3
9	Soldadura del 3er relleno	5to pase	
10	5ta limpieza	-----	3
11	Soldadura del 4to relleno	6to pase	
12	6ta limpieza	-----	3
13	Soldadura de cobertura	7mo pase	
Tiempo total de limpieza			20 min

Para el calculo del tiempo de arco prendido analizaremos solamente a un soldador, que realiza 1/2 junta en un tiempo de 55 min, para esto el soldador entre cada pase realiza paradas para que el ayudante limpie la soldadura y pueda continuar con los pases restantes, el ayudante realiza un total de 6 limpiezas que en su conjunto le toma 20min. Tal como se muestra en la tabla 7.9

$$\text{Tiempo}_{AP \text{ total}} = 2 \times (\text{Tiempo de } \frac{1}{2} \text{ junta (min)} - \text{Tiempo de limpieza(min)})$$

$$\text{Tiempo}_{AP \text{ total}} = 2 \times (55 - 20) = 70 \text{ min} \quad \langle \rangle \quad 1.17 \text{ h}$$

Reemplazando en la formula 7.3

$$V_d(\text{kg/hr}) = \frac{P_{md}}{T_{AP}} \dots\dots\dots(7.3)$$

$$P_{md} = P_{md \text{ raíz}} + P_{md \text{ c-c}}$$

$$P_{md} = 0.04 + 1.17 = 1.21 \text{ kg/Junta}$$

$$V_d = \frac{1.21}{1.17}$$

$$V_d = 1.03 \text{ kg/h}$$

7.4.2.3 Eficiencia de deposición (Ed)

La eficiencia de deposición es la relación entre el metal efectivamente depositado y la cantidad en peso de electrodos requeridos para efectuar ese depósito.

Durante el proyecto uno de los inconvenientes que se tiene es que el trabajo de soldadura se realiza en el campo en situación extrema, por lo que la eficiencia de deposición se puede considerar baja.

La eficiencia de deposición se puede obtener de la tabla 7.6 o mediante calculo según la fórmula siguiente:

$$E_d = \frac{\text{Peso efectivamente depositado}}{\text{Peso de electrodo requerido}}$$

Para hallar la eficiencia de deposición evaluaremos dos métodos:

a) Calculo de eficiencia de deposición teniendo como dato la cantidad de electrodos utilizados por junta.

Para soldar una junta de tubería de diámetro 20" se utilizan:

- 8 electrodos de Φ 4 mm
- 30 electrodos de Φ 5 mm

Sabemos:

1 kg de electrodo de Φ 4 mm son 25 electrodos

1 kg de electrodo de Φ 5 mm son 18 electrodos

Por tanto:

8 electrodos de Φ 4 mm \leftrightarrow 0.32 kg

30 electrodos de Φ 5 mm \leftrightarrow 1.66 kg

Peso Total 1.98 kg

a.1.- Peso total de electrodos usados para soldar una Junta de tubería de diámetro 20" es 1.98 kg

a.2.- Peso de metal depositado es 1.21 kg

Reemplazando en la formula

$$Ed = \frac{1.21}{1.98}$$

$$Ed = 0.61 \quad \Leftrightarrow \quad 61 \%$$

b) Calculo de Eficiencia de deposición teniendo como dato el peso de las colillas.

Según dato de campo tenemos:

- Peso de colillas para una junta de 20" : 0.7kg
- Peso de metal depositado es : 1.21 kg

Por tanto el peso de electrodo requerido es 1.91 kg.

Reemplazando en la formula:

$$Ed = \frac{1.21}{1.91}$$

$$Ed = 0.63 \quad \Leftrightarrow \quad 63\%$$

De acuerdo a los cálculos a) y b) tenemos que la Ed varia entre 63 al 61%, pero considerando que la soldadura se realiza en campo asumiremos un Ed = 60%

7.4.2.4 Factor de operación (fo)

De la formula 7.4 :

$$fo(\%) = \frac{T_{AP}}{T_{pagado}} \times 100 \dots \dots \dots (7.4)$$

$$T_{AP} = 70 \text{ min} \quad \Leftrightarrow \quad 1.17\text{h}$$

Tiempo pagado

De las Considerando iniciales tenemos:

Jornada de trabajo 8h, y por un grupo de trabajo se realiza 2 juntas por día, cada grupo tiene 2 soldadores.

Tiempo pagado para un soldador para realizar 1 junta será:

$$T_{\text{pagado}} = \frac{8}{2} = 4\text{h}$$

Remplazando en la formula 7.4

$$fo = \frac{1.17}{4} \times 100 \dots\dots\dots(7.4)$$

$$fo = 29.25 \%$$

Por otro lado existen datos referidos al factor de operación que dependen del proceso de soldadura, y para nuestro caso el proceso SMAW, tenemos que el factor de operación esta entre el 5 y 30% por lo tanto el factor de operación hallado esta de acuerdo con la tabla 7.10.

TABLA 7.10 : Factor de operación

Proceso	Factor de operación (%)
Electrodo Manual	5 - 30
MIG Sólido	10 - 60
MIG Tubular	10 - 60
TIG	5 - 20
Arco Sumergido	50 -100

7.4.2.5 Costo de materiales

En el análisis de costos de materiales interviene dos tipos de electrodos, el E6010 de 4mm de diámetro para el pase de raíz y el E8010-G de 5mm de diámetro para el pase en caliente, relleno y cobertura. Analizaremos para cada caso.

a) Costo de electrodo E6010 (Pase de raíz)

Datos:

$$P_{\text{md raíz}} = 0.04 \text{ kg/Junta}$$

$$V_e = 2.3 \text{ US\$/kg}$$

$$E_d = 60\%$$

De la formula 7.5 reemplazando

$$\text{Costo de Materiales (US$/Junta)} = \frac{\text{Pmd}_{\text{raiz}} \times \text{Ve}}{\text{Ed}} \dots\dots\dots(7.5)$$

$$\text{Costo de Materiales} = \frac{0.04 \times 2.3}{0.6}$$

Costo de Material = 0.16 US\$/Junta

Para electrodo E6010 (pase de raíz)

c.2) Costo de electrodo E8010G (otros pases)

Datos:

Pmd c-c = 1.17 kg/Junta

Ve = 3.9 US\$/kg

Ed = 60%

Reemplazando en la formula 7.5

$$\text{Costo de Materiales (US$/Junta)} = \frac{\text{Pmd}_{\text{c-c}} \times \text{Ve}}{\text{Ed}} \dots\dots\dots(7.5)$$

$$\text{Costo de Materiales} = \frac{1.17 \times 3.9}{0.6}$$

Costo de Materiales = 7.58 US\$/Junta

Electrodo E8010-G (pases en caliente hasta la cobertura)

7.4.2.6 Costo de mano de obra (CMO)

Datos:

$$\text{Pmd}_{\text{total}} = \text{Pmd}_{\text{raiz}} + \text{Pmd}_{\text{c-c}}$$

$$\text{Pmd}_{\text{total}} = 0.04 + 1.17 = 1.21 \text{ kg /Junta}$$

$$\text{Pmd}_{\text{total}} = 1.21 \text{ kg/Junta (total)}$$

$$\text{fo} = 0.2925$$

$$\text{Vd} = 1.03 \text{ kg/h}$$

TABLA 7.11 : Desagregado del valor de mano de obra (VMO)

Mano de Obra	Unidad	Factor de participación	Costo US\$	VMO Parcial
Supervisor de línea	H-H	0.10	5.0	0.5
Supervisor de soldadura	H-H	0.50	4.0	2.00
Supervisor QC de soldadura	H-H	0.50	3.5	1.75
Soldador calificado izquierda	H-H	1.00	3.5	3.50
Soldador calificado derecha	H-H	1.00	3.5	3.50
Alineador de tubería	H-H	1.00	2.5	2.50
Operador de Hiab	H-H	1.00	2.5	2.50
Maniobrista de Hiab	H-H	1.00	2.0	2.00
Ayudante soldador izquierda	H-H	1.00	1.6	1.60
Ayudante soldador derecha	H-H	1.00	1.6	1.60
Ayudante alineador	H-H	1.00	1.6	1.60
Ayudante Regular de motosoldadora.	H-H	1.00	1.6	1.60
Total Valor de Mano de Obra (US\$/h)				23.08

Reemplazando en la formula:

$$C MO (US$/Junta) = \frac{Pmd \times VMO}{Vd \times fo} \dots\dots\dots(7.6)$$

$$CMO = \frac{1.21 \times 23.08}{1.03 \times 0.29}$$

$$CMO = 98.60 \text{ US$/Junta}$$

7.4.2.7 Costo de equipos & herramientas

a) Costo de equipos (Ceq)

Para calcular el Costo de equipos, debemos evaluar el valor de costo de equipos.

TABLA 7.12 : Valor de Equipos (Veq)

Equipos	Unidad	Cant.	Precio (US\$)	VEq Parcial
Camión Hiab	H-M	1	30.00	30.00
Motosoldadora	H-M	2	12.50	25.00
Equipo de precalentamiento	H-M	1	5.00	5.00
Total Valor de Equipo (US\$/h)				60.00

Para el calculo de Costo de Equipo usamos la formula 7.7

$$\text{Costo Equipo (US$/junta)} = \frac{\text{Pmd} \times \text{VEq}}{\text{Vd} \times \text{fo}} \dots\dots\dots (7.7)$$

Reemplazando :

$$\text{Costo Equipo} = \frac{1.21 \times 60}{1.03 \times 0.29} = 240 \text{ US$/Junta}$$

b) Costo de Herramientas (CH)

En el costo de herramienta están considerados las herramientas de limpieza, esmeril, escobilla de acero, disco de desbaste, maletín de calderero, tablero eléctrico, etc. Estableceremos el costo de herramientas como un porcentaje del costo de mano de obra, de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{CH} = 5\% \times \text{CMO}$$

$$\text{CH} = 0.05 \times 98.60 = 4.93 \text{ US$/Junta}$$

De acuerdo a los ítem a y b tenemos :

Costo de Equipo & Herramienta : 240 + 4.93 = 244.93 US\$/Junta

7.4.2.8 Costo de ensayo no destructivo (END)

De acuerdo la especificación del proyecto el 100% de las juntas son sometidas a ensayos no destructivo (END). En el proyecto el END usados fueron de Ultrasonido(96%) y de radiografía industrial (4%).

a) Costo de ensayo de ultrasonido (Costo_{UT})

El personal para el END esta conformado por:

- Inspector de ultrasonido nivel II
- Técnico para el procesamiento de datos
- Rotoscan
- Unidad móvil
- Chofer

El ensayo de ultrasonido no depende del perímetro de tubería o de la junta soldada.

Costo_{UT} = 80 US\$/Junta.

b) Costo ensayo Radiográfico (Costo_{RT})

El personal para el ensayo radiográfico esta integrado por:

- Inspector de radiografía de nivel II
- Fuente de radiografía
- Personal de apoyo

La placa radiográfica tiene una longitud de 1 pie el cual tiene un costo de 10 US\$/pie, por tanto el costo dependerá de la longitud soldada, por ejemplo:

Para tubería de 20"

Longitud soldada = 62.8" <> 5.233 pie

Por tanto:

Se utiliza para Tubería de 20" 6 placas de 1 pie de longitud

Costo_{RT} = 10 x 6 = 60 US\$/Junta

El costo de ensayo Radiográfico para tubería de 20" = 60 US\$/Junta

A continuación presentamos los costos de ensayo de radiografía por diámetro:

DIÁMETRO Pulg	COSTO_{RT} US\$/JUNTA
20	60
10 ³ / ₄	30
8	30
6	20
4 ¹ / ₂	20

7.4.2.9 Costo de una Junta de 20" de diámetro

De acuerdo al análisis efectuado para el costo de una junta de 20" de diámetro tenemos dos posibilidades, si el END fue por radiografía o Ultrasonido de acuerdo a esto tendremos:

- Costo soldadura (Radiografía) = 431.26 US\$/Junta
- Costo soldadura (Ultrasonido) = 411.26 US\$/Junta

7.4.3 Calculo de costo de soldadura para tubería de $\Phi 10^{3}/4$

Para realizar el calculo de soldadura de tubería de 10³/₄ se emplea la misma metodología de la junta de 20", utilizando el misma grupo de trabajo.

Consideraciones:

- Jornada de trabajo por grupo es 8h.
- La cantidad promedio de juntas soldadas por grupo de trabajo para tubería de 10³/₄ es 3 juntas.
- El tiempo para realizar una junta soldada de 10³/₄ es de 51 min, donde intervienen 2 soldadores soldando en forma simultánea.
- El espesor de pared de la tubería de 10³/₄ es 11.10 mm
- El factor de operación para este diámetro es: fo = 44%

7.4.4 Calculo de costo de soldadura para tubería de Φ 8 "

El método de calculo de costo de junta para tubería Φ 8 " es el mismo que para juntas de tuberías de Φ 20 teniendo las considerando lo siguiente:

- Jornada de trabajo por grupo es 8h.
- La cantidad promedio de juntas soldadas por grupo de trabajo para tubería de 8 " es 4 juntas.
- El tiempo para realizar una junta soldada de 8 " es de 47 min, donde interviene 2 soldadores en forma simultánea.
- El espesor de pared de la tubería de 8 " es 11.10 mm
- El factor de operación para este diámetro es: $f_o = 53\%$

7.4.5 Calculo de costo de soldadura para tuberías de Φ 6 " y Φ 4½"

Para el calculo de juntas de tuberías de diámetro de 6 " y 4½" se sigue el mismo procedimiento que el ejemplo de calculo de juntas de tubería de 20", para dichas juntas se deben de considerar lo siguiente:

- Jornada de trabajo por grupo es 8h.
- La cantidad promedio de juntas soldadas por grupo de trabajo para tubería de 6 " y 4½" es 6 juntas.
- El tiempo para realizar una junta soldada de 6 " y 4½" es 36 y 24 min respectivamente, donde intervienen un solo soldador por junta.
- El espesor de pared de la tubería de 6 " y 4½" es 11.10 mm
- El factor de operación para los diámetro 6 " y 4½" es: $f_o = 33\%$ y $f_o = 18\%$ respectivamente.
- En la tabla 7.13 se muestra el resumen de los supervisores y la mano de obra directa que participan en un grupo de trabajo para juntas de 6 " y 4½", de cada integrante se señala el factor de participación que éste tiene en el grupo de trabajo.

TABLA 7.13 : Factor participación del grupo de trabajo para juntas de 6 " y 4 ½"

Item	Grupo de trabajo	Factor de Participación
1	Supervisor de línea	0.05
2	Supervisor de soldadura	0.25
3	Supervisor QC de soldadura	0.25
4	Soldador calificado	1
5	Alineador de tubería	1
6	Operador de Hiab	1
7	Maniobrista de Hiab	1
8	Ayudante	3

7.4.6 Resumen de costos de soldadura

De los análisis de costos realizados se han obtenido los costos directos por junta, los cuales están expresados en US\$/Junta.

En las siguientes tablas están resumidos los cálculos de costos de soldadura efectuados para cada diámetro de junta, los análisis de costos de soldadura desarrollados en los ítems

- 7.4.2 Calculo de costo de soldadura para tubería 20" se encuentra en la tabla 7.14
- 7.4.3 Calculo de costo de soldadura para tubería 10" se encuentra en la tabla 7.15
- 7.4.4 Calculo de costo de soldadura para tubería de 8 " se encuentra en la tabla 7.16
- 7.4.5 Calculo de costo de soldadura para tuberías de 6 " y 4" se encuentra en la tabla 7.17 y 7.18

TABLA 7.14 : Costo de soldadura para tubería de 20"

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	SOLDADURA
Material base (tubería)			API 5L X56 PSL-2
Espesor de tubería		mm	11.13
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/día	2
Diámetro de tubería		pulg.	20
N° de Soldadores/Junta			2
Tipo de electrodo (raíz)			E6010
Tipo de electrodo (otros)			E8010-G
Area de sección transversal (raíz)		mm ²	3.26
Area de sección transversal (otros)		mm ²	93.04
Longitud de soldadura		mm	1596
Factor de operación			0.29
Peso de metal depositado (raíz)		kg/Junta	0.04
Peso de metal depositado (otros)		kg/Junta	1.17
Velocidad de deposición		kg/h	1.03
1.0 MATERIALES			
1.1	Valor de electrodo E6010	US\$/kg	2.30
1.2	Eficiencia de deposición		0.60
1.3	Costo de electrodo E6010	US\$/Junta	0.16
1.4	Valor de electrodo E8010-G	US\$/kg	3.90
1.5	Costo de electrodo E8010-G	US\$/Junta	7.58
1.6	Costo de Materiales	US\$/Junta	7.73
2.0 MANO DE OBRA			
2.1	Supervisor de línea	US\$/h	0.50
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	2.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	1.75
2.4	Soldador calificado izquierdo	US\$/h	3.50
2.5	Soldador calificado derecho	US\$/h	3.50
2.6	Alineador de tubería	US\$/h	2.50
2.7	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.8	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.9	Ayudante soldador izquierdo	US\$/h	1.60
2.10	Ayudante soldador derecho	US\$/h	1.60
2.11	Ayudante alineador	US\$/h	1.60
2.12	Ayudante Regulador de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.13	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	98.60
3.0 EQUIPOS & HERRAMIENTAS			
3.1	Camión Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h	25.00
3.3	Equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipo	US\$/Junta	240.00
3.5	Costo Herramientas	US\$/Junta	4.93
3.6	Costo Equipo & Herramientas	US\$/Junta	244.93
4.0 COSTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO DE JUNTA SOLDADA	US\$/Junta	431.26

TABLA 7.15 : Costo de soldadura para tubería 10¾"

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	SOLDADURA
Material base (tubería)			API 5L X56 PSL-2
Espesor de tubería		mm	11.1
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/día	3
Diámetro de tubería		pulg.	10 3/4
N° de Soldadores/Junta			2
Tipo de electrodo (raíz)			E6010
Tipo de electrodo (otros)			E8010-G
Area de sección transversal (raíz)		mm ²	3.26
Area de sección transversal (otros)		mm ²	92.74
Longitud de soldadura		mm	858
Factor de operación			0.44
Peso de metal depositado (raíz)		kg/Junta	0.02
Peso de metal depositado (otros)		kg/Junta	0.62
Velocidad de deposición		kg/h	0.55
1.0 MATERIALES			
1.1	Valor de electrodo E6010	US\$/kg	2.30
1.2	Eficiencia de deposición		0.60
1.3	Costo de electrodo E6010	US\$/Junta	0.08
1.4	Valor de electrodo E8010-G	US\$/kg	3.90
1.5	Costo de electrodo E8010-G	US\$/Junta	4.06
1.6	Costo de Materiales	US\$/Junta	4.14
2.0 MANO DE OBRA			
2.1	Supervisor de línea	US\$/h	0.50
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	2.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	1.75
2.4	Soldador calificado izquierdo	US\$/h	3.50
2.5	Soldador calificado derecho	US\$/h	3.50
2.6	Alineador de tubería	US\$/h	2.50
2.7	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.8	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.9	Ayudante soldador izquierdo	US\$/h	1.60
2.10	Ayudante soldador derecho	US\$/h	1.60
2.11	Ayudante alineador	US\$/h	1.60
2.12	Ayudante Regulador de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.13	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	63.50
3.0 EQUIPOS & HERRAMIENTAS			
3.1	Camión Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h	25.00
3.3	Equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipos	US\$/Junta	154.57
3.5	Costo Herramientas	US\$/Junta	3.18
3.6	Costo Equipo & Herramientas	US\$/Junta	157.74
4.0 COSTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO DE JUNTA SOLDADA	US\$/Junta	305.39

TABLA 7.16 : Costo de soldadura para tubería 8 "

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	SOLDADURA
Material base (tubería)			API 5L X56 PSL-2
Espesor de tubería		mm	11.10
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/dia	4
Diámetro de tubería		pulg.	8 5/8
N° de Soldadores/Junta			2
Tipo de electrodo (raíz)			E6010
Tipo de electrodo (otros)			E8010-G
Area de sección transversal (raíz)		mm ²	3.26
Area de sección transversal (otros)		mm ²	92.74
Longitud de soldadura		mm	688
Factor de operación			0.53
Peso de metal depositado (raíz)		kg/Junta	0.02
Peso de metal depositado (otros)		kg/Junta	0.50
Velocidad de deposición		kg/h	0.49
1.0	MATERIALES		
1.1	Valor de electrodo E6010	US\$/kg	2.30
1.2	Eficiencia de deposición		0.60
1.3	Costo de electrodo E6010	US\$/Junta	0.07
1.4	Valor de electrodo E8010-G	US\$/kg	3.90
1.5	Costo de electrodo E8010-G	US\$/Junta	3.26
1.6	Costo de Materiales	US\$/Junta	3.32
2.0	MANO DE OBRA		
2.1	Supervisor de línea	US\$/h	0.50
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	2.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	1.75
2.4	Soldador calificado izquierdo	US\$/h	3.50
2.5	Soldador calificado derecho	US\$/h	3.50
2.6	Alineador de tubería	US\$/h	2.50
2.7	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.8	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.9	Ayudante soldador izquierdo	US\$/h	1.60
2.10	Ayudante soldador derecho	US\$/h	1.60
2.11	Ayudante alineador	US\$/h	1.60
2.12	Ayudante Regulador de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.13	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	47.63
3.0	EQUIPOS & HERRAMIENTAS		
3.1	Camión Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h	25.00
3.3	Equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipos	US\$/Junta	115.93
3.5	Costo Herramientas	US\$/Junta	2.38
3.6	Costo Equipo & Herramientas	US\$/Junta	118.31
4.0	COSTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS		
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO DE JUNTA SOLDADA		249.26

TABLA 7.17 : Costo de soldadura para tubería 6 "

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	SOLDADURA
Material base (tubería)			API 5L X56 PSL-2
Espesor de tubería		mm	11.10
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/día	6
Diámetro de tubería		pulg.	6 5/8
N° de Soldadores/Junta			1
Tipo de electrodo (raíz)			E6010
Tipo de electrodo (otros)			E8010-G
Area de sección transversal (raíz)		mm ²	3.26
Area de sección transversal (otros)		mm ²	92.74
Longitud de soldadura		mm	529
Factor de operación			0.33
Peso de metal depositado (raíz)		kg/Junta	0.01
Peso de metal depositado (otros)		kg/Junta	0.38
Velocidad de deposición		kg/h	0.92
1.0	MATERIALES		
1.1	Valor de electrodo E6010	US\$/kg	2.30
1.2	Eficiencia de deposición		0.60
1.3	Costo de electrodo E6010	US\$/Junta	0.05
1.4	Valor de electrodo E8010-G	US\$/kg	3.90
1.5	Costo de electrodo E8010-G	US\$/Junta	2.50
1.6	Costo de Materiales	US\$/Junta	2.55
2.0	MANO DE OBRA		
2.1	Supervisor de línea	US\$/h	0.25
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	1.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	0.87
2.4	Soldador calificado (1)	US\$/h	3.50
2.5	Alineador de tubería	US\$/h	2.50
2.6	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.7	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.8	Ayudante soldador	US\$/h	1.60
2.9	Ayudante alineador	US\$/h	1.60
2.10	Ayudante Regulador de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.11	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	22.44
3.0	EQUIPOS & HERRAMIENTAS		
3.1	Camión Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h	12.50
3.3	Equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipos	US\$/Junta	61.18
3.5	Costo Herramientas	US\$/Junta	1.12
3.6	Costo Equipo & Herramientas	US\$/Junta	62.30
4.0	COSTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS		
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO DE JUNTA SOLDADA	US\$/Junta	167.30

TABLA N° 7.18 : Costo de soldadura para tubería 4½"

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	SOLDADURA
Material base (tubería)			API 5L X56 PSL-2
Espesor de tubería		mm	11.10
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/día	6
Diámetro de tubería		pulg.	4 1/2
N° de Soldadores/Junta			1
Tipo de electrodo (raíz)			E6010
Tipo de electrodo (otros)			E8010-G
Area de sección transversal (raíz)		mm ²	3.26
Area de sección transversal (otros)		mm ²	92.74
Longitud de soldadura		mm	359
Factor de operación			0.18
Peso de metal depositado (raíz)		kg/Junta	0.01
Peso de metal depositado (otros)		kg/Junta	0.26
Velocidad de deposición (otros)		kg/h	1.16
1.0 MATERIALES			
1.1	Valor de electrodo E6010	US\$/kg	2.30
1.2	Eficiencia de deposición		0.60
1.3	Costo de electrodo E6010	US\$/Junta	0.04
1.4	Valor de electrodo E8010-G	US\$/kg	3.90
1.5	Costo de electrodo E8010-G	US\$/Junta	1.70
1.6	Costo de Materiales	US\$/Junta	1.73
2.0 MANO DE OBRA			
2.1	Supervisor de línea	US\$/h	0.25
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	1.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	0.87
2.4	Soldador Calificado	US\$/h	3.50
2.5	Alineador de tubería	US\$/h	2.50
2.6	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.7	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.8	Ayudante de soldador	US\$/h	1.60
2.9	Ayudante alineador	US\$/h	1.60
2.10	Ayudante Regulador de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.11	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	22.44
3.0 EQUIPOS & HERRAMIENTAS			
3.1	Camión Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h	12.50
3.3	Equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipos	US\$/Junta	61.18
3.5	Costo Herramientas	US\$/Junta	1.12
3.6	Costo Equipo & Herramientas	US\$/Junta	62.30
4.0 COSTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO DE JUNTA SOLDADA	US\$/Junta	166.48

7.5 Análisis de costos para la reparación de soldadura

Cuando se completa la soldadura de una junta soldada, se realiza la inspección visual a cargo del supervisor QC, donde se verifican:

- Las dimensiones del refuerzo de soldadura
- El grado de uniformidad del acabado
- La existencia de defectos superficiales como socavación, poros etc.

La inspección visual de la junta soldada debe cumplir con las exigencias del estándar API 1104-99 (ver figura 7.9), el supervisor QC libera el 100% de las juntas soldadas, quien tiene a su cargo asegurar la calidad de las juntas soldadas. Una vez completada esta etapa, el 100% de las juntas aprobadas en la inspección visual, al somete al ensayo no destructivo (END), empleándose el ultrasonido o radiografía Industrial.



FIGURA 7.9: INSPECCION DE JUNTA SOLDADA

Cuando el END indica que existen discontinuidades en una junta soldada, esta soldadura tendrá que someterse a reparación.²

² Solo se puede reparar una sola vez. Si luego de la reparación continua el defectos la junta tiene que cortarse.

Cuando analicemos los costos para la reparación de soldadura dependiendo donde se ubique el defecto a reparar ver figura 7.10, vamos a decir que la se encuentra en la siguiente zona:

- a) Zona de raíz.
- b) Zona de relleno.
- c) Zona de cobertura

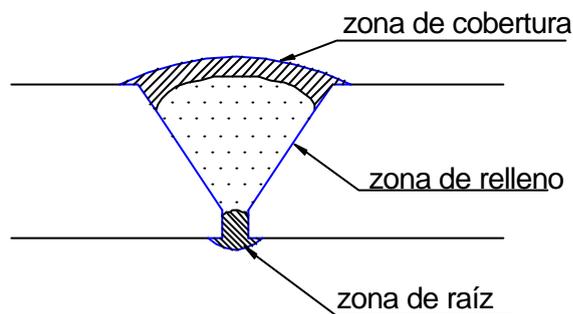


FIGURA 7.10 : ZONAS DE DISCONTINUIDADES

Y conforme a esta división de zonas analizaremos los costos para cada una de ellos de acuerdo sección 9 del API 1104-99 (criterios de aceptación para ensayos no destructivos), se identifican 11 tipos de defectos por las que una junta soldada no es aceptable, y pase a reparación. En la tabla 7.19 se detalla la lista de 11 discontinuidades típicas contempladas en el estándar API 1104-99 y la ubicación típica de esta discontinuidades que pueden estar en la raíz, relleno o cobertura.

Consideraciones:

- Para cuantificar el valor de la reparación dependiendo de la ubicación de la discontinuidad (raíz, relleno o cobertura) , se está asumiendo una longitud típica de 4 ½ puesto que el costo de materiales que se necesita para reparar un a longitud representa el 2, 0.4 y 0.2% si se está reparando en la raíz, relleno o cobertura respectivamente. De acuerdo a esta premisa se realizaran todos los cálculos de reparación

TABLA 7.19 : Discontinuidades según el estándar API 1104-99

ITEM	TIPO DE DISCONTINUIDAD	UBICACIÓN
1	Penetración inadecuada sin desalineamiento	Raíz
2	Penetración inadecuada debido a desalineamiento	Raíz
3	Penetración transversal Inadecuada	Relleno
4	Fusión Incompleta	Cobertura
5	Fusión Incompleta debido superposición fría	Relleno
6	Concavidad interna	Raíz
7	Quemadura transversal	Raíz
8	Inclusiones de escoria	Raíz, Relleno y Cobertura
9	Porosidad	Raíz, Relleno y Cobertura
10	Rajadura	Cobertura
11	Socavación	Cobertura
12	Acumulación de imperfecciones	_____
13	Imperfección de tubería o accesorio.	_____

- Jornada de trabajo 8 h
- Rendimiento en:
 - zona de raíz : 8 rep/dia
 - Zona de relleno : 8 rep/dia
 - Zona de cobertura : 10 rep/dia

El costo de reparación de una junta no depende del diámetro de la tubería, sino de la ubicación ésta pudiendo ser de raíz, relleno o cobertura. El costo de reparación esta expresado en US\$/Junta

En la tabla 7.20 se muestra el grupo de trabajo que participa en las reparaciones de las juntas, a cada integrante se señala el factor de participación que este tiene en el grupo.

TABLA 7.20 : Factor de participación de un grupo de trabajo en la reparación de juntas

Item	Grupo de trabajo	Factor de Participación
1	Supervisor de línea	0.1
2	Supervisor de soldadura	0.25
3	Supervisor QC de soldadura	0.25
4	Soldador calificado	1
5	Operador de Hiab	1
6	Maniobrista de Hiab	1
7	Ayudante	2

7.5.1 Costo de reparación en la zona de raíz.

Para el análisis del costo de reparación en la zona de raíz debemos evaluar los siguientes costos parciales:

7.5.1.1 Costo de Materiales.

7.5.1.2 Costo de Mano de Obra.

7.5.1.3 Costo de Equipo y Herramientas.

7.5.1.1 Costo de materiales

De acuerdo a la especificación del procedimiento de reparación de soldadura se emplearan procesos combinados GTAW, SMAW. Por tanto tendremos que analizar el costo del proceso GTAW en los pase de raíz y SMAW en el pase en caliente, relleno y cobertura.

El procedimiento de evaluación de costo de consumible será para el proceso GTAW y SMAW:

a. Calculo de costos de materiales del proceso GTAW

a.1) Costo de Gas de protección (argón)

a.2) Costo de Metal de aporte (ER 70S-6)

b. Calculo del costo de materiales del proceso SMAW

b.1) Costo de electrodo (E8010-G)

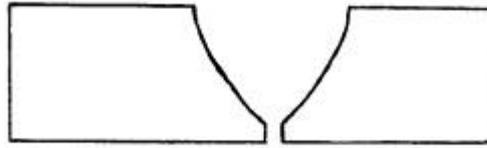


FIGURA 7.11 : ABERTURA HASTA LA ZONA DE RAIZ

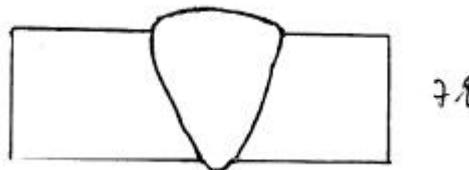


FIGURA 7.12 : REPARACIÓN EN ZONA DE RAIZ

a) Calculo de costos de los material proceso GTAW

El proceso GTAW solo se emplea en la reparación de raíz

a.1) Costo de Gas de protección (Argón)

El costo de gas protector se halla según la formula siguiente:

$$\text{Costo Gas(US$/Junta)} = \frac{\text{Pmd} \times \text{Flujo de gas} \times \text{Valor de Gas}}{\text{Vd}} \dots\dots\dots(7.8)$$

Donde :

- Flujo de gas (m³/h)
- Valor de gas (US\$/m³)
- Pmd (US\$/Junta)

Dato de la especificación del procedimiento de reparación:

Flujo de gas = 8 lt/min <> 4.8 m³/h

Valor de gas = 8.9 US\$/m³

Calculo del peso de metal depositado en la raíz (Pmd_{raíz})

$$\text{Pmd}_{raíz} = S_{raíz} \times L_r \times \gamma_a$$

L_r : longitud de reparación

$$L_r = 4.5 \text{ " } < > 114.3 \text{ mm}$$

$$S_{raíz} = 2 \times 1.63 = 3.26 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$Pmd_{raíz} = (3.26 \times 114.3 \times 7850) \times 10^{-9}$$

$$Pmd_{raíz} = 0.00293 \text{ kg/Junta}$$

Calculo de la velocidad de deposición (Vd)

De la formula

$$Vd \text{ (kg/h)} = \frac{Pmd}{T_{AP}} \dots\dots\dots(7.3)$$

$$T_{AP} = 4 \text{ min } < > 0.067\text{h}$$

Reemplazando :

$$Vd = \frac{0.0029}{0.067}$$

$$Vd = 0.04 \text{ kg/h}$$

Costo del Gas Aragón

Reemplazando en la formula 7.8

$$\text{Costo Gas} = \frac{0.0029 \times 4.8 \times 8.9}{0.04}$$

$$\text{Costo Gas} = 2.86 \text{ US$/Junta}$$

a.2) Costo de Metal de aporte (ER 70S-6)

De acuerdo a la especificación del procedimiento reparación para el pase de raíz, se utiliza como metal de aporte ER 70S-6, el costo se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Costo metal de aporte (US$/Junta)} = \frac{P_{md} \times V_e}{E_d} \dots\dots\dots(7.7)$$

Eficiencia de deposición (Ed)

La eficiencia de deposición para un proceso GTAW es según tabla 7.6

Ed = 95 %

Reemplazando en la formula 7.7 :

$$\text{Costo metal de aporte} = \frac{0.0029 \times 6.5}{0.95}$$

Costo metal de aporte = 0.02 US\$/Junta

Calculo de costos de materiales del proceso GTAW (zona de raíz)

Costo materiales = Costo de Gas + Costo de metal de aporte

Costo materiales = 2.86 + 0.02 =2.88 US\$/Junta

b. calculo del costo de material del proceso SMAW

El proceso SMAW se emplea en los pases de caliente, relleno y cobertura. El costo de electrodo lo hallaremos según la formula 7.5

Calculo del Peso de metal depositado (Pmd)

Según la formula siguiente:

$$P_{md}(\text{kg/ Junta}) = S_t \times L \times \gamma_a \dots\dots\dots(7.1)$$

Area de sección del pase caliente hasta cobertura (Sc-c)

$$S_{c-c} = S_t - S_{raíz}$$

$$S_t = 96.3 \text{ mm}^2$$

$$S_r = 3.26 \text{ mm}^2$$

Por tanto:

$$S_{c-c} = 93.04 \text{ mm}^2$$

Reemplazando en la formula 7.1 :

$$Sc-c = 93.04$$

$$L_r = 114.3 \text{ m}$$

$$Pmd = (93.04 \times 114.3 \times 7850) \times 10^{-9}$$

$$Pmd = 0.08 \text{ kg/Junta}$$

b.1) Costo de material electrodo (E8010-G)

$$\text{Costo de electrodo (US$/Junta)} = \frac{Pmd \times Ve}{Ed} \dots\dots\dots(7.5)$$

Datos:

$$Pmd = 0.08 \text{ kg/Junta}$$

$$Ve = 3.9 \text{ US$/kg.}$$

$$Ed = 60\%$$

Reemplazando :

$$\text{Costo de electrodo} = \frac{0.08 \times 3.9}{0.60} \text{ US$/Junta}$$

$$\text{Costo de electrodo} = 0.54 \text{ US$/Junta}$$

Costo total de Materiales

$$\text{Total costo materiales} = \text{Costo materiales GTAW} + \text{Costos de materiales SMAW}$$

$$\text{Total costo materiales} = 2.88 + 0.54 = 3.42 \text{ US$/Junta}$$

7.5.1.2 Costo de mano de obra

Para calcular el costo de mano de obra de la reparación de una Junta, necesitamos calcular los parámetros siguientes:

- Valor de mano de obra (VMO)
- Velocidad de deposición (Vd)

- Factor de operación (fo)

Valor de mano de Obra (VMO)

Es el costo en US\$/h del personal que conforma el grupo de trabajo cuadrilla de trabajo para una reparación de junta.

Mano de Obra	Unidad	Factor de participación	Precio US\$	Parcial VMO
Supervisor de línea	H-H	0.1	5.00	0.50
Supervisor de soldadura	H-H	0.25	4.00	1
Supervisor QC de soldadura	H-H	0.25	3.50	0.875
Soldador	H-H	1	3.50	3.5
Operador de Hiab	H-H	1	2.5	2.5
Maniobrista de Hiab	H-H	1	2	2
Ayudante	H-H	1	1.60	1.6
Ayudante Regular Maq.	H-H	1	1.60	1.6

Valor total de Mano de Obra (US\$/h) 13.58

Velocidad de deposición (Vd)

Calculo de los parámetros para hallar la velocidad de deposición

Tiempo arco prendido (Tiempo_{AP})

- El tiempo de reparación del 2^{do} pase al ultimo pase es : 28 min <> 0.47 h
- El tiempo total de limpieza entre el 2^{do} pase al ultimo pase es: 7.5 min <> 0.12 h

Dichos tiempos es para la reparación de una longitud de 4 1/2

Entonces el tiempo de arco prendido será:

$$\text{Tiempo}_{AP} = 0.47 - 0.12 = 0.35 \text{ h}$$

$$V_d(\text{kg/h}) = \frac{P_{md}}{\text{Tiempo}_{AP}} \dots\dots\dots(7.3)$$

De la formula siguiente :

$$P_{md} = 0.083 \text{ kg/Junta}$$

$$\text{Tiempo}_{AP} = 0.35 \text{ h}$$

$$Vd = \frac{0.083}{0.35}$$

$$Vd = 0.24 \text{ kg /h}$$

Factor de operación (fo)

Se calcula :

$$fo(\%) = \frac{T_{AP}}{T_{pagado}} \times 100 \dots \dots \dots (7.4)$$

Tiempo pagado:

Consideraciones :

- Jornada de trabajo : 8h , reparaciones diarias 8 Junta/dia.

$$T_{pagado} = \frac{8}{8} = 1h$$

Reemplazando en la formula 7.4

$$fo = \frac{0.35}{1} \times 100 = 35 \%$$

Costo de Mano de Obra

Se calcula según la formula siguiente:

$$C \text{ MO (US\$/Junta) } = \frac{Pmd \times VMO}{Vd \times fo} \dots \dots \dots (7.6)$$

Reemplazando :

$$Pmd = 0.0835 \text{ kg/Junta}$$

$$VMO = 13.58 \text{ US\$/h}$$

$$Vd = 0.24 \text{ kg/h}$$

$$fo = 0.44$$

$$C \text{ MO} = \frac{0.0835 \times 13.58}{0.24 \times 0.44}$$

$$C \text{ MO} = 13.58 \text{ US\$/Junta}$$

7.5.1.3 Costo de equipo & herramientas

a) Costos de equipo

Para el calculo del costo de equipo usaremos la siguiente formula:

$$CEq (US\$/junta) = \frac{Pmd \times VEq}{Vd \times fo} \dots\dots\dots(7.6)$$

Valor de Equipo (Veq)

Para el proyecto tenemos:

Equipo	Unidad	Cant.	Precio (US\$)	Veq Parcial
Alquiler de Motosoldadora	H-M	1	12.5	12.5
Alquiler de Camión Hiab	H-M	1	30.0	30.0
Alquiler de equipo de precalentamiento	H-M	1	5.0	5.0
Valor de equipo (US\$/h) 47.5				

Reemplazando

Pmd = 0.0835

Vd = 0.24

fo = 0.44

De la formula 7.6

$$CEq = \frac{0.0835 \times 47.5}{0.24 \times 0.44}$$

CEq = 47.5 US\$/Junta

b) Costo de Herramienta

Para el calculo del costo de herramientas se considera el 5% de la Mano de Obra.

CH = 0.5% x CMO

CH = 0.05 x 7.26

Costo de herramientas = 0.68 US\$/Junta

c) **Costo de equipo y herramienta para reparación en zona de raíz**

Costo Equipo y Herramientas = $47.5 + 0.68 = 48.18$ US\$/Junta

7.5.1.4 Costo total de reparación en zona de raíz

De acuerdo al análisis efectuado para el costo de reparación en la zona de raíz es:

Costo Reparación
en zona de raíz = 145.18 US\$/Junta

7.5.2 Costo de reparación en zona de relleno

Cuando la discontinuidad se encuentra en la zona de relleno, solo se analizara el costo de la junta del 2^{do} pase al 7^{no} pase, este análisis es igual al análisis de costos de reparación en raíz donde se usa el proceso SMAW.

En la figura 7.13 se muestra una junta con discontinuidad en zona de relleno y con limpieza previa a la reparada. Y la figura 7.14 la junta reparada.



FIGURA 7.13 : ABERTURÁ HASTA LA ZONA DE RELLENO

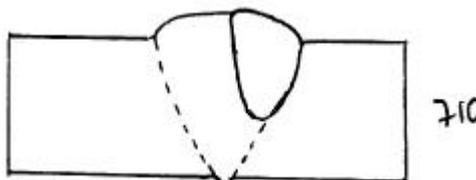


FIGURA 7.14 : REPARACIÓN DE LA ZONA DE RELLENO

7.5.3 Costo de reparación en zona de cobertura

El calculo de costo de reparación en el pase de cobertura, se analizara para una discontinuidad de $4 \frac{1}{2}$ considerando una altura de sección transversal de 2 mm según dato

de campo. En las figuras 7.15 y 7.16 se muestran las zonas exploradas y reparadas para la zona de cobertura.

Consideraciones :

- Para reparación en zona de cobertura se utiliza el mismo grupo de trabajo que en la reparación en zona de raíz
- Tiempo de reparación en la zona de cobertura = 10 min \leftrightarrow 0.17h
- Tiempo de limpieza en la zona de cobertura = 5 min \leftrightarrow 0.083h
- Cantidad de reparaciones por día = 10
- Area de sección transversal en zona de cobertura es 40 mm^2

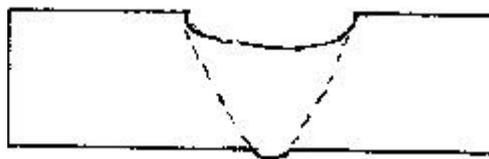


FIGURA 7.15 : ABERTURA DE LA ZONA DE COBERTURA

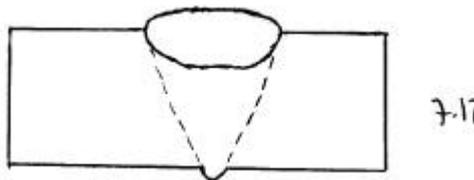


FIGURA 7.16 : REPARACIÓN DE LA ZONA DE COBERTURA

7.5.4 Resumen de costos de reparación

De los análisis de costos de reparación se han obtenido los costos directos por junta, los cuales están expresados en US\$/Junta.

En las siguientes tablas están resumidos los cálculos de costos efectuados para cada zona de reparación, los análisis de costos de reparación desarrollados en los ítems

7.5.1 Calculo de costo de reparación en zona de raíz se encuentra en la tabla 7.21

7.5.2 Calculo de costo de reparación en zona de relleno se encuentra en la tabla 7.22

7.5.3 Calculo de costo de reparación en zona de cobertura se encuentra en la tabla 7.23

TABLA 7.21 : Costo de reparacion en zona de raíz

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	REPARACION	
Material base (tubería)			API 5LX56 PSL-2	
Angulo de bisel			33°	
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/dia	8	
Espesor de tubería		mm	11.10 - 11.13	
Proceso de Soldadura			GTAW	SMAW
Reparación en pase de:			Raíz	Otros
Longitud de defecto		mm	114.3	114.3
Metal de aporte / Electrodo			ER 70S-6	E8010-G
Diámetro de electrodo		mm	2.5	4
Area de sección transversal		mm ²	3.26	93.04
Peso de metal depositado		kg/Junta	0.0029	0.08
Velocidad de deposición		kg/h	0.04	0.24
Factor de operación				0.35
1.0	MATERIALES			
1.1	Valor de electrodo	US\$/kg		3.90
1.2	Eficiencia de deposicion			0.60
1.3	Costo de electrodo	US\$/Junta		0.54
1.4	Flujo de gas (Argón)	m ³ /h	4.80	
1.5	Valor de gas (Argón)	US\$/m ³	8.90	
1.6	Costo de gas	US\$/Junta	2.86	
1.7	Valor Metal de aporte ER 70S-6	US\$/kg	6.50	
1.8	Eficiencia de deposicion		0.95	
1.9	Costo de Metal de aporte	US\$/kg	0.02	
1.10	Costo del Materiales	US\$/Junta		3.42
2.0	MANO DE OBRA			
2.1	Supervisor de línea	US\$/h		0.50
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h		1.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h		0.88
2.4	Soldador calificado	US\$/h		3.50
2.5	Operador de Hiab	US\$/h		2.50
2.6	Maniobrista de Hiab	US\$/h		2.00
2.7	Ayudante de soldador	US\$/h		1.60
2.8	Ayudante Regular de motosoldadora	US\$/h		1.60
2.9	Costo Mano de Obra	US\$/Junta		13.58
3.0	EQUIPO Y HERRAMIENTAS			
3.1	Camión Hiab	US\$/h		30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h		12.50
3.3	Alquiler de equipo de precalentamiento	US\$/h		5.00
3.4	Costo Equipo	US\$/Junta		47.50
3.5	Costo de herramienta	US\$/Junta		0.68
3.6	Costo Equipo & Herramienta	US\$/Junta		48.18
4.0	COSTO DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO			
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta		80.00
5.0	COSTO DIRECTO JUNTA REPARADA	US\$/Junta		145.18

TABLA 7.22 : Costo de reparación en zona de relleno

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	REPARACION
Material base (tubería)			API 5LX56 PSL-2
Diseño de junta			"V"
Angulo de bisel			33°
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/dia	8
Espesor de tubería		mm	11.13
Proceso de Soldadura			SMAW
Reparación en pase de:			Relleno
Longitud de defecto		mm	114.3
Metal de aporte / Electrodo			E8010-G
Diámetro de electrodo		mm	4.0
Área de sección transversal		mm ²	53.04
Longitud de reparación		mm	114.30
Peso de metal depositado		kg/Junta	0.05
Velocidad de deposición		kg/h	0.14
Factor de operación			0.35
1.0	MATERIALES		
1.1	Valor de electrodo	US\$/kg	3.90
1.2	Eficiencia de deposición		0.60
1.3	Costo de electrodo	US\$/Junta	0.31
2.0	MANO DE OBRA		
2.1	Supervisor de línea	US\$/h	0.50
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	1.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	0.88
2.4	Soldador calificado	US\$/h	3.50
2.5	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.6	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.7	Ayudante de soldador	US\$/h	1.60
2.8	Ayudante Regular de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.9	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	13.58
3.0	EQUIPO Y HERRAMIENTAS		
3.1	Camión Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora (1)	US\$/h	12.50
3.3	Alquiler de equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipo	US\$/Junta	47.50
3.5	Costo de herramienta	US\$/Junta	0.68
3.6	Costo Equipo & Herramienta	US\$/Junta	48.18
4.0	COSTO DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO		
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO JUNTA REPARADA	US\$/Junta	142.75

TABLA 7.23 : Costo de reparación en zona de cobertura

DESCRIPCION DEL PROCESO		UNIDAD	REPARACION
Material base (tubería)			API 5LX56 PSL-2
Diseño de junta			"V"
Angulo de bisel			33°
Eficiencia por grupo de trabajo		Junta/dia	10
Espesor de tubería		mm	11.13
Proceso de Soldadura			SMAW
Longitud de defecto		mm	114.13
Tipo de electrodo			E8010-G
Area de sección transversal		mm ²	40
Longitud de reparación		mm	114.13
Peso de metal depositado		kg/Junta	0.04
Velocidad de deposición		kg/h	0.37
Factor de operación			0.12
1.0	MATERIALES		
1.2	Valor de electrodo	US\$/kg	3.90
1.3	Eficiencia de deposicion		0.60
1.4	Costo de Materiales	US\$/Junta	0.23
2.0	MANO DE OBRA		
2.1	Supervisor de linea	US\$/h	1.25
2.2	Supervisor de soldadura	US\$/h	4.00
2.3	Supervisor QC de soldadura	US\$/h	3.50
2.4	Soldador calificado	US\$/h	3.50
2.5	Operador de Hiab	US\$/h	2.50
2.6	Maniobrista de Hiab	US\$/h	2.00
2.7	Ayudante de soldador	US\$/h	1.60
2.8	Ayudante Regulador de motosoldadora	US\$/h	1.60
2.9	Costo Mano de Obra	US\$/Junta	15.96
3.0	EQUIPO Y HERRAMIENTAS		
3.1	Camón Hiab	US\$/h	30.00
3.2	Motosoldadora	US\$/h	12.50
3.3	Equipo de precalentamiento	US\$/h	5.00
3.4	Costo Equipo	US\$/Junta	38.00
3.5	Costo de herramienta	US\$/Junta	0.80
3.6	Costo Equipo & Herramienta	US\$/Junta	38.80
4.0	COSTO DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO		
4.1	Ultrasonido (UT)	US\$/Junta	80.00
5.0	COSTO DIRECTO DE JUNTA REPARADA	US\$/Junta	134.99

7.6 Análisis de costos para el corte de tuberías

Dentro del análisis de costo que se esta presentando para la presente tesis, analizaremos las juntas que por diversos motivos han tenido que ser cortadas, estos significa que una junta que pasaría ha ser cortada es retirada en forma definitiva de la línea del gasoducto.

El análisis de costo que involucra el corte de tubería esta realizado teniendo las siguientes consideraciones:

- El corte se realiza con un equipo de oxicorte automático (orbital)
- El proceso de corte es realizado en una sola vuelta al perímetro de la tubería
- La cantidad de corte para eliminar un junta es de 2 corte /junta.
- El corte se realiza con una inclinación de 30° (biselado) con respecto al eje axial de la tubería una vez realizado el corte se rectifica y prepara el talón para la soldadura de acuerdo al diseño de la junta.



FIGURA 7.17 : CORTE DE UNA JUNTA RECHAZADA

- Para un mejor análisis de costos se hara la siguiente distribución:
 - Costo de materiales
 - Costo de mano de Obra
 - Costo de equipos y herramienta

7.6.1 Ejemplo de calculo de costo para el corte de una junta de 20"

Para calculo de costo de corte de una Junta de 20" debemos tener las siguientes consideraciones:

- Jornada de trabajo 8h.
- En la tabla 7.24 se muestra los integrantes del grupo de trabajo para realiza el corte, se observa también el factor de participación para cada uno de los integrantes.

TABLA 7.24 : Participación del grupo de trabajo para corte

Item	Grupo de trabajo	Factor de Participación
1	Supervisor de línea	0.05
2	Supervisor de soldadura	0.2
3	Supervisor QC de soldadura	0.2
4	Operador de equipo de corte	1
5	Operador de Hiab	1
6	Maniobrista de Hiab	1
7	Ayudante	1

- El rendimiento del grupo de trabajo para el corte de la tubería de 20" de diámetro es de 7 cortes/día.

7.6.1.1 Costo de materiales

Los costos de materiales para el corte comprenden el costo de acetileno y oxígeno, para hallar dichos costos se debe cuantificar el consumo del acetileno y oxígeno.

Teniendo como dato lo siguiente:

- Valor del acetileno = 10.2 US\$/kg.
- Valor del oxígeno = 3.4 US\$/m³

7.6.1.2 Costo de mano de obra

Consideraciones:

Un grupo de trabajo realiza 7 cortes/día en una jornada de trabajo de 8h.

- Calculo del tiempo para realizar un corte

7 cortes ----- 8

1 corte ----- X

Por tanto:

Para realizar un corte el grupo de trabajo necesita 1.14 /corte

- Calculo del valor de mano de obra (VMO)

Grupo de trabajo	Unidad	Factor de participación	Precio	Parcial VMO
Supervisor de línea	H-H	0.05	5.00	0.25
Supervisor de soldadura	H-H	0.2	4.00	0.80
Supervisor QC de soldadura	H-H	0.2	3.50	0.70
Operador de equipo de corte	H-H	1	2.50	2.50
Operador de Hiab	H-H	1	2.50	2.50
Maniobrista de Hiab	H-H	1	2.00	2.00
Ayudante	H-H	1	1.60	1.60

Valor de mano de obra (US\$/h) = 10.35

De la formula para hallar el costo de mano de Obra.

$$CMO = T_{\text{corte}} \times VMO$$

Donde :

T_{corte} : Tiempo para realizar un corte

Reemplazando en la formula:

$$CMO = 1.14 \times 10.35$$

$$CMO = 11.83 \text{ US\$/Corte}$$

7.6.1.3 Costo de equipo & herramienta

- Costo de Equipo (Ceq)

Se calcula según la formula siguiente:

$$\text{Costo de Equipo (US\$/corte)} = T_{\text{corte}} \times VEq$$

Equipos	Unidad	Cant.	Precio	VEq Parcial
Camión Hiab	H-M	1	30.00	30.00
Equipo de Corte	H-M	1	5	5.00
Total Valor de Equipo (US\$/h)				35.00

Remplazando en la formula.

$$\text{Costo de Equipo} = 1.14 \times 35$$

$$\text{Costo de Equipo} = 39.9 \text{ US\$/corte}$$

- Costo de Herramienta (CH)

Incluyen los costos de Esmeril angular, cepillo circular y cepillo de desbaste

$$\text{CH (US\$/corte)} = 0.05 \times \text{CMO}$$

$$\text{CMO} = 11.83 \text{ US\$/Corte}$$

$$\text{CH} = 0.05 \times 11.83$$

$$\text{CH} = 0.59 \text{ US\$/Corte}$$

Por tanto:

$$\text{Costo Equipo y Herramienta} = 39.9 + 0.59 = 40.59 \text{ US\$/corte}$$

7.6.1.4 Costo por junta para tubería de 20"

$$\text{Costo por corte} = 56.42$$

$$\text{Costo por Junta} = 112.84 \text{ US\$/Junta}$$

7.6.2 Resumen de costos de corte por junta

En las siguientes tablas están resumidos los cálculos de costos de corte por juntas efectuados para cada diámetro (ver tabla 7.25 al 7.29)

TABLA 7.25 : Costo de corte por junta para tubería Φ 20"

Eficiencia por grupo de trabajo		7		Cortes/dia			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	GRUPO DE TRABAJO	CANT.	PRECIO US\$	PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
1.0	MATERIALES						
1.1	Acetileno	Global				2.00	
1.2	Oxigeno	Global				2.00	
1.3	Costo de Materiales	US\$/Corte					4.00
2.0	MANO DE OBRA						
2.1	Supervisor de linea	H-H	0.05	1.14	5.00	0.29	
2.2	Supervisor de soldadura	H-H	0.20	1.14	4.00	0.91	
2.3	Supervisor QC de soldadura	H-H	0.20	1.14	3.50	0.80	
2.4	Operador de corte	H-H	1	1.14	2.50	2.86	
2.5	Operador de Hiab	H-H	1	1.14	2.50	2.86	
2.6	Maniobrista de Hiab	H-H	1	1.14	2.00	2.29	
2.7	Ayudante	H-H	1	1.14	1.60	1.83	
2.8	Costo Mano de Obra	US\$/Corte					11.83
3.0	EQUIPO & HERRAMIENTA						
3.1	Camión Hiab	H-M	1	1.14	30.00	34.29	
3.2	Equipo de corte	H-M	1	1.14	5.00	5.71	
3.3	Costo de Herramienta	%M.O		5.00	11.83	0.59	
3.4	Costo Equipo y Herramienta	US\$/Corte					40.59
4.0	COSTO DIRECTO POR CORTE	US\$/Corte					56.42
4.1	COSTO DIRECTO POR JUNTA	US\$/Junta					112.84

TABLA 7.26 : Costo de corte por junta para tubería Φ 10 $\frac{3}{4}$

Eficiencia por grupo de trabajo		8		Cortes/dia			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	GRUPO DE TRABAJO	CANT.	PRECIO US\$	PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
1.0	MATERIALES						
1.1	Acetileno	Global				2.00	
1.2	Oxigeno	Global				2.00	
1.3	Costo de Materiales	US\$/Corte					4.00
2.0	MANO DE OBRA						
2.1	Supervisor de linea	H-H	0.05	1.00	5.00	0.25	
2.2	Supervisor de soldadura	H-H	0.20	1.00	4.00	0.80	
2.3	Supervisor QC de soldadura	H-H	0.20	1.00	3.50	0.70	
2.4	Operador de corte	H-H	1	1.00	2.50	2.50	
2.5	Operador de Hiab	H-H	1	1.00	2.50	2.50	
2.6	Maniobrista de Hiab	H-H	1	1.00	2.00	2.00	
2.7	Ayudante	H-H	1	1.00	1.60	1.60	
2.8	Costo Mano de Obra	US\$/Corte					10.35
3.0	EQUIPO & HERRAMIENTA						
3.1	Camión Hiab	H-M	1	1.00	5.00	30.00	
3.2	Equipo de corte	H-M	1	1.00	3.00	5.00	
3.3	Costo de Herramienta	%M.O		5	10.35	0.52	
3.4	Costo Equipo y Herramienta	US\$/Corte					35.52
4.0	COSTO DIRECTO POR CORTE	US\$/Corte					49.87
4.1	COSTO DIRECTO POR JUNTA	US\$/Junta					99.74

TABLA 7.27 : Costo de corte por junta para tubería Φ 8 "

Eficiencia por grupo de trabajo		9		Cortes/dia			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	GRUPO DE TRABAJO	CANT.	PRECIO US\$	PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
1.0	MATERIALES						
1.1	Acetileno	Global				2.00	
1.2	Oxigeno	Global				2.00	
1.3	Costo de Materiales	US\$/Corte					4.00
2.0	MANO DE OBRA						
2.1	Supervisor de linea	H-H	0.05	0.89	5.00	0.22	
2.2	Supervisor de soldadura	H-H	0.20	0.89	4.00	0.71	
2.3	Supervisor QC de soldadura	H-H	0.20	0.89	3.50	0.62	
2.4	Operador de corte	H-H	1	0.89	2.50	2.22	
2.5	Operador de Hiab	H-H	1	0.89	2.50	2.22	
2.6	Maniobrista de Hiab	H-H	1	0.89	2.00	1.78	
2.7	Ayudante	H-H	1	0.89	1.60	1.42	
2.8	Costo Mano de Obra	US\$/Corte					9.20
3.0	EQUIPO & HERRAMIENTA						
3.1	Camión Hiab	H-M	1	0.89	30.00	26.67	
3.2	Equipo de corte	H-M	1	0.89	5.00	4.44	
3.3	Costo de Herramienta	%M.O		5.00	9.20	0.46	
3.4	Costo Equipo y Herramienta	US\$/Corte					31.57
4.0	COSTO DIRECTO POR CORTE	US\$/Corte					44.77
4.1	COSTO DIRECTO POR JUNTA	US\$/Junta					89.54

TABLA 7.28 : Costo de corte por junta para tubería Φ 6 "

Eficiencia por grupo de trabajo		9		Cortes/dia			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	GRUPO DE TRABAJO	CANT.	PRECIO US\$	PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
1.0	MATERIALES						
1.1	Acetileno	Global				2.00	
1.2	Oxigeno	Global				2.00	
1.3	Costo de Materiales	US\$/Corte					4.00
2.0	MANO DE OBRA						
2.1	Supervisor de linea	H-H	0.05	0.89	5.00	0.22	
2.2	Supervisor de soldadura	H-H	0.20	0.89	4.00	0.71	
2.3	Supervisor QC de soldadura	H-H	0.20	0.89	3.50	0.62	
2.4	Operador de corte	H-H	1	0.89	2.50	2.22	
2.5	Operador de Hiab	H-H	1	0.89	2.50	2.22	
2.6	Maniobrista de Hiab	H-H	1	0.89	2.00	1.78	
2.7	Ayudante	H-H	1	0.89	1.60	1.42	
2.8	Costo Mano de Obra	US\$/Corte					9.20
3.0	EQUIPO & HERRAMIENTA						
3.1	Camión Hiab	H-M	1	0.89	30.00	26.67	
3.2	Equipo de corte	H-M	1	0.89	5.00	4.44	
3.3	Costo de Herramienta	%M.O		5.00	9.20	0.28	
3.4	Costo Equipo y Herramienta	US\$/Corte					31.39
4.0	COSTO DIRECTO POR CORTE	US\$/Corte					44.6
4.1	COSTO DIRECTO POR JUNTA	US\$/Junta					89.17

TABLA 7.29 :Costo de corte por junta para tubería Φ 4½

Eficiencia por grupo de trabajo		10		Cortes/día			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	GRUPO DE TRABAJO	CANT.	PRECIO US\$	PARCIAL US\$	SUBTOTAL US\$
1.0	MATERIALES						
1.1	Acetileno	Global				2.00	
1.2	Oxigeno	Global				2.00	
1.3	Costo de Materiales	US\$/Corte					4.00
2.0	MANO DE OBRA						
2.1	Supervisor de línea	H-H	0.05	0.80	5.00	0.20	
2.2	Supervisor de soldadura	H-H	0.20	0.80	4.00	0.64	
2.3	Supervisor QC de soldadura	H-H	0.20	0.80	3.50	0.56	
2.4	Operador de corte	H-H	1	0.80	2.50	2.00	
2.5	Operador de Hiab	H-H	1	0.80	2.50	2.00	
2.6	Maniobrista de Hiab	H-H	1	0.80	2.00	1.60	
2.7	Ayudante	H-H	1	0.80	1.60	1.28	
2.8	Costo Mano de Obra	US\$/Corte					8.28
3.0	EQUIPO & HERRAMIENTA						
3.1	Camión Hiab	H-M	1	0.80	30.00	24.00	
3.2	Equipo de corte	H-M	1	0.80	5.00	4.00	
3.3	Costo de Herramienta	%M.O		5.00	8.28	0.41	28.41
3.4	Costo Equipo y Herramienta	US\$/Corte					
4.0	CORTE DIRECTO POR CORTE	US\$/Corte					40.69
4.1	COSTO DIRECTO POR JUNTA	US\$/Junta					81.39

7.6.3 Costo total del proyecto

Hasta el momento se han calculado los costos unitarios de: soldadura, reparación y corte de tuberías. Para determinar los costos totales tenemos que determinar primero las cantidades de cada proceso, para esto vamos a recurrir al sistema de base de datos que se ha implementado en el proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao.

El sistema de base de datos tiene varias bondades y entre las principales se puede citar:

- Trazable.- Nos permite rastrear una entidad o un proceso que se efectuó, respondiendo el historial completo de la entidad.
- Flexible.- Por que nos permite acceder a la información de varias maneras: por fechas, proceso, diámetro, tipo de falla, frente de trabajo, progresiva, etc.
- Confiable.- por que la información tiene un sustento físico, pues toda la información registrada es tomada a partir de registros de campo registrados por los responsables de las inspecciones.
- Emite reportes.- Por ser un software preparado a la medida del proyecto de Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao, nos permite emitir reportes de acuerdo a la información que se quiera analizar (ver figura 7.18).



FIGURA 7.18 : Secuencia de recolección y almacenamiento de datos, y emisión de reportes

De acuerdo con la figura 7.18 se ha elaborado la tabla 7.30, donde se tiene: cantidad de juntas soldadas, reparadas, cortadas e índices de rechazo, estas cantidades están presentadas en función del diámetro de tubería obtenidas del proyecto Red de Distribución

Gas Natural para Lima y Callao. Y en la tabla 7.31 se tiene la misma información pero presentada en función de los meses. Estas cantidades son recopiladas por el departamento de aseguramiento de calidad del proyecto.

Con las cantidades de la tabla 7.30 y los costos unitarios se tiene los costos totales que se muestran en la tabla 7.32, donde tenemos los costos de soldadura, reparación y corte totales en función del diámetro de la tubería.

TABLA 7.30: Resumen de cantidades de juntas soldadas, reparadas y cortadas por diametro

Diametro	Cantidad Juntas		Cantidad de Juntas		Cantidad Reparación		Cantidad de reparación por zona			Cantidad Corte		Indice de Rechazo (%)		
	Total	Acumulado	Rechazado	Acumulado	Total	Acumulado	Raiz	Relleno	Cobertura	Total	Acumulado	Total	Corte	Reparación
20 pulg.	5285	5285	237	237	204	204	149	20	35	91	91	4.5	1.7	3.9
10½pulg	334	5619	16	253	6	210	3	3	0	10	101	4.8	3.0	1.8
8 pulg	224	5843	3	256	0	210	0	0	0	3	104	1.3	1.3	0.0
6 pulg	364	6207	10	266	8	218	5	1	2	2	106	2.7	0.5	2.2
4½pulg	184	6391	7	273	6	224	0	3	3	1	107	3.8	0.5	3.3
TOTAL	6391		273		224		157	27	40	107		4.3	1.7	3.5

TABLA 7.31: Resumen de cantidades de juntas soldadas, reparadas y cortadas por mes

MESES	Cantidad Juntas		Cantidad de Juntas		Cantidad Reparación		Cantidad de reparación por zona			Cantidad Corte		Indice de Rechazo (%)		
	Total	Acumulado	Rechazado	Acumulado	Total	Acumulado	Raiz	Relleno	Cobertura	Total	Acumulado	Total	Corte	Reparación
Nov-02	83	83	0	0	0	0				0	0	0.0	0.0	0.0
Dic-02	225	308	10	10	10	10				2	2	4.4	0.9	4.4
Ene-03	266	574	19	29	16	26				16	18	7.1	6.0	6.0
Feb-03	269	843	25	54	23	49				18	36	9.3	6.7	8.6
Mar-03	703	1546	31	85	28	77				7	43	4.4	1.0	4.0
Abr-03	528	2074	26	111	25	102				3	46	4.9	0.6	4.7
May-03	497	2571	22	133	18	120				6	52	4.4	1.2	3.6
Jun-03	435	3006	29	162	26	146				7	59	6.7	1.6	6.0
Jul-03	410	3416	13	175	11	157				8	67	3.2	2.0	2.7
Ago-03	475	3891	20	195	7	164				13	80	4.2	2.7	1.5
Sep-03	656	4547	17	212	11	175				7	87	2.6	1.1	1.7
Oct-03	586	5133	22	234	17	192				8	95	3.8	1.4	2.9
Nov-03	605	5738	16	250	11	203				8	103	2.6	1.3	1.8
Dic-03	484	6222	23	273	21	224				4	107	4.8	0.8	4.3

Nota:

- a) Tiempo total evaluado : 14 meses
- b) No se analiza las juntas de 3½" por no ser representativas su cantidad.
- c) La suma de cantidades de raiz, relleno y reparación esta en la columna de reparación total.

TABLA 7.32: Resumen de costos de soldadura, reparación y corte del proyecto Red de distribución de Gas para Lima y Callao

Diametro	Cantidad Junta Soldadas	Costo de Soldadura			Cantidad de Juntas Cortadas	Costo de Corte			Costo de Soldadura por cortadas		
		Unitario (US\$)	Total (Miles US\$)	Acumulado (Miles US\$)		Unitario (US\$)	Total (Miles US\$)	Acumulado (Miles US\$)	Unitario Soldadura	Total (Miles US\$)	Acumulado (Miles US\$)
20 pulg.	5285	431.26	2279.23	2279.23	91	112.84	10.27	10.27	431.26	39.24	39.24
10½pulg	334	305.39	102.00	2381.22	10	99.74	1.00	11.27	305.39	3.05	42.30
8 pulg	224	249.26	55.83	2437.06	3	89.54	0.27	11.53	249.26	0.75	43.05
6 pulg	364	167.30	60.90	2497.95	2	89.17	0.18	11.71	167.30	0.33	43.38
4½pulg	184	166.48	30.63	2528.58	1	81.39	0.08	11.79	166.48	0.17	43.55
TOTAL	6391		2528.58				11.79				

Diametro	Cantidad de Juntas Reparadas por zona de Defecto			Costo Unitario por zona de Defecto			Costo Total de Reparación				
	Raíz	Relleno	Cobertura	Raíz	Relleno	Cobertura	Raíz	Relleno	Cobertura	Total	Acumulado
							(Miles US\$)	(Miles US\$)	(Miles US\$)	(Miles US\$)	(Miles US\$)
20 pulg.	149	20	35	145	143	135	21.63	2.85	4.72	29.21	29.21
10½pulg	3	3	0	145	143	135	0.44	0.43	0.00	0.86	30.08
8 pulg	0	0	0	145	143	135	0.00	0.00	0.00	0.00	30.08
6 pulg	5	1	2	145	143	135	0.73	0.14	0.27	1.14	31.21
4½pulg	0	3	3	145	143	135	0.00	0.43	0.40	0.83	32.05
TOTAL	157	27	40				22.79	3.85	5.40		

7.7 Análisis de los resultados obtenidos

Los datos que se tienen en la tabla 7.30, 7.31 y 7.32 del capítulo 7, son obtenidos de la recopilación de información que se han realizado durante los 14 meses (desde noviembre del 2002 hasta diciembre del 2003).de ejecución del proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao.

1.- Interpretación de graficas del capítulo 7

De las tablas mencionadas se han obtenido 23 graficas que están referidas a:

- Cantidades de juntas producidas por diámetro y por mes
- Cantidades de juntas rechazadas por diámetro y por mes
- Cantidades de juntas reparadas por diámetro y por mes
- Cantidades e juntas cortadas por diámetro y por mes
- Juntas reparadas por zona de defectos
- Índice de rechazo de corte, reparación y total
- Costo unitario de soldadura, corte y reparación de junta por diámetro.
- Costo total de soldadura, corte y reparación del proyecto

Grafica N°1.- Muestra la cantidad de juntas soldadas que se encuentran en la línea principal, ramales del gasoducto las cuales están cuantificadas por diámetros, se observa que en la línea principal del gasoducto existen 5 285 juntas de 20" y las otras juntas son de los ramales con un total de 1 106 juntas soldadas. El gasoducto comprende el tramo desde el City Gate hasta ventanilla (Callao) con un total de 6 391 juntas soldadas.

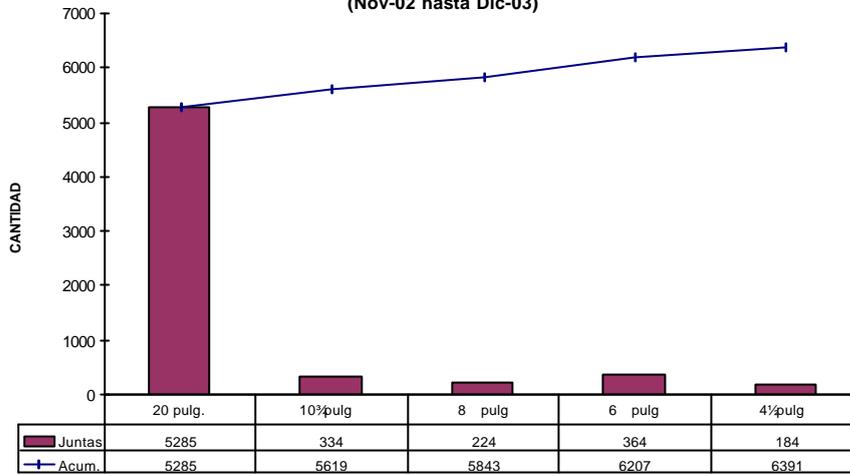
Grafica N° 2.- Nos muestra la performance de los grupos de trabajo en la producción de las juntas soldadas, evaluadas mensualmente, se observa un aumento de producción de juntas entre los meses de marzo a setiembre 2003 esto se debe a la acción correctiva de los supervisores QC, y a los informes de performance de soldadores emitidos periódicamente por el departamento de calidad, donde se evaluaban constantemente el trabajo de cada soldador.

Grafica N° 3.- Muestra las cantidades de juntas rechazadas por diámetro, durante el proyecto, observándose que las juntas rechazadas son directamente proporcional a la cantidad de juntas producidas. De la producción de 5 285 juntas de 20" se tiene 237 juntas rechazadas, estas juntas son por no cumplir con el estándar API 1104-99, por tanto una junta rechazada tendrá que repararse y realizar el END, si la junta es rechazada nuevamente será cortada.

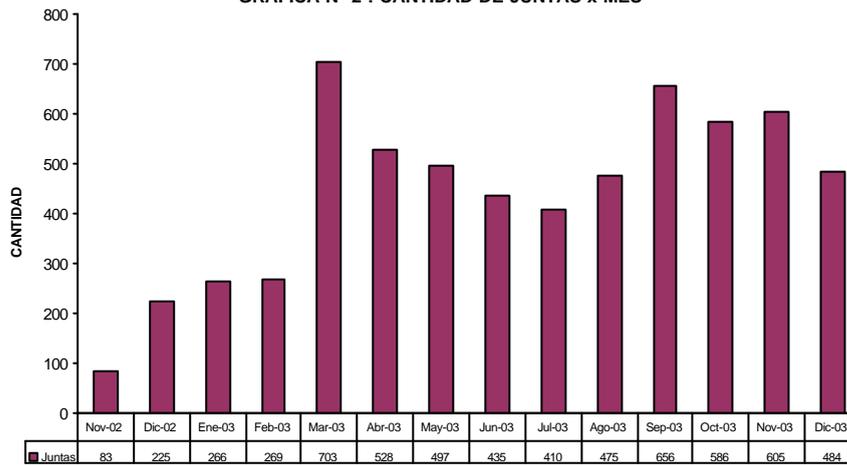
Grafica N° 4.- Muestra el total de juntas rechazadas evaluadas mensualmente, durante el proyecto, observándose que el mes de mayor producción de juntas fue en marzo del 2003 (ver grafica N° 2) y en este mismo mes se cuantifico la mayor cantidad de juntas rechazadas, esto se debe a que cuando la producción es mayor existe mayor posibilidad de obtener juntas que no cumplen con los estándares de aceptación en consecuencia estas serán rechazadas.

Grafica N° 5.- Muestra las juntas cortadas cuantificadas por diámetro durante el proyecto, los cortes son debido a que las juntas reparadas no cumplieron con los estándares de

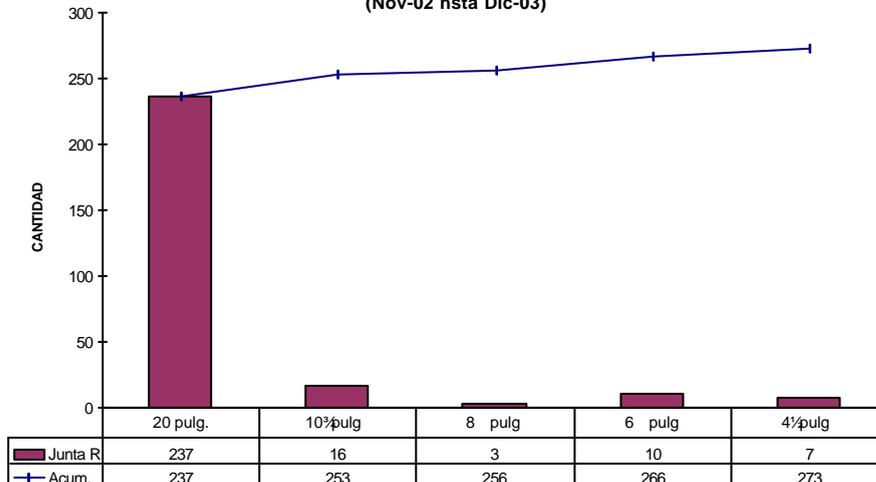
**GRAFICA N° 1 : CANTIDAD DE JUNTAS x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)**



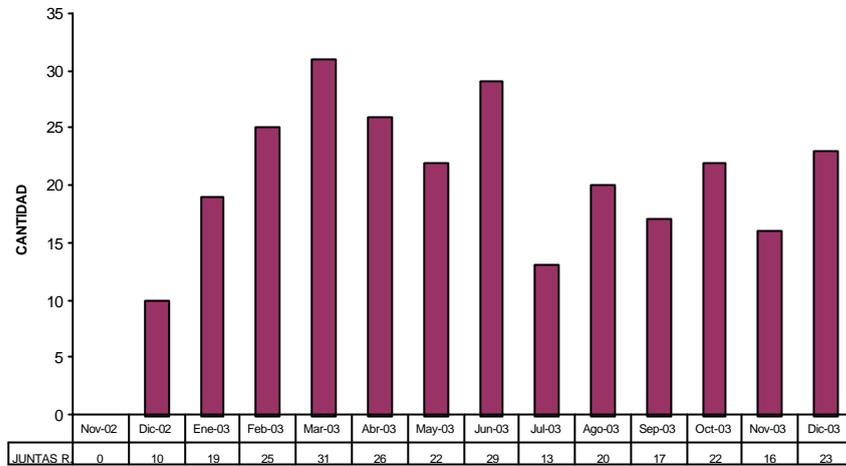
GRAFICA N° 2 : CANTIDAD DE JUNTAS x MES



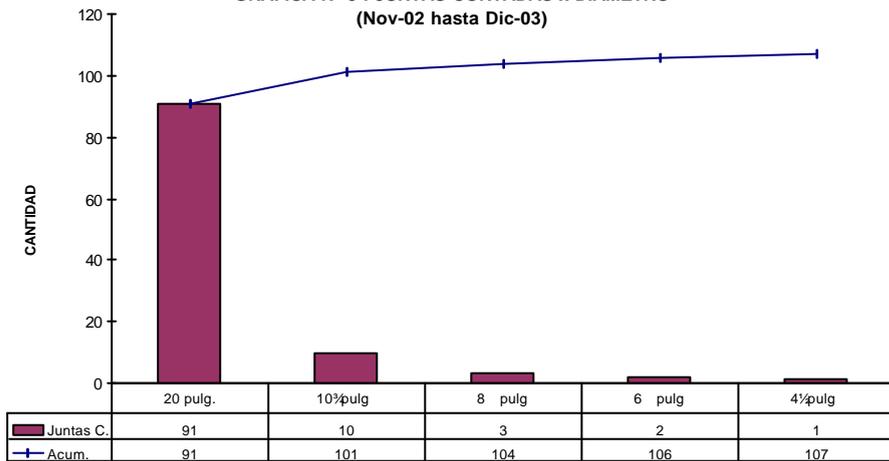
**GRAFICA N° 3 : JUNTAS RECHAZADAS x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)**



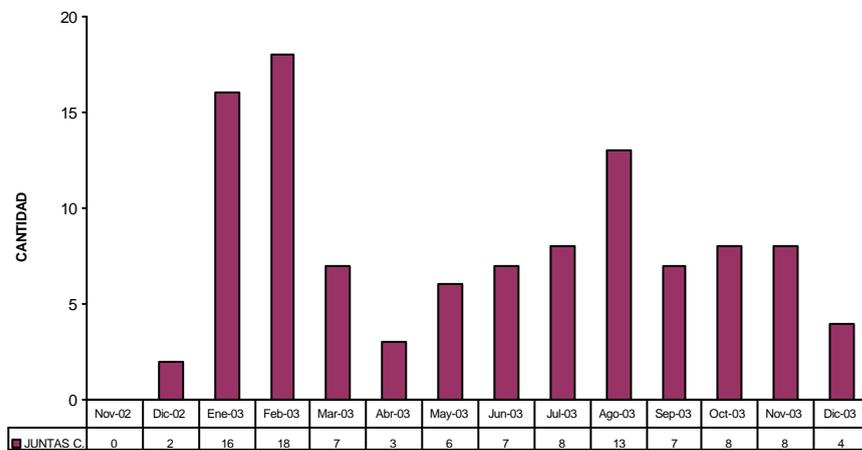
GRAFICA N° 4 : JUNTAS RECHAZADAS x MES



**GRAFICA N° 5 : JUNTAS CORTADAS x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)**



GRAFICA N° 6 : JUNTAS CORTADAS x MES



aceptación, observándose que la mayor cantidad de juntas cortadas esta concentrada en las juntas de 20" con 91 juntas cortadas de 5 285 producidas¹.

Grafica N° 6.- Muestra las juntas cortadas por mes, durante el proyecto, una junta cortada es consecuencia de:

- Una reparación mal efectuada (con defectos)
- El responsable de campo decida cortar directamente sin tomar la opción de reparar la junta.

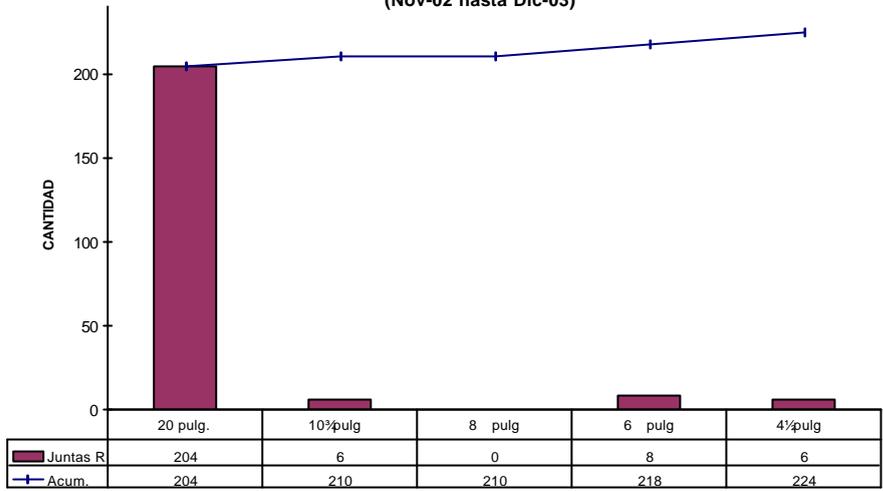
Grafica N° 7.- Muestra las juntas reparadas por diámetro durante el proyecto, se observa una notable diferencia entre los diámetros de juntas usados, habiendo mucha mayor cantidad de juntas reparadas de 20" con un total de 204 reparaciones de 5 285 juntas producidas. Las tuberías de diámetros menores a 20" solo se han empleados para ramales que nacen a partir de la troncal de 20".

Grafica N° 8.- Durante el proceso de soldadura, se han detectado defectos en las juntas que eran rechazadas por exceder las tolerancias de aceptación del estándar API 1104-99, los cuales fueron reparados, la siguiente gráfica cuantifica las juntas reparadas por mes, observándose que en el mes de marzo se concentra la mayor cantidad de reparaciones con un total de 28 juntas reparadas solo en ese mes.

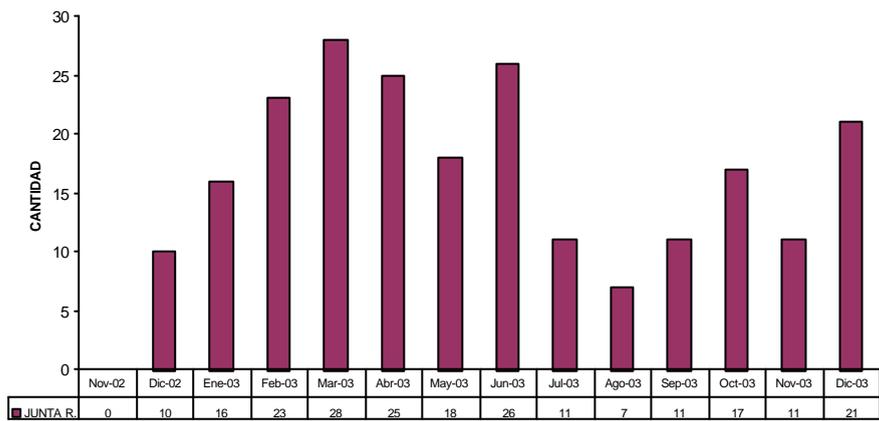
Grafica N°9.- Para un mejor análisis un cordón de soldadura se a dividido en tres zonas: raíz, relleno y cobertura, donde un defecto se puede ubicar en cualquiera de estas zonas, la grafica nos muestra que la mayor cantidad de defectos se encuentra en la zona de raíz con

¹ Para realizar el corte de una junta se realiza un corte a cada lado de la tubería. Por tanto estamos realizando dos corte para eliminar una junta defectuosa.

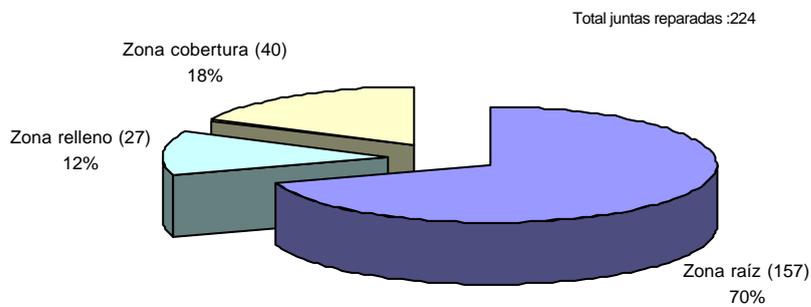
**GRAFICA N° 7 : JUNTAS REPARADAS x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)**



GRAFICA N° 8 : JUNTAS REPARADAS x MES



GRAFICA N° 9 : JUNTAS REPARADAS x ZONA DE DEFECTO



un 70% del total de reparaciones realizadas en el proyecto. Siendo estos defectos parte de los costos de no calidad.

Grafica N° 10, 11 y 12 .- Los 3 gráficos son IR clasificados por diámetro, donde tenemos: IR de corte, IR de reparación e IR acumulado de los dos anteriores, en el que se puede concluir que para diámetros de, 10¾ a 20" las reparaciones se incrementan y los cortes disminuyen por tanto para este rango de diámetros ambos tipos de defectos son inversamente proporcionales.

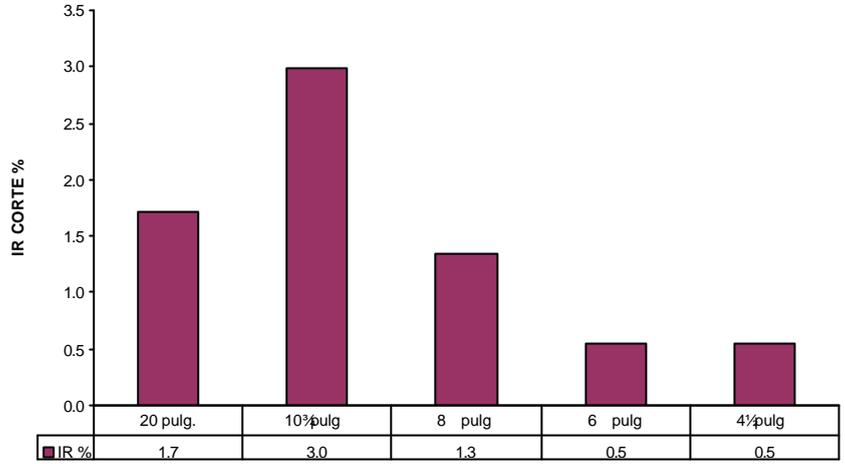
En el IR total para diámetros menores (8 ", 6 " y 4 ½), cuanto mas pequeño sea el diámetro el IR total se incrementa, esto se puede explicar por la complejidad que significa trabajar con diámetros menores. Siendo en IR del proyecto 4.3% es decir de 6 391 juntas producidas solo se han rechazado 273 juntas, el valor de IR del proyecto es relativamente aceptable.

Grafica N° 13.- Se puede apreciar, que entre los meses de febrero a marzo se mejora notablemente el IR de corte disminuyendo de 6.7% a 1%, esto es debido al resultado de las acciones correctivas y preventivas que se tomo en los meses en cuestión.

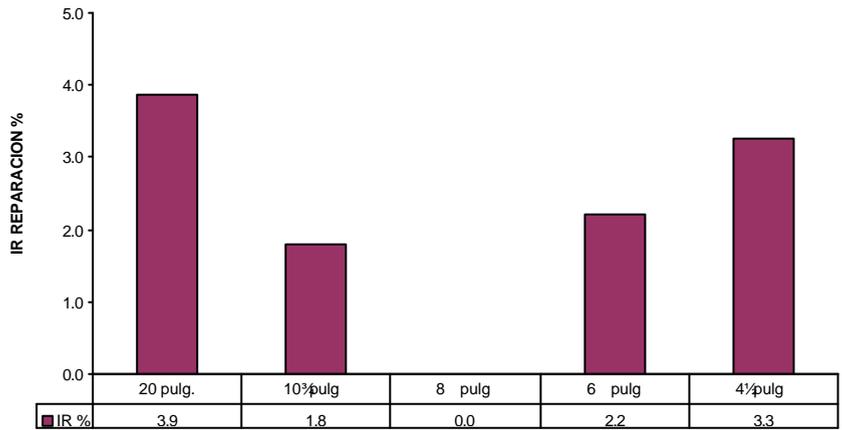
Grafica N° 14.- Muestra el IR de las reparaciones efectuadas mes a mes donde se observa que los meses con IR mayor al 4% son: Dic-02, Ene, Feb, Abr, Jun y Dic del 2003, y siendo el mes de menor IR de reparación en Ago-03 con 1.5%.

Grafica N° 15.- El IR total, es el acumulado de los reprocesos que han tenido que efectuarse debido a los trabajos de no calidad, entre estos tenemos juntas rechazadas con defectos detectado a través de END y juntas que han tenido que cortarse. Por lo tanto podemos concluir que durante los 4 primeros meses los rechazos se incrementan notablemente, hasta que se toman acciones correctivas y preventivas en el mes de febrero, a partir del cual los cortes y reparaciones son controlados.

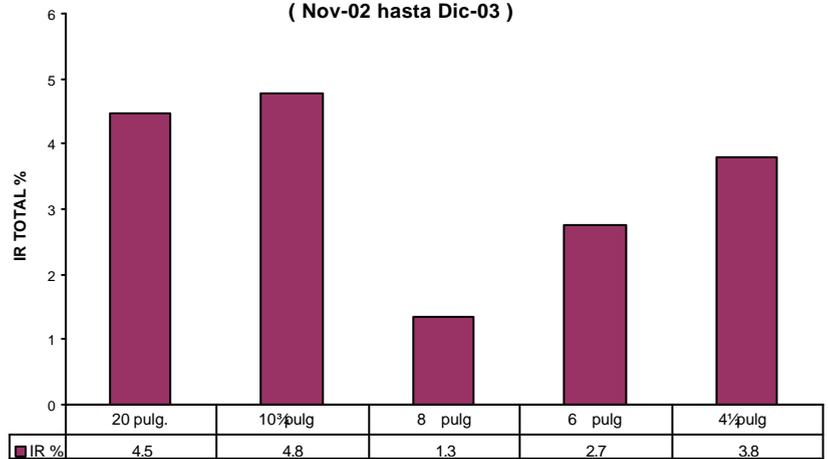
GRAFICA N° 10 : IR DE CORTE X DIAMETRO



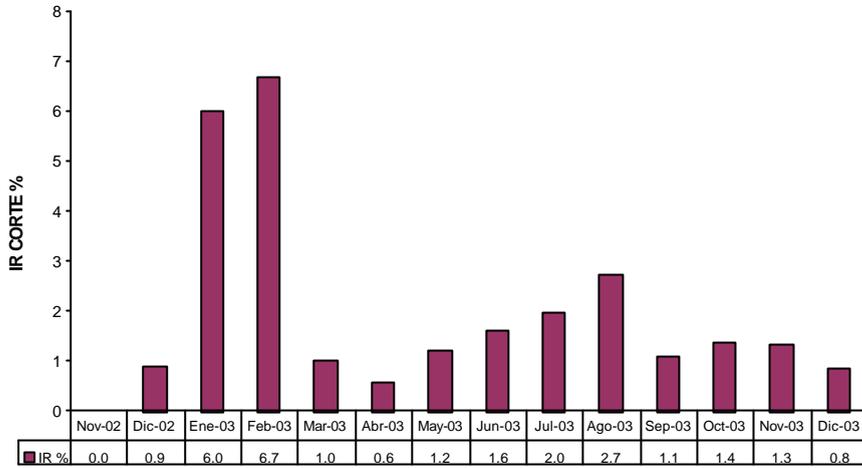
GRAFICA N° 11: IR DE REPARACION x DIAMETRO



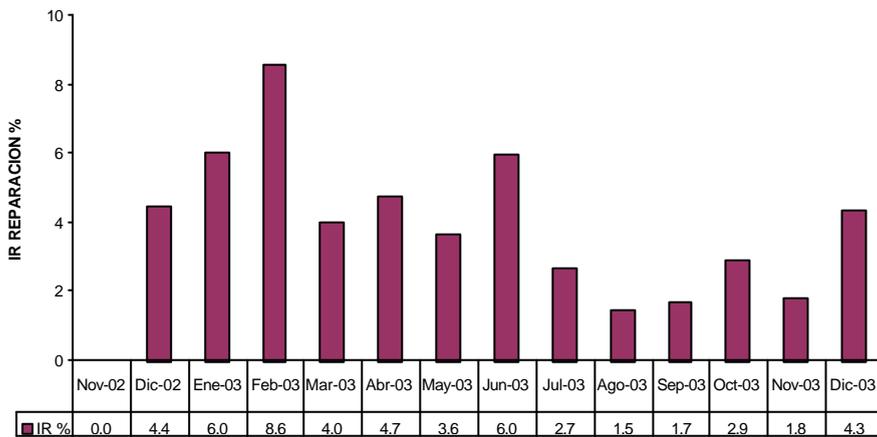
**GRAFICA N° 12: IR TOTAL x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)**



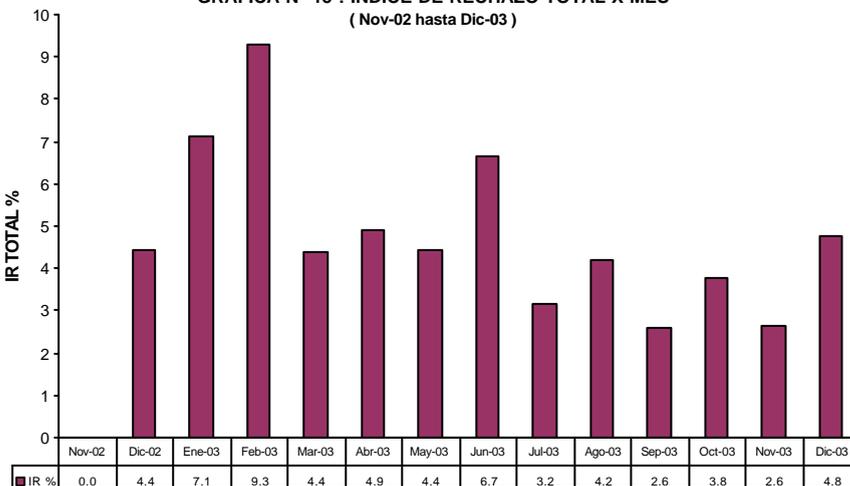
GRAFICA N° 13: IR CORTE X MES



GRAFICA N°14: IR REPARACION x MES



**GRAFICA N° 15 : INDICE DE RECHAZO TOTAL X MES
(Nov-02 hasta Dic-03)**



Grafica N° 16.- Muestra los costos unitarios que se requiere para soldar una junta, se observa que el costo es directamente proporcional al diámetro, es decir a mayor diámetro mayor costo unitario, en el costo unitario esta considerado el costo de materiales, mano de obra, equipo & herramienta y el costo de END. 8", 6" y 4½"

Grafica N° 17.- Muestra el costo total de junta por diámetro, se observa que el costo total de las junta en orden ascendente es: 4½", 6", 8", 10¾" y 20", siendo la junta de 20" el de mayor costo con un total de US\$ 2 279 230, el acumulado del costo total para soldar todas las juntas del gasoducto es de US\$ 2 528 580.

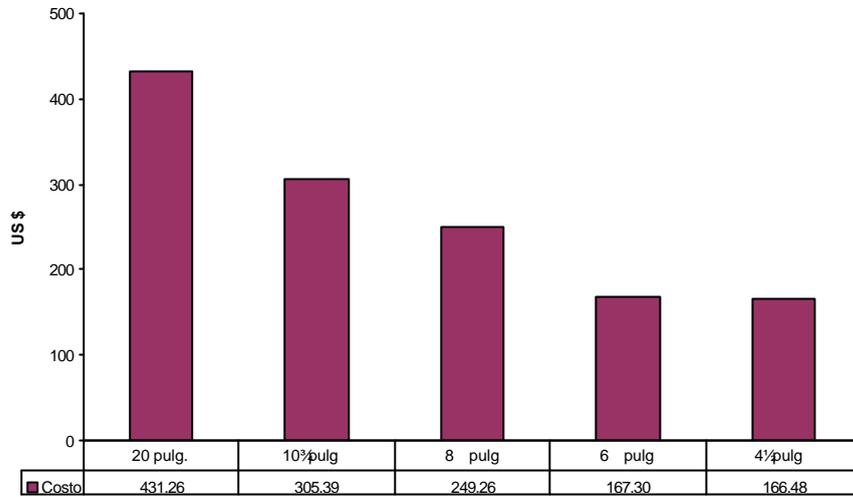
Grafica N° 18.- Muestra el costo unitario de corte por diámetro. Para realizar el corte de una junta soldada necesariamente se debe realizar dos cortes a la tubería, por lo tanto los costo unitario indicados en la grafica ya están considerando dichos cortes.

Grafica N° 19.- Muestra el costo total de los corte de juntas realizados durante todo el proyecto por diámetro. Este costo son parte de los costos de no calidad, el costo total de corte del proyecto es US\$ 11 790, observándose una notable diferencia en el costo de las juntas de 20" las cuales son de mayor producción.

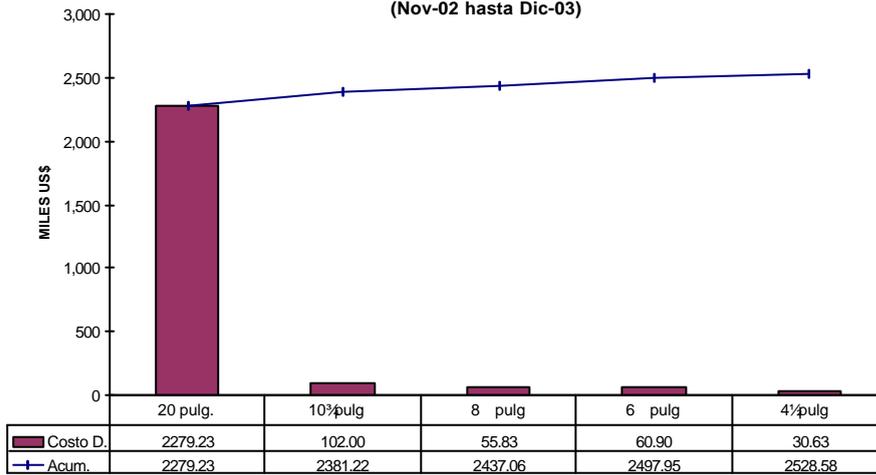
Grafica N° 20.- Muestra el costo total de soldadura de juntas cortas y evaluadas por diámetro. Se observa que el costo de las juntas de 20" es mayor por tener un alto numero de juntas cortadas debido al rechazo de las reparaciones realizadas, el costo total de la soldadura de estas juntas cortadas es de US\$ 43 350, siendo este uno de los costos de no calidad para el proyecto.

Grafica N° 21.- Muestra el costo unitario de reparación por zonas de defectos. El costo unitario en la zona de raíz es mayor por realizarse con dos proceso de soldadura GTAW para el pase de raíz y SMAW para los demás pases.

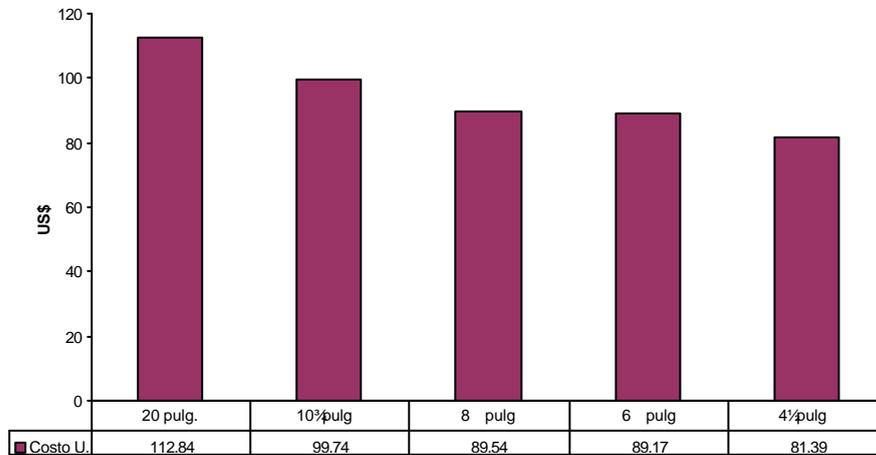
GRAFICA N° 16 : COSTO UNITARIO DE JUNTA SOLDADA x DIAMETRO



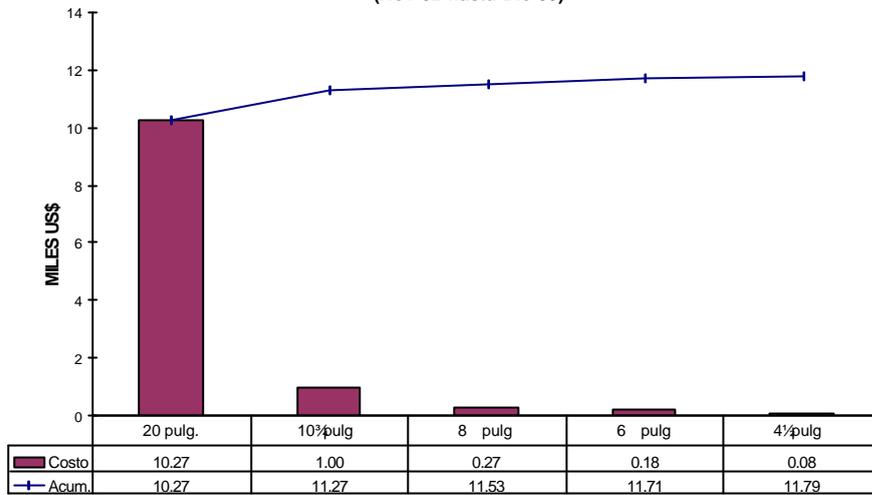
GRAFICA N° 17 : COSTO TOTAL DE JUNTA x DIAMETRO (Nov-02 hasta Dic-03)



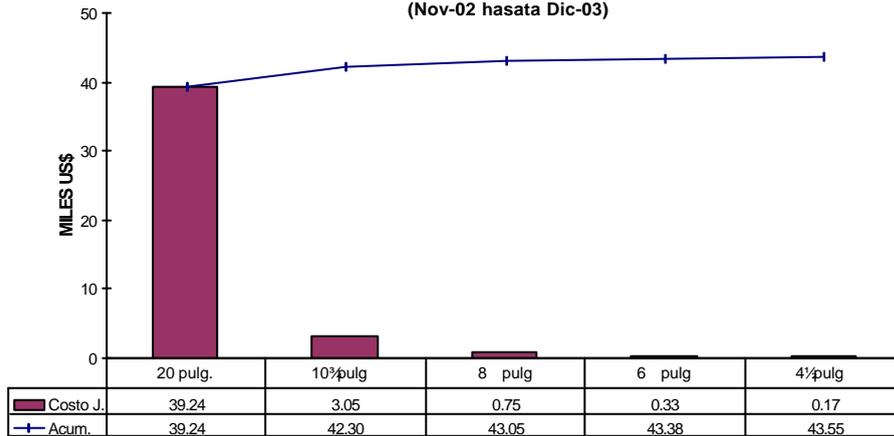
GRAFICA N° 18 : COSTO UNITARIO DE CORTE x DIAMETRO



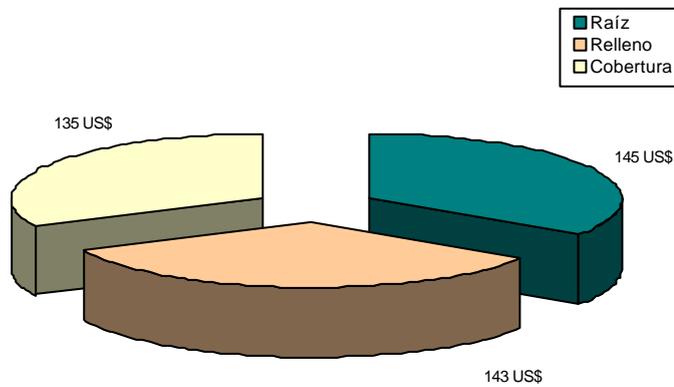
GRAFICA N° 19 : COSTO TOTAL CORTE x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)



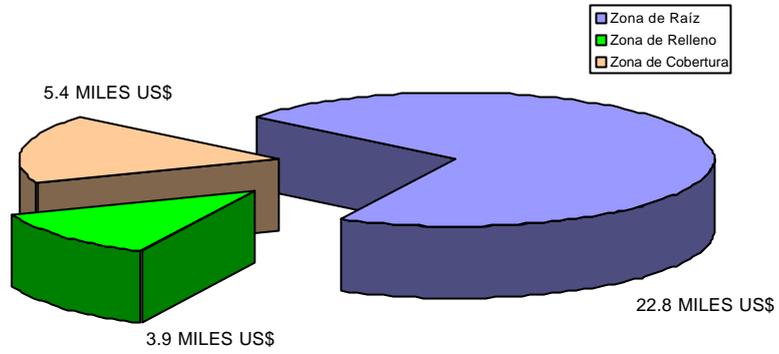
GRAFICA N° 20: COSTO TOTAL DE SOLDADURA DE JUNTAS CORTADAS
x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)



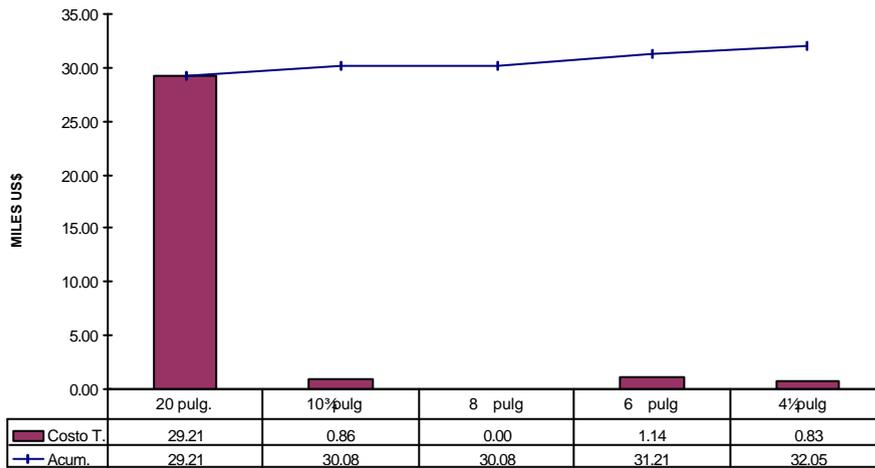
GRAFICA N° 21 : COSTO UNITARIO DE REPARACION x ZONA DE DEFECTO



**GRAFICA N° 22: COSTO TOTAL DE REPARACION
POR ZONA DE DEFECTO**



**GRAFICA N° 23 : COSTO TOTAL DE REPARACION x DIAMETRO
(Nov-02 hasta Dic-03)**



Grafica N° 22.- Muestra el costo total de reparaciones por zonas de defecto, se observa que el costo total de reparación en la zona de raíz es notablemente mayor que el costo de zona de relleno y cobertura, Este costo de reparación también es uno de los costos de no calidad para el proyecto.

Grafica N° 23.- Muestra el costo total de reparaciones por diámetro, evaluados para el proyecto, se observa que el costo de reparación de juntas de 20" es el mayor. Obteniéndose un costo total de reparación para el proyecto de US\$ 32 050

2.- Definición del Proyecto Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao

El proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao se ha desarrollado en un ambiente donde se tenía implementado un Sistema de Gestión de Calidad y un equipo de control de calidad que verificaba las labores de producción en los frentes de trabajo. Bajo este enfoque se han llegado a calcular los costos relativos a la calidad (costo de calidad y costo de no calidad) que se presenta en la tabla N° 3.

De la tabla N° 7.30 del capítulo 7, se ha obtenido para el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao un índice de rechazo de 4.3%.

3.- Definición del Proyecto Red de Distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A"

Si el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao se hubiese desarrollado bajo una administración que le reste importancia al tema de Gestión de Calidad y solo se limite a realizar su trabajo cumpliendo con las exigencias mínimas del cliente. Esto significará tener mayores costo de no calidad que afectarán a las utilidades previstas en el proyecto.

A continuación vamos a llevar el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A".

En la tabla N° 1 se muestra cantidades de juntas soldadas, reparadas, cortadas e índices de rechazo del proyecto "A", obteniéndose un índice de rechazo del proyecto "A" igual a 25.9%, esto es debido a que en el proyecto "A", se han ejecutado los trabajos de soldadura sin contar con la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad, así mismo en los frentes de trabajo no contaban con los supervisores de control de calidad para la soldadura en forma permanente. Para el manejo de la información de calidad de campo no se contaba con un software que permitiera ver el avance y los resultados periódicos desde el punto de vista de calidad.

Los procedimientos operativo de calidad y las instrucciones técnicas de trabajo con que se contaban era deficiente y no existía una buena difusión en el personal involucrado en la ejecución de los trabajos.

Para llevar los valores de costo de calidad y no calidad del proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A", vamos a emplear ratios obtenidos de otros proyectos (ver tabla N° 1), estos valores comparativos nos permitirá verificar cual es la importancia de tener implementado un Sistema de Gestión de Calidad para un proyecto y en particular para el proceso de soldadura.

Necesitamos llevar las cantidades de corte y reparación del proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A", para esto tendremos en cuenta los índice de rechazos de ambos proyectos (ver tabla N° 1 y tabla N° 7.30). Las cantidades de juntas realizada por cada diámetro se mantendrá constante y lo único que va a variar son las reparaciones y los cortes.

Finalmente a través de los índices de rechazo entre el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao llevado a las condiciones del proyecto "A" obteniéndose como resultado la tabla N° 2 a partir de estos valores se han calculado los costos relativos a la

**TABLA N° 1 : RESUMEN DE CANTIDADES DE JUNTAS SOLDADAS, REPARADAS Y CORTADAS
DEL PROYECTO "A" , DONDE NO SE APLICO UN SISTEMA DE CALIDAD**

DESCRIPCION / TRONCAL TW	DIA Pulg	JUNTAS DE TW (DESDE KM 0+00 HASTA KM 10+650)							INDICE DE RECHAZO (%)		
		JUNTAS	FALTA UT SGS	FALTA UT RTD	SOLD. OK	RECHAZADAS	CORTADO	REPARADO	TOTAL	CORTE	REPARADO
KM 0+00 HASTA KM 1+100	16	91	5	0	83	3	0	3	3.3	0.0	3.3
KM 1+100 HASTA KM 3+845	16	230	0	0	137	93	13	80	40.4	5.7	34.8
KM 3+845 HASTA 5+300	16	120	0	0	64	56	3	53	46.7	2.5	44.2
KM 5+300 HASTA KM 8+200	12	250	0	0	177	73	13	60	29.2	5.2	24.0
KM 8+200 HASTA KM 10+650	12	189	0	0	137	52	30	22	27.5	15.9	11.6
TOTAL KM 0+00 / 10+650		880	5	0	875	277	59	218	31.5	6.7	24.8

DESCRIPCION / TRONCAL RW	DIA Pulg	JUNTAS DE RW (DESDE KM 0+00 HASTA KM 10+650)						INDICE DE RECHAZO (%)		
		JUNTAS	FALTA UT SGS	SOLD. OK	RECHAZADAS	CORTADO	REPARADO	TOTAL	CORTE	REPARADO
KM 0+00 HASTA KM 1+100	12	7	5	2	0	0	0	0.0	0.0	0.0
KM 1+100 HASTA KM 3+845	12	226	0	181	45	12	33	19.9	5.3	14.6
KM 3+845 HASTA 5+300	12	121	0	70	51	9	42	42.1	7.4	34.7
KM 5+300 HASTA KM 8+200	12	252	0	213	39	7	32	15.5	2.8	12.7
KM 8+200 HASTA KM 10+650	12	190	0	145	45	27	18	23.7	14.2	9.5
TOTAL KM 0+00 / 10+650		796	5	791	180	55	125	22.6	6.9	15.7

DESCRIPCION / RAMAL TS	DIA Pulg	JUNTAS DE TS (DESDE KM 0+00 HASTA KM 1+596)						INDICE DE RECHAZO (%)			
		JUNTAS	FALTA UT SGS	FALTA UT RTD	SOLD. OK	CORTADO	REPARADO	TOTAL	CORTE	REPARADO	
KM 0+00 HASTA KM 1+596	16	133	1	0	93	39	10	29	29.3	7.5	21.8

DESCRIPCION / RAMAL RW1	DIA Pulg	JUNTAS DE RW1 (DESDE KM 0+00 AL KM 1+142 Y BAJADA DEL CYCLON STATION)					INDICE DE RECHAZO (%)			
		JUNTAS	FALTA UT SGS / RTD	SOLD. OK	CORTADO	REPARADO	TOTAL	CORTE	REPARADO	
KM 0+420 HASTA KM 1+142 Y LA	16	79	0	71	8	2	6	10.1	2.5	7.6

DESCRIPCION / RAMAL RW2	DIA Pulg	JUNTAS DE RW2 (DESDE KM 0+00 AL KM 1+142 Y BAJADA DEL CYCLON STATION)					INDICE DE RECHAZO (%)			
		JUNTAS	FALTA UT SGS / RTD	SOLD. OK	CORTADO	REPARADO	TOTAL	CORTE	REPARADO	
KM 0+420 HASTA KM 1+142 Y LA	16	79	0	73	6	4	2	7.6	5.1	2.5

RESUMEN DE LAS JUNTAS

DESCRIPCION GENERAL	DIA Pulg	RESUMEN DE JUNTAS DE TW, RW, TS, RW1 Y RW2						INDICE DE RECHAZO (%)		
		JUNTAS	FALTA UT SGS	SOLD. OK	CORTADO	REPARADO	TOTAL	CORTE	REPARADO	
TOTAL DE LINEA DE TUBERIAS	Varios	1967	11	1903	510	130	380	25.9	6.6	19.3

TABLA N° 2 : RESUMEN DE CANTIDADES Y COSTOS DE JUNTAS REPARADAS POR ZONA DE DEFECTO, CORTADAS DEL PROYECTO DE "RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO" A LAS CONDICIONES DEL PROYECTO "A"

a.- Calculo de juntas reparadas del proyecto (**)

De la formula:

$$\text{Total Juntas reparadas} = (\text{Juntas Totales} \times \text{IR reparaci3n}) / 100$$

Datos :

IR reparaci3n = 19.3 (ver tabla N° 1)
 Juntas totales = 6 391 (ver tabla N° 7.30)

$$\text{Total Juntas cortadas} = (6391 \times 19.3) / 100 = 1233$$

TABLA 2-A

Diametro	Total Juntas proyecto (**)	IR Reparaci3n Proyecto (**)	Cantidad Juntas Reparadas Proyecto (**)	Cantidad de juntas reparadas por Zona de defecto			Costo Unitario por junta Reparada por zona de Defecto (US\$)			Costo de Reparaci3n			Costo Total Reparacion (Miles US\$)
				Raiz	Relleno	Cobertura	Raiz	Relleno	Cobertura	Raiz (Miles US\$)	Relleno (Miles US\$)	Cobertura (Miles US\$)	
Varios*	6391	19.30	1233	566	352	315	145	143	135	82.17	50.25	42.52	174.94

b.- Calculo de juntas Cortadas del proyecto (**)

De la formula:

$$\text{Total Juntas cortadas} = (\text{Juntas Totales} \times \text{IR corte}) / 100$$

Datos :

IR corte = 6.6 (ver tabla N° 1)
 Juntas totales = 6 391 (ver tabla N° 7.30)

$$\text{Total Juntas cortadas} = (6391 \times 6.6) / 100 = 422$$

TABLA 2-B

Diametro	Cantidad de Juntas		Indice de rechazo Corte	Factor Proporci3n	Cantidad Juntas Cortadas		Costo de Juntas Cortadas			Costo de soldadura por corte		
	Totales	Acumulado			Total Proyecto (**)	Acumulado	Unitario (US\$)	Total (Miles US\$)	Acumulado (Miles US\$)	Unitario (US\$)	Total (Miles US\$)	Acumulado (Miles US\$)
20 pulg.	5285	5285	1.7	24.1	102	102	112.84	11.47	11.47	431.26	43.82	43.82
10¾pulg	334	5619	3.0	41.9	177	278	99.74	17.62	29.09	305.39	53.95	97.77
8 pulg	224	5843	1.3	18.7	79	357	89.54	7.08	36.16	249.26	19.70	117.47
6 pulg	364	6207	0.5	7.7	32	390	89.17	2.89	39.05	167.30	5.42	122.90
4½pulg	184	6391	0.5	7.6	32	422	81.39	2.61	41.66	166.48	5.34	128.24
	6391		7.1			422						

Nota (*) : Comprende reparaciones de todos los diametros por que el costo unitario de reparaci3n no depende del diametro sino de la zona de defecto

(**) : Proyecto de "Red de Distribuci3n de Gas Natural para Lima y callao a condicones del proyecto "A"

calidad del proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A", mostrado en la tabla N° 4.

4.- Modelo óptimo de los costos de calidad

Si presentamos gráficamente el modelo óptimo de costos relativos a la calidad en función de las categorías de costos de prevención, evaluación, fallas internas y externas, se obtiene la figura 1 donde se observa lo siguiente:

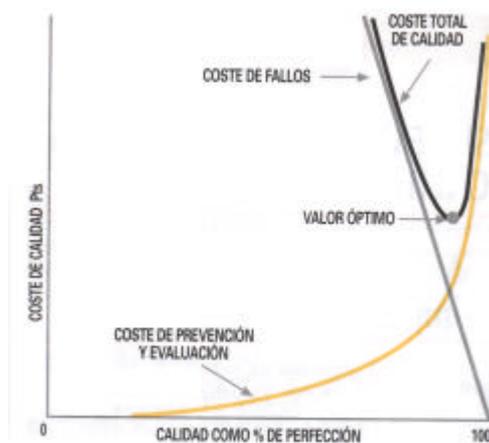


Figura N°1: Modelo óptimo de costos de calidad

Si los costos de prevención y evaluación se aproximan a cero, el producto tiende a ser totalmente defectuoso. La mejora del nivel de calidad en este caso se basa en incrementar estos costos de prevención y evaluación.

Los costos de fallas debido a falta de perfección aumenta a medida que la perfección disminuye.

Los costos totales de calidad tienen un mínimo que debe considerarse como el **valor óptimo del costo de calidad**.

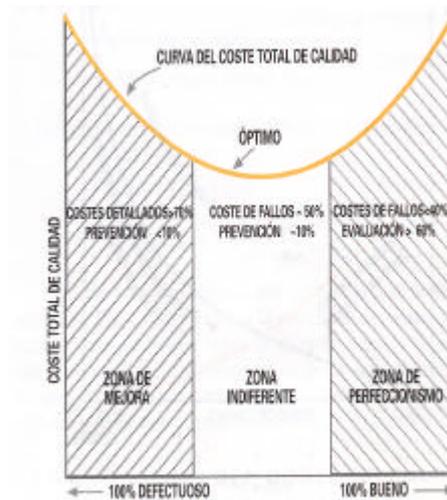


Figura N° 2: Costos de calidad valores óptimos

Este último concepto de **valor óptimo** del costo de calidad, nos lleva inmediatamente a la necesidad de evaluar los valores óptimos de las categorías de prevención, evaluación, fallas internas y externas.

Si presentamos ampliada la curva del costo total de calidad del modelo teórico estudiado, (ver la figura N° 2) donde se observan las siguientes zonas:

- **Zona de mejora.-** Las fallas suponen más de 70% de costo total de calidad y los costos de prevención menos de un 10% del costo total.
- **Zona de indiferencia.-** Se caracteriza por que el 50% de los costos totales de calidad se originan por fallas. Los de prevención son superiores al 10% de dicho costo total.
- **Zona de perfeccionismo.-** En donde los costos de evaluación exceden al costo de fallas.

En estos casos la experiencia demuestra que los proyectos de mejora consiste en descubrir estos costos de perfeccionismo. Son proyectos típicos de este caso, las reducciones de inspección por revisión de las pautas de inspección no idóneas, por la utilización de estudios de capacidad de procesos, por la implantación de supervisiones muestrales o por estudios

comparativos entre los costos de detectar los defectos y los daños causados por los mismos.

5.- Costo total de calidad y grado de control

En la figura N° 3 se presenta la combinación que se puede realizar de acuerdo al grado de control y la inversión que se ha decidido realizar en prevención y evaluación, La suma de las curvas de costos de calidad y de costos de no calidad da la curva de los costos totales de la calidad, curva que tiene la forma de una parábola con un mínimo. Este mínimo representa el nivel de calidad económicamente óptimo que debe alcanzar una empresa.

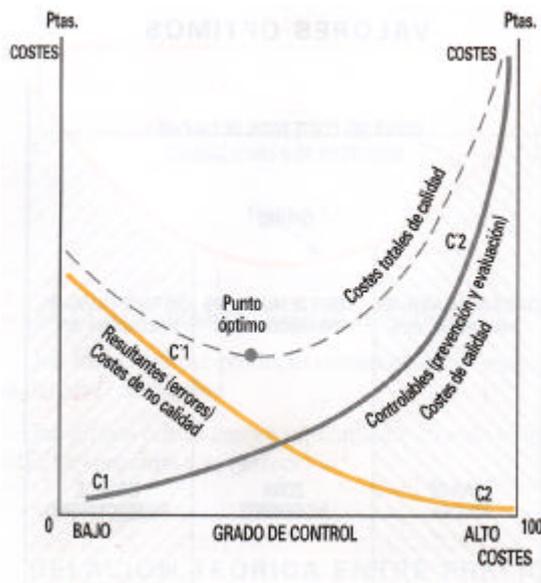


Figura N° 3 : Costo de calidad y grado de control

Analicemos dos situaciones para facilitar la comprensión de estos conceptos:

Grado de control bajo.- Cuando la empresa decide no invertir en prevención y evaluación (C1) pero acepta gastar en reparación de errores externos (C'1).

Grado de control Alto.- Es típico en los negocios basados en una calidad y fiabilidad del producto extremo. Los costos resultantes son muy bajos (C2), a costa de una fuerte inversión en prevención y evaluación (C'2). Sobre la figura N°3 es interesante hacer los siguientes comentarios:

- En general y desde punto de vista del costo del producto, no invertir en prevención y evaluación provoca unos importantes costos de fallas internas y externas.

TABLA N° 3 : COSTO RELATIVO A LA CALIDAD DEL PROYECTO DE "RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO"

Item	Responsable	Unid.	Cant.	Costo (US\$)	Costo parcial	Costo Total	% CC
1.0	Costos de prevención					55440	22.5
1.1	Planificación y administración de la calidad *	QA/QC*					
1.2	Desarrollo del sistema de calidad *	QA/QC*					
1.3	Desarrollo de los procedimientos de calidad *	QA/QC*					
1.4	Capacitación del personal para la calidad *	QA/QC*					
1.5	Gastos administrativos.	Contratista	Mes	14	489	6840	
1.6	Especificación de procedimiento de soldadura *	QA/QC*					
1.7	Calificación de procedimiento de soldadura	Contratista	Global	1	1500	1500	
1.8	Calificación de soldadores	Contratista	Global	1	4800	4800	
1.9	Evaluación de proveedores *	QA/QC*					
1.10	Costo de prevención de operaciones *	QA/QC*					
1.11	Auditorias del sistema de calidad	Contratista	Global	1	300	300	
	Nota : Suma de los costos marcados con (*)	QA/QC	Mes	14	3000	42000	
2.0	Costos de evaluación					123120	50.1
2.1	Adquisición de equipos para medir la calidad	Contratista	Global	1	1600	1600	
2.2	Calibración de equipos para medir la calidad	Contratista	Unid.	2	240	480	
2.3	Verificación de fabricación interna **	Contratista**					
2.4	Costo de evaluación de operaciones **	Contratista**					
2.5	Medida de control de proceso **	Contratista**					
2.6	Inspección y toma de datos de parámetros eléctricos de soldadura **	Contratista**					
2.7	Registros de calidad de soldadura **	Contratista**					
2.8	Ensayos y pruebas **	Contratista**					
2.9	Ensayos especiales **	Contratista**					
2.10	Revisión del dossier de calidad	QA/QC	Mes	14	150	2100	
2.11	Costo de evaluación externa (auditoria)	Contratista	Global	1	500	500	
	Nota : Suma de los costos marcados con (**)	Contratista	Mes	14	8460	118440	
3.0	Costos de fallas internas					63196	25.7
3.1	Costo de revisión de materiales y acción correctora.	QA/QC	Mes	14	750	10500	
3.2	Costos de reparación de materiales y acción correctora						
	• Reparación de juntas.	Contratista	Global	1	833	833	
	• Corte de juntas rechazadas no reparadas ***	Contratista***					
	• Corte de juntas rechazadas y reparadas ***	Contratista***					
	• Corte de juntas rechazadas por mala practica ***	Contratista***					
	• Corte de juntas aprobadas por mala planificación ***	Contratista***					
	• Costo de soldadura de juntas cortadas.	Contratista	Global	1	43381	43381	
3.3	Reelaboración de registros de calidad.	QA/QC	Mes	14	75	1050	
3.4	Identificación y elaboración de registros no elaborados.	QA/QC	Mes	14	75	1050	
3.5	Tratamiento y cierre de no conformidades	QA/QC	Mes	14	450	6300	
	Nota : Suma de los costos marcados con (***)	Contratista	Global	1	81	81	
4.0	Costos de fallas externas					4200	1.7
4.1	Levantar observaciones de los registros de calidad.	QA/QC	Mes	14	150	2100	
4.2	Tratamiento y cierre de no conformidades	QA/QC	Mes	14	150	2100	

RESUMEN DE LOS COSTOS RELATIVOS A LA CALIDAD

	Parcial	US\$	% CC	% Sold.	% Proy.
COSTO DE LA CALIDAD		178560	72.6	7.1	0.85
1.0 Costo de Prevención	55440				
2.0 Costo de evaluación	123120				
COSTO DE NO CALIDAD (CNC)		67396	27.4	2.7	0.32
3.0 Costo de fallas internas	63196				
4.0 Costo de fallas externas	4200				
COSTO TOTAL DE CALIDAD		245956	100	9.7	1.17
(Costo de calidad + Costo de no calidad)					
COSTO DE SOLDADURA DEL PROYECTO		2528585			
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		21000000			

Nota:

% CC : Porcentaje referido al costo total de calidad.

% Sold. : Porcentaje referido al costo total de soldadura del proyecto.

% Proy. : Porcentaje referido al costo total del proyecto

TABLA N° 4 : COSTO RELATIVO A LA CALIDAD DEL PROYECTO DE "RED DE DISTRIBUCION DE GAS NATURAL PARA LIMA Y CALLAO" A LAS CONDICIONES DEL PROYECTO "A"

		Responsable	Unid.	Cant.	Costo (US\$)	Costo parcial	Costo Total	% CC
1.0	Costos de prevención						8680	2.0
1.1	Planificación y administración de la calidad *	QA/QC*						
1.2	Desarrollo del sistema de calidad *	QA/QC*						
1.3	Desarrollo de los procedimientos de calidad *	QA/QC*						
1.4	Capacitación del personal para la calidad *	QA/QC*						
1.5	Gastos administrativos	Contratista	Mes	14	170	2380		
1.6	Especificación de procedimiento de soldadura *	QA/QC*						
1.7	Calificación de procedimiento de soldadura	Contratista	Global	1	1500	1500		
1.8	Calificación de soldadores *	Contratista	Global	1	4800	4800		
1.9	Evaluación de proveedores	QA/QC*						
1.10	Costo de prevención de operaciones *	QA/QC*						
1.11	Auditorías del sistema de calidad.	Contratista	Global					
	Nota : Suma de los costos marcados con (*)	QA/QC	Mes					
2.0	Costos de evaluación						46060	10.8
2.1	Adquisición de equipos para medir la calidad	Contratista	Global	1	800	800		
2.2	Calibración de equipos para medir la calidad	Contratista	Unid.	2	120	240		
2.3	Verificación de fabricación interna **	Contratista**						
2.4	Costo de evaluación de operaciones **	Contratista**						
2.5	Medida de control de proceso **	Contratista**						
2.6	Inspección y toma de datos de parámetros eléctricos de soldadura **	Contratista**						
2.7	Registros de calidad de soldadura **	Contratista**						
2.8	Ensayos y pruebas **	Contratista**						
2.9	Ensayos especiales **	Contratista**						
2.10	Revisión del dossier de calidad	QA/QC	Mes					
2.11	Costo de evaluación externa (auditoría)	Contratista	Global	1	500	500		
	Nota : Suma de los costos marcados con (**)	Contratista	Mes	14	3180	44520		
3.0	Costos de fallas internas						344427	81.0
3.1	Costo de revisión de materiales y acción correctora.	QA/QC	Mes					
3.2	Costos de reparación de materiales y acción correctora							
	• Reparación de juntas.	Contratista	Global	1	174940	174940		
	• Corte de juntas rechazadas no reparadas ***	Contratista***						
	• Corte de juntas rechazadas y reparadas ***	Contratista***						
	• Corte de juntas rechazadas por mala practica ***	Contratista***						
	• Corte de juntas aprobadas por mala planificación ***	Contratista***						
	• Costo de soldadura de juntas cortadas.	Contratista	Global	1	128235	128235		
3.3	Reelaboración de registros de calidad.	QA/QC	Mes					
3.4	Identificación y elaboración de registros no elaborados.	QA/QC	Mes					
3.5	Tratamiento y cierre de no conformidades	QA/QC	Mes					
	Nota : Suma de los costos marcados con (***)	Contratista	Global	1	41252	41252		
4.0	Costos de fallas externas						25900	6.1
4.1	Levantar observaciones de los registros de calidad.	QA/QC	Mes	14	925	12950		
4.2	Tratamiento y cierre de no conformidades	QA/QC	Mes	14	925	12950		

RESUMEN DE LOS COSTOS RELATIVOS A LA CALIDAD

	Parcial	US\$	% CC	% Sold.	% Proy.
COSTO DE CALIDAD		54740	12.9	2.2	0.26
1.0 Costo de Prevención	8680				
2.0 Costo de evaluación	46060				
COSTO DE DE NO CALIDAD		370327	87.1	14.6	1.76
3.0 Costo de fallas internas	344427				
4.0 Costo de fallas externas)	25900				
COSTO TOTAL DE CALIDAD		425067	100	16.8	2.02
(Costo de calidad + Costos de no calidad)					
COSTO DE SOLDADURA DEL PROYECTO		2528585			
COSTO TOTAL DEL PROYECTO		21000000			

Nota:

- % CC : Porcentaje referido al costo total de calidad.
- % Sold. : Porcentaje referido al costo total de soldadura del proyecto.
- % Proy. : Porcentaje referido al costo total del proyecto

- Pretender reducir los costos resultantes es una utopía, y podría ser que el producto fuera inviable por su elevado costo.
- En general, la experiencia ha demostrado que invertir en prevención reduce considerablemente los costos totales de calidad, de forma muy especial los de evaluación.

6.- Costo por no tener implantado un sistema de gestión de calidad para un proceso de soldadura.

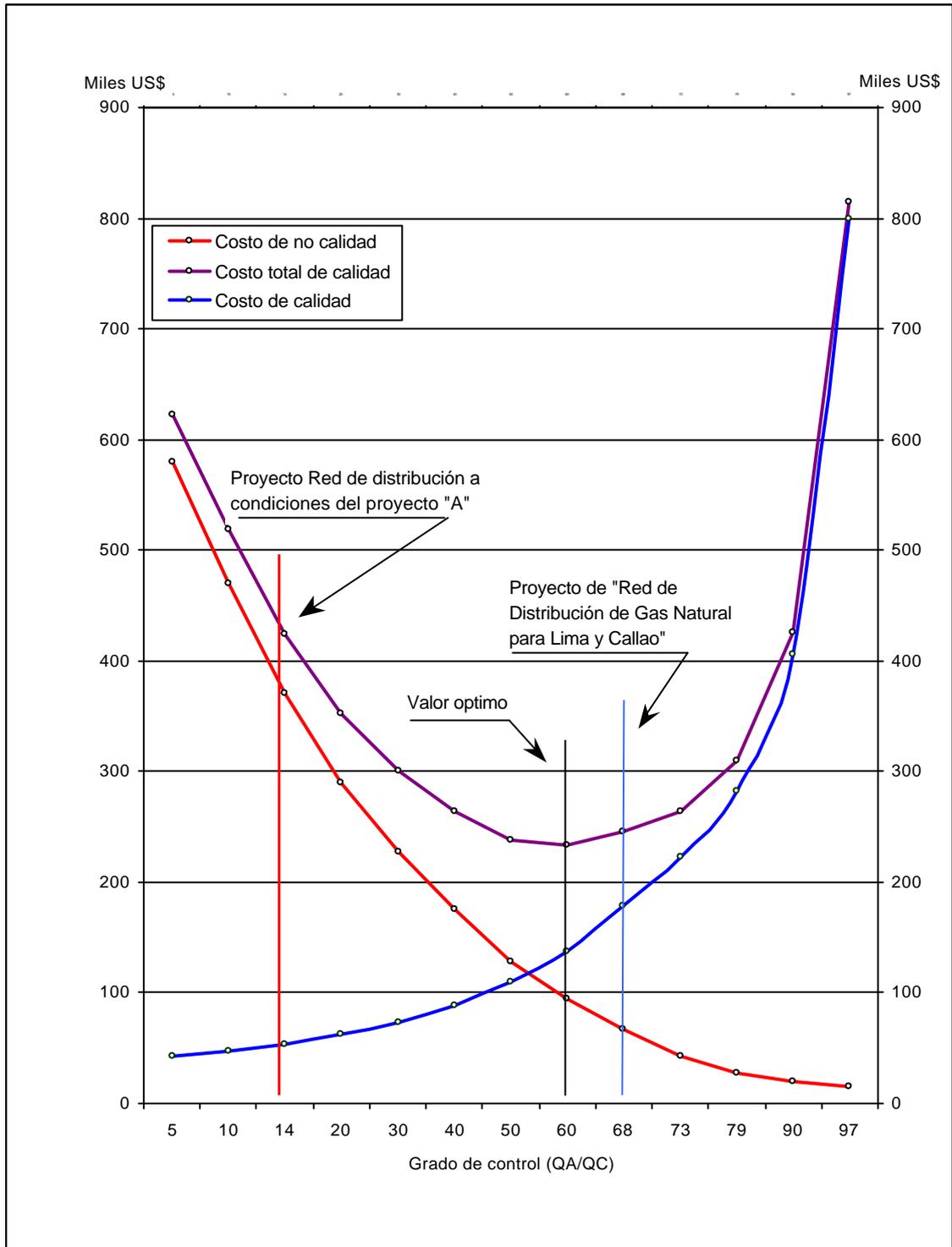
A partir del modelo óptimo de los costos de calidad y conociendo como son las tendencias de las curvas de costo de calidad y costo de no calidad, se graficaron ambas curvas con la información que tenemos en las tablas N° 3 y N° 4 para encontrar la curva de costo total de calidad vamos a emplear la siguiente fórmula:

$$\text{Costo total de calidad} = \text{Costo de calidad} + \text{Costo de no calidad} \dots\dots\dots(1)$$

Para obtener un punto de la curva de costo total de calidad se aplicó la fórmula 1, sumando los costos de calidad y costos de no calidad para un grado de control. Obteniéndose la gráfica N° 24, donde podemos interpretar lo siguiente:

- a. De la tabla N° 3, los costos de calidad, costos de no calidad y costo total de calidad que son llevados a la gráfica N° 24, estos costos se encuentran alineados en una recta vertical donde determinamos que el grado de control es 68%, que corresponde a la zona de perfeccionismo, para el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao.
- b. De la tabla N° 4, los costos de calidad, costos de no calidad y costo total de calidad que son llevados a la gráfica N° 24, estos costos se encuentran alineados en una recta vertical donde determinamos que el grado de control es 14%, que corresponde a la zona de mejora, para las condiciones del proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A".

GRAFICA N° 24 : COSTO DE CALIDAD Y GRADO DE CONTROL



- c. Analizando la curva de costo total de calidad de la grafica N° 24 se observa que existe un ahorro de US\$ 179 000 entre el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a la condición del proyecto “A “ y el proyecto original, debido a la implementación del sistema de gestión de calidad.
- d. Analizando la grafica N° 24 el valor optimo se encuentra para el menor “costo total de calidad” y para este valor optimo el grado de control es 60% que corresponde a la zona de indiferencia, esto quiere decir que para el proyecto podemos aun mejorar nuestro grado de control actual de 68% al 60%.
- e. En las tablas N° 5, 6 y 7, se muestra el resumen de costos relativos a la calidad para las zonas de perfeccionismo, mejora e indiferencia, donde se muestra los porcentajes para los costo de calidad, costo de no calidad y costo total de calidad, con respecto al costo total de calidad (%CC), costo de soldadura del proyecto (%Sold.) y al costo total del proyecto (%Proy.).
- f. Para el proyecto de red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao el costo de soldadura es de US\$ 2 528 585 y el costo total del proyecto es de 21 millones de dólares.
- g. El % Proy. de la tabla N°5 (1.17 %) es menor que el % Proy. de la tabla N°6 (2.02%), esto es debido a que el costo de calidad invertido inicialmente de la tabla N° 5 es mayor que el de la tabla N° 6. Pero aun observamos que en la tabla N° 7 el %Proy. se puede mejorar (1.10%) llevando nuestros costos a la zona de indiferencia, tal como se muestra en la grafica N° 24.

Tabla N° 5 : Resumen de costo relativo de la calidad
(zona de perfeccionismo)

Costos relativos de la calidad	Proyecto red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao			
	US\$	%CC	%Sold.	%Proy.
Costos de calidad	178 560	72.6	7.1	0.85
Costos de no calidad	67 396	27.4	2.7	0.32
Costo total de calidad	245 956	100	9.8	1.17

Tabla N° 6 : Resumen de costo relativo de la calidad
(zona de mejora)

Costos relativos de la calidad	Proyecto red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A"			
	US\$	%CC	%Sold.	%Proy.
Costos de calidad	54 740	12.9	2.2	0.26
Costos de no calidad	370 327	87.1	14.6	1.76
Costo total de calidad	425 067	100	16.8	2.02

Tabla N° 7 : Resumen de costo relativo de la calidad
(zona de indiferencia)

Costos relativos de la calidad	Proyecto optimo			
	US\$	%CC	%Sold.	%Proy.
Costos de calidad	138 000	59.2	5.5	0.65
Costos de no calidad	95 000	40.8	3.7	0.45
Costo total de calidad	233 000	100	9.2	1.10

- h. Debido a que el Proyecto de Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a implantado un sistema de gestión de calidad, los resultados se ven reflejados en el bajo "costo total de calidad" de US\$ 245 956 frente al alarmante costo de US\$ 425 067 del Proyecto de Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a las condiciones del proyecto "A", estos costos representan respectivamente el 9.8% y 16.8% del "costo de soldadura para el proyecto". Por lo tanto se ha ahorrado un total de US\$ 179 111 por el proceso de soldadura, y además el costo invaluable que tiene la empresa al realizar un trabajo de calidad.
- i. En las tablas N° 5, 6 y 7, se muestra el resumen de costos relativos a la calidad donde podemos observar que en estas tablas los costos totales de calidad son: 245 956, 425 067 y 233 000, que representan el 1.17%, 2.02% y 1.10% respectivamente, del costo total del proyecto. Esto es que el costo de la tabla N° 5 menor que el de la tabla N° 6, pero aun este costo se puede mejorar tal como se señala en la tabla N° 7 hasta 233000 para un costo total de calidad optimo.

7.- Sistema de gestión de la calidad

La implementación de un sistema de gestión de calidad, es un herramienta disponible para toda organización que desea mejorar su forma de trabajo, por eso este modelo sirve para muchas empresas que deseen mejorar su modo de trabajar y administrar sus operaciones. Tal es el caso que aquí se quiere mostrar los resultados beneficiosos que se obtiene debido a esta implementación, pues sus resultados son en el aspecto organizacional como empresa, como control del avance de obra, como beneficio económico debido al control de los productos no conformes, al manejo de ratios para tomar decisiones sobre aspectos que pudieran incidir en forma negativa sobre los trabajos de un área específica y además de la imagen que refleja la empresa ante el cliente, al suministrar un producto de buena calidad y cumpliendo con los plazos de entrega.

Todos estos beneficios podemos alcanzar cuando el responsable de la dirección asume el compromiso que el tema de calidad sea un aspecto que se desarrolle en un proyecto. En un proyecto se dice por que, si bien es cierto que toda empresa que cuenta con una certificación ISO 9001, tiene este sistema funcionando, no es necesario contar con dicha certificación para que esto funcione. El tema de tesis que se está desarrollando "GESTION DE CALIDAD APLICADA AL PROCESO DE SOLDADURA PARA EL PROYECTO GAS DE CAMISEA", es un ejemplo claro del como funciona para un proyecto específico y tiene resultados importantes que se pueden justificar económicamente, debido a la decidía de querer realizar un trabajo de buena calidad en forma eficaz y eficiente.

A continuación presentaremos un resumen del modo operativo de la gestión que fue necesario para el logro de los resultados alcanzados:

- La implementación del sistema de aseguramiento de calidad se inicia con la revisión de las exigencias establecidas en las especificaciones técnicas definidas durante el desarrollo de la ingeniería, esto quiere decir, revisión de especificaciones técnicas y planos de construcción. En base a ésta documentación la gerencia del proyecto plantean la política de calidad y los objetivos que se deberá lograr al termino del

proyecto. Luego el grupo de profesionales encargados del aseguramiento y control de calidad elaboran toda la documentación general que recomienda la ISO 9000:2000 y los procedimientos operativos de calidad que se muestra en las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 del capítulo 3.

- Una labor neurálgica es la difusión e implementación de los procedimientos dentro de la organización tanto para la parte administración como de la ejecución del proyecto. Todos aquellos procesos operativos críticos deben ser registrados para administrar los datos de los resultados de cada inspección y prueba. Dicha información debe ser almacenada y procesada en una base de datos para obtener periódicamente datos estadísticos del estado de infección y ensayos de cada proceso crítico de control. Los resultados obtenidos de la información recabada de campo debe ser analizada y evaluada para tomar las acciones correctivas y preventivas a tiempo, además de identificar cuales son las actividades que están fuera de control. De esta manera se debe entrar en el ciclo de mejora continua, para esto los resultados deben ser evaluados haciendo un corte cada semana. La mejora continua debe ser impulsado por todos los agentes que están comprometidos en el proyecto como supervisores, inspectores y trabajadores directos.
- El departamento de aseguramiento y control de calidad que se encarga de administrar y evaluar los avances de la implementación del sistema de calidad juega un papel importante para el logro de resultados favorables para proyecto.

CONCLUSIONES

Con la implementación de un SGC se ha logrado un ahorro US\$ 136,430 tal como se muestra en la gráfica N° 24 del proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao a la condición del proyecto "A".

De la gráfica N° 24 observamos que existe un valor óptimo de CTC, esto quiere decir que el proyecto Red de distribución de Gas Natural para Lima y Callao puede aun mejorar su performance de grado de control que es 68% a 60%.

Es necesario que una empresa esté certificada para poder implementar un SGC y contar con estos beneficios. Sólo se requiere que la Gerencia asuma el reto y empiece a trabajar por calidad.

BIBLIOGRAFIA

1. Introducción a la metalurgia de la soldadura
Autor : Dr. Carlos Fosca
2. Manual del soldador
Autor : German Hernández R.
3. Manual del soldadura de la AWS
Autor : R.L. O'Brien, Octava Edición
4. Seminario sobre análisis de costos
Autor : CIA Lincoln Electric
5. Catalogo de análisis de costo
Autor : CIA Indura
6. Las nuevas ISO 9000 : 2000 Sistema de Gestión de Calidad
Autor : Andrés Berrinches C.
7. Norma Técnica Peruana : NTP ISO 9001-2001
Autor : Comisión de reglamentos técnicos y comerciales - INDECOPI
8. Soldadura de tuberías e instalaciones relacionadas (Estándar API 1104, edición 1999)
Autor: American Petroleum Institute
9. Gestión de la calidad y diseño de organización
Autores : Moreno Luzón, Perris y Gonzáles.
10. El gas natural
Autor : Luis F. Cáceres Graziani.
11. 1^{er} Simposium internacional de gas de camisea
12. Especificaciones técnicas de Tractebel