

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“PROPUESTA DE MEJORA EN LA PRODUCCIÓN
DE ELECTRODOS DE SOLDADURA INDUSTRIAL
UTILIZANDO METODOLOGÍA SIX-SIGMA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

OSCAR ALBERTO GRANDA GAYOSO

PROMOCION 1999-II

LIMA-PERU

2006

DEDICATORIA

**A mi madre,
a mi familia,
a mis amigos.**

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO	1
CAP. 1: INTRODUCCION	4
CAP. 2: PROCESOS DE SOLDADURA, ELECTRODOS Y SU FABRICACION	9
2.1 Procesos de Soldadura	9
2.2 Electrodo Celulósicos	12
2.3 Electrodo Rutílicos.....	13
2.4 Electrodo Básicos	14
2.5 Electrodo de Hierro en Polvo	16
2.6 Electrodo Inoxidables.....	17
2.7 Fabricación de Electrodo Inoxidables	18
CAP. 3: LA EMPRESA.....	21
3.1 Reseña	21
3.2 Procesos de Soldadura Orientados al Consumo Nacional.....	22
3.3 Electrodo de Soldadura de Consumo Nacional	25
CAP. 4: METODOLOGIA SIX-SIGMA	29
4.1 Definición	29
4.2 Algunas Cifras.....	30
4.3 Herramientas.....	33
4.4 Métrica	37
4.5 Jerarquización del Programa	44
4.6 Proyecto DMAIC.....	46
4.7 Organización.....	52
4.8 Compatibilidad con ISO 9000 y EFQM.....	58
4.9 Propuesta de Mejora	61
CAP. 5: PROPUESTA DE MEJORA	64
5.1 Liderazgo y Compromiso de la Alta Dirección	64
5.2 Apoyo de la Alta Dirección en la Implementación de las Propuestas	66
5.3 DMAIC	67
5.4 Planteamiento del Problema.....	68
5.5 Recolección y Análisis de la Data	71
5.6 Herramientas SIX-SIGMA.....	72
5.7 Verificación Indices de Capacidad del Proceso	78
5.8 Análisis de las Entradas de las Variables de Control.....	85
5.9 Planificación de la Propuesta.....	86
5.10 Mejora del Proceso.....	87
5.11 Planes de Control.....	88
5.12 Establecer Variables de Control del Proceso luego de la Mejora	89
CAP. 6: RESULTADOS	91
CONCLUSIONES.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	95
APENDICES.....	96

PROLOGO

El presente trabajo trata sobre la optimización del proceso de fabricación de electrodos de soldadura en una empresa nacional, utilizando la metodología Six-Sigma. La presentación de este informe contempla el desarrollo de los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Introducción.- El objetivo del presente informe es mostrar la importancia y efectividad de aplicación de la Metodología Six-Sigma para la optimización de procesos; sobretodo en las empresas industriales, que implica en la mayoría de casos, desarrollar Ingeniería y/o Reingeniería.

Capítulo 2: Procesos de Soldadura, Electrodo y su Fabricación.- Se describen los tipos de soldadura de mayor uso en el mercado nacional, sus aplicaciones en la industria y el proceso de fabricación de los electrodos inoxidables.

Capítulo 3: La Empresa.- Se presenta a la compañía a través de una breve reseña histórica, y se destaca su importancia en el mercado nacional.

Capítulo 4: Metodología Six-Sigma.- Se describe la forma de análisis, el método de trabajo, las etapas y herramientas, así como las ventajas y beneficios de la aplicación de esta metodología.

Capítulo 5: Propuesta de Mejora.- Se realiza la aplicación de la Metodología Six-Sigma al proceso de fabricación de electrodos de soldadura industrial en una empresa nacional.

Capítulo 6: Resultados.- Se detallan los alcances y logros de la Propuesta de Mejora del proyecto piloto Six-Sigma aplicado.

Aprovecho estas líneas, para expresar mi más profundo agradecimiento a mis profesores y administrativos UNI, a mis familiares y amigos, que siempre alentaron mi carrera profesional y que sin su valioso apoyo no habría culminado con éxito el presente trabajo.

CAPITULO 1
INTRODUCCION

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El propósito del presente informe, es mostrar que a través de la implementación conveniente; de programas con metodología Six-Sigma, se puede lograr altos niveles de calidad en las empresas industriales, al mismo tiempo que se puede lograr disminuir los costos y aumentar la satisfacción de los clientes. Pero sin duda, la mejora continua en la producción de bienes o servicios; a la luz de la satisfacción del cliente, es la clave del éxito de esta metodología.

Las compañías en todo el mundo están poniendo mucha atención a Six-Sigma, que es un método de gestión orientado a la información que aplicaron con éxito Motorola, General Electric, Allied Signal, entre otras. Así también se esta comenzando aplicar en algunas empresas nacionales tales como Ferreyros, para mejorar el desempeño, aumentar la rentabilidad e incrementar la satisfacción del cliente.

Una solución de tecnología integrada, puede optimizar las tareas y respaldar el programa Six-Sigma de una empresa, al permitir que los empleados se concentren en la estrategia, y no solo lidiando con los mecanismos para

buscar y compartir la información fundamental, que es lo que comúnmente las empresas realizan.

La metodología Six-Sigma es aplicada a procesos con el fin de obtener una alta calidad de los productos (bienes y/o servicios). La mayoría de las compañías en el ámbito mundial utilizan la metodología Six-Sigma elaborando inspecciones visuales y/o electrónicas, y aplicando las herramientas estadísticas (incluyendo software), con las cuales se puede observar el comportamiento de los procesos.

Se han identificado seis actividades claves para garantizar el éxito de la metodología Six-Sigma:

1. Establecer el respaldo y el compromiso de la Dirección de la Empresa.
2. Alinear las metas con las actividades de Six-Sigma.
3. Establecer la infraestructura de Six-Sigma.
4. Identificar las oportunidades para realizar mejoras continuas.
5. Asignar tareas específicas a las personas, para la solución de problemas específicos en corto tiempo.
6. Asegurar la ejecución de dichos tareas y la responsabilidad por ellas.

Una vez observado el comportamiento del proceso, se procede a controlarlo, reducir al máximo los defectos en los productos y/o servicios y a trabajar por la plena satisfacción del cliente.

Las empresas japonesas son un buen ejemplo en donde se aplica el Six-Sigma, en sus procesos de producción utilizan el sistema vendedor-cliente en cada etapa del proceso, cada etapa es responsable de su actividad y debe entregar el producto con alta calidad, virtualmente con cero defectos.

El presente trabajo se enfoca principalmente; en maximizar el control de un proceso de producción industrial, con la finalidad de lograr la mayor satisfacción del cliente y destacando los cambios que conciernen sobretodo a la ingeniería del proceso.

El dominio de las herramientas de gestión por parte de los egresados de ingeniería, logra sin duda profesionales con formación más integral, pero sobretodo repotencia sus conocimientos en ciencias, tecnología e investigación, logrando perfiles más cotizados en el mercado laboral; con capacidad para desempeñar con éxito, altos cargos gerenciales y de dirección empresarial o institucional.

Asistimos a una era globalizada y cada vez más dinámica, donde muchas empresas e instituciones que realizan sus actividades siempre la misma manera, están condenadas a quedarse en el camino y donde muchas otras se dan cuenta que tienen que innovar permanentemente su quehacer; por una cuestión de sobrevivencia y competitividad, por lo que apuestan por la investigación.

La experiencia al realizar el presente trabajo, muestra como la capacitación continua, el uso adecuado de herramientas de análisis y la investigación; juegan un rol importante, para lograr la competitividad de las empresas, así como para la toma acertada de decisiones en la dirección institucional. Y es esta experiencia, que quisiera compartir con los miembros de nuestra comunidad universitaria.

“Mejores profesionales harán mejores empresas, y mejores empresas harán mejor nuestro querido Perú”.

CAPITULO 3
LA EMPRESA

CAPITULO 2

PROCESOS DE SOLDADURA, ELECTRODOS Y SU FABRICACION

Capítulo 2

PROCESOS DE SOLDADURA, ELECTRODOS Y SU FABRICACIÓN

2.1 Procesos de Soldadura

La idea de la soldadura por arco eléctrico fue propuesta a principios del siglo XIX por el inglés **Humphrey Davy**, pero ya en 1885 dos investigadores rusos consiguieron soldar con electrodos de carbono. Cuatro años más tarde fue patentado un proceso de soldadura con varilla metálica. Sin embargo, este procedimiento no tomó importancia en el ámbito industrial hasta que el sueco Oskar Kjellberg descubrió en 1904, el electrodo revestido. Su uso masivo comenzó alrededor de los años 50.

Para realizar una soldadura por arco eléctrico, se induce una diferencia de potencial entre el electrodo y el metal base; con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito y se crea el arco eléctrico. El calor del arco funde parcialmente el material de base y funde el material de aporte, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura.

Los principales procesos de soldadura se clasifican en:

- a. **Arco Eléctrico**.- la soldadura es por arco manual, el arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto o revestido.
- b. **TIG** (Tungsten Inert Gas).- es el proceso de soldadura por electrodo no consumible protegido.
- c. **MIG** (Metal Inert Gas) / **MAG** (Metal Active Gas).- es el proceso de soldadura donde el alambre sólido es protegido.
- d. **SAW** (Submerged Arc Welding).- se llama así al proceso de soldadura por Arco Sumergido.
- e. **FCAW** (Flux Cored Arc Welding).- es el proceso de soldadura con alambres tubulares.

Los electrodos son varillas metálicas preparadas para servir como polo del circuito; en su extremo se genera el arco. En algunos casos, sirven también como material fundente. La varilla metálica a menudo va recubierta de distintos elementos aleantes (por ejemplo: Mn, Si, Cr, Mo, Ni, etc.), en función del metal base a soldar y del procedimiento a emplear.

Muchas veces se refiere a los electrodos por un nombre comercial del fabricante, lo que hace muy difícil su identificación. Para lo cual se ha uniformizado el criterio, que nos permita hablar el mismo lenguaje definiendo una norma internacional establecida por: American Welding Society (AWS) y Norma Europea (EN). Quienes han establecido ciertos requerimientos mínimos para los electrodos, que deberán cumplir en función a las

especificaciones de materiales establecidos en las normas ASTM, ASME, EN, Sociedades de Clasificación que construyen embarcaciones estableciendo sus propias normas American Bureau of Shipping (ABS), Lloyd's Register (LR), Germanischer Lloyd's (GL), Bureau Veritas (BV), entre otras.

En esta clasificación, se han asignado símbolos específicos a cada tipo de electrodo, por ejemplo AWS A5.1: E-6010, E-7010, E-8010, etc. El prefijo E identifica cómo será el electrodo para soldadura por arco eléctrico. Los primeros dos números en el símbolo designan la resistencia mínima de tensión permisible del metal de soldar depositado, en miles de libras por pulgada cuadrada.

El tercer número del símbolo indica las posibles posiciones de soldar. Se usan tres números para este propósito: 1, 2 y 3. El número 1 es para un electrodo que puede ser utilizado en cualquier posición. El número 2 representa un electrodo restringido para soldadura en posiciones vertical y/o plana. El número 3 representa un electrodo para uso en la posición plana, solamente. El cuarto número del símbolo muestra alguna característica especial del electrodo, por ejemplo, la calidad de soldadura, tipo de corriente, y cantidad de penetración.

2.2 Electrodo Celulósicos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono como: AWS A5.1: E-6010 y AWS A5.1: E-6011. En estos electrodos la celulosa, obtenida a partir de la pulpa de la madera, es el componente principal. Esta sustancia orgánica se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector que aísla y protege de la oxidación al manganeso y al resto de los componentes. Las reacciones de reducción se desarrollan en una atmósfera de hidrógeno que cubre el metal fundido.

La escoria es poco voluminosa ya que, recordemos, la protección del baño es esencialmente de tipo gaseoso. Se desprende con facilidad. Producen una gran penetración gracias al hidrógeno procedente de la celulosa que el calor del arco libera. La velocidad de soldadura es elevada. Se producen, sin embargo, abundantes pérdidas por salpicaduras.

El metal depositado por estos electrodos carece prácticamente de oxígeno ($O_2 \leq 0,02\%$). En cambio, contiene una gran cantidad de hidrógeno (de 15 a 25 cm^3 / 100 gr. de metal depositado). La superficie del cordón es rugosa y éste se enfría rápidamente. El arco produce un fuerte chisporroteo, con abundantes pérdidas por salpicaduras. El rendimiento gravimétrico estándar suele ser inferior al 90%.

Los electrodos celulósicos producen una gran cantidad de humos. Por ello, es recomendable evitar su uso en recintos cerrados, como el interior de

calderas, cisternas, recipientes, etc. Por otra parte, lo enérgico del arco aconseja emplear con más rigor los materiales de protección, tales como gorras, guantes, mandiles, polainas, etc. Los electrodos celulósicos no deben resecarse nunca. Su uso se está generalizando en oleoductos, y gasoductos en donde resulta ventajoso soldar en todas las posiciones

2.3 Electrodos Rutílicos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono como: AWS A5.1: E-6012 y AWS A5.1: E-6013. El rutilo, mineral obtenido a partir de menas que en su estado natural contienen de un 88-94% de dióxido de titanio TiO_2 . También puede extraerse de la ilemita, mineral compuesto por un 45-55% de TiO_2 y el resto de óxido férrico Fe_2O_3 . La protección en estos electrodos la proporciona la escoria.

Pertenecen al sistema TiO_2 - FeO - MnO que dan como resultado titanatos de hierro o titanatos complejos. La escoria, de aspecto globular o semiglobular, tiene la viscosidad adecuada para permitir la soldadura de elementos con ajuste deficiente o cuando entre los bordes a unir existe una distancia excesiva, resultando los electrodos de rutilo idóneos en la soldadura con defectuosa preparación de juntas. La escoria se elimina con facilidad.

Contiene un buen número de inclusiones. El nivel de impurezas es intermedio entre el que presentan los electrodos ácidos y los básicos. El contenido de hidrógeno puede llegar a fragilizar las soldaduras. El contorno

de las costuras en ángulo oscila entre convexo en el AWS A5.1: E-6012 a prácticamente plano en el AWS A5.1: E-6013; en cualquiera de los casos, el cordón presenta un buen aspecto. Fácil encendido y reencendido, incluso con elevadas tensiones de vacío en la fuente de corriente. La pequeña proporción de celulosa del revestimiento permite una elevada intensidad de corriente. La cantidad de elementos refractarios del recubrimiento origina un arco tranquilo, de mediana penetración.

Resultan por su fácil manejo en cualquier clase de montaje, la escasa influencia de las condiciones ambientales y por ser adecuados para emplearse en todas las posiciones, idóneos para estructuras metálicas siempre que no se requiera una elevada tenacidad.

2.4 Electrodo Básicos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono como: AWS- A5.5: E-7015 poco frecuentes y AWS A5.5: E-7016 muy utilizados. Los componentes principales son el carburo cálcico y el fluoruro cálcico. El revestimiento, que no contiene celulosa ni arcilla, proporciona un gas protector a base de anhídrido carbónico CO_2 procedente del mármol y del fluoruro de silicio formado a partir de la fluorita en espato flúor, en reacción con el anhídrido silícico SiO_2 . Funden a temperaturas muy elevadas (aprox. $2.000\text{ }^\circ\text{C}$), razón por la cual necesitan un fundente en su composición, como el espato flúor.

La elevada proporción de TiO_2 y de silicato potásico, permite su uso en corriente alterna. Son fuertemente higroscópicos, por lo que precisan de ciertas precauciones para evitar que una retención de humedad origine porosidades en el metal depositado y fisuraciones bajo el cordón en la soldadura de aceros ferríticos de alta resistencia o límite elástico. Pertenecen a los sistemas CaO-SiO_2 , 2CaO-SiO_2 y 3CaO-SiO_2 . La escoria es poco abundante, de color pardo y aspecto brillante. Su fluidez se controla agregando espato flúor al revestimiento. Sube a la superficie con rapidez por lo que son poco probables las inclusiones. Se elimina con menos facilidad que la de los otros tipos de electrodos.

El campo de aplicación es muy amplio. Una de las ventajas de los electrodos básicos es que pueden eliminar el azufre por su reacción con el manganeso, formando compuestos que pasan a la escoria, por lo que la soldadura realizada con este tipo de electrodos muestra una gran resistencia al agrietamiento en caliente. El metal depositado es poco sensible a la fisuración.

Se utilizan ampliamente en la soldadura de estructuras metálicas, recipientes sometidos a presión, construcción naval y maquinaria. Actualmente se están desarrollando electrodos básicos menos propensos a captar humedad: electrodos de baja absorción de humedad (Low Moisture Absorption).

2.5 Electrodo de Hierro en Polvo

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono como: AWS A5.1: E-7024 y AWS A5.1: E-6027. Están fuertemente revestidos, son electrodos de polvo de hierro ideados para soldaduras de filete y de ranura en la posición plana con corriente alterna o directa, cualquier polaridad. Producen soldaduras filete planas o ligeramente cóncavas tanto con corriente alterna como con corriente continua. Las altas corrientes con transferencia de metal tipo rocío, producen altas razones de depósito con mediana penetración y poca pérdida por salpicadura. La escoria, pesada y de forma de panal, se quita fácilmente.

Al soldar con estos electrodos, hasta un tercio del metal depositado proviene del revestimiento y dos tercios del núcleo metálico. La fabricación de estos favorece ampliamente a la industria, porque con su aplicación se logra una mayor deposición del material en menor tiempo de trabajo, lo que trae como consecuencia una reducción de los costos de la obra que se realiza.

El mayor rendimiento, que se logra con estos electrodos, es el resultado de la utilización más eficiente del calor generado por el arco eléctrico. La alta temperatura generada por el arco funde simultáneamente la pieza a soldar, la varilla del electrodo y también el hierro en polvo del revestimiento. Como consecuencia, se deposita mayor cantidad de material por cada amperio que es utilizado por la máquina de soldar, ahorrándose energía eléctrica.

Sus características generales: Relleno rápido de las juntas; penetración moderada; arco suave y estable; buena calidad de la soldadura; escoria abundante que se desprende por si sola al enfriarse; y cordones de perfecto acabado, similares a los que se consiguen por soldadura automática.

2.6 Electrodo Inoxidables

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono como: AWS A5.4: E-307L-16 y AWS A5.4: E-316L-16. Electrodo diseñado especialmente para aceros inoxidables como material base. Determinados electrodos de acero inoxidable pueden ser utilizados, y en algunos casos deben ser necesariamente empleados, como recubrimientos protectores.

Estos electrodos se pueden recomendar, cuando la pieza que va a recubrirse presenta una o varias de las siguientes condiciones:

- Cuando la composición química del metal base así lo exige, es decir cuando la pieza es de acero inoxidable.
- Cuando un metal base a recubrir es una aleación especial y los electrodos para recubrimientos protectores convencionales no dan resultados satisfactorios.
- Cuando la función que desempeñará la pieza o las condiciones en que trabaja, exigen un electrodo de las características, que solamente ofrece un electrodo de acero inoxidable.
- Cuando la soldadura debe efectuarse con los amperajes más bajos, sin perjuicio de la buena función.

Las extraordinarias propiedades mecánicas que presentan las soldaduras de aceros inoxidable especiales, así como la facilidad de su aplicación y los más bajos amperajes que requieren, permiten obtener una capa de depósito de recubrimiento protector de mayor eficacia y rendimiento, en muchos casos en que los electrodos protectores convencionales no dan los resultados que se esperan.

2.7 Fabricación de Electrodos Inoxidables

En el presente trabajo se empleará la metodología Six-Sigma en el proceso de fabricación de electrodos inoxidables, a manera de proyecto piloto, con la idea de extenderlo posteriormente a todos los demás procesos y áreas de la empresa.

Se ha escogido al proceso de fabricación de electrodos inoxidables, porque es uno de los productos más costosos al emplear: minerales, alambres, ferroaleaciones que son importados en su mayoría y representan un producto clave en el mercado nacional; y por lo tanto, importante dentro de los productos que fabrica la empresa, para incrementar los beneficios económicos.

La siguiente es una descripción general del proceso de fabricación de los electrodos; pues como se comprenderá, los detalles específicos del proceso varían según el tipo de soldadura requerido.

El alambión en planta ya queda disponible para la fabricación de los electrodos de soldadura, para lo cual el alambre de acero y las distintas formulas de masa-soldadura pasan por los siguientes procesos:

- Decapado: Retiro de la capa del alambre.
- Trefilado: Determinación de grosor.
- Corte: Longitud final del electrodo.
- Mezclado con masa húmeda: Fijación de la masa-soldadura al electrodo.
- Prensado: Adhesión a presión en frío de la masa al electrodo.
- Secado: Cocido de la masa en horno eléctrico.
- Control de Calidad: Control aleatorio de electrodos de soldadura.
- Empaque: Se agrupan los electrodos de soldadura en latas por kilogramos.

CAPITULO 4
METODOLOGIA SIX-SIGMA

Capítulo 3

LA EMPRESA

3.1 Reseña

Inicia operaciones el año 1960 en la ciudad de Lima, sirviendo al Perú desde entonces, sobretodo a la industria nacional. Desde el inicio se ha caracterizado por utilizar la más moderna tecnología europea, tanto en la producción, como en la asistencia técnica que brinda a sus clientes. En pocos años diversifica y amplía sus líneas de productos, ofreciendo hoy en día una gama completa de Equipos y asistencia técnica de soldadura. Como parte de su desarrollo y crecimiento empresarial, ha implementado otras dos unidades productivas en las ciudades de Talara, Iquitos, Huancavelica, Ayacucho, Cuzco y Tacna, dedicadas a atender oportunamente los requerimientos de sus clientes en dichas zonas. Con miras al siglo XXI y para satisfacer plenamente los requerimientos de los clientes a través de una mayor especialización y modernización, ha incorporado en su línea de productos los accesorios de soldadura y el servicio de soldadura especializada. La Compañía Peruana en 1961 para fabricar electrodos se convierte en la División de Soldaduras. Esta División es en la actualidad el mayor proveedor de soldaduras de calidad de la industria nacional, y ofrece a sus clientes una amplia gama de productos, que se aplican en todo tipo de metales ferrosos y no ferrosos, especializándose en trabajos de alta

responsabilidad de apoyo como Southern Peru, Cosapi, Antamina, Doe Run, etc. Cuenta con almacenes regionales ubicados a lo largo de todo el Perú, dedicados a comercializar soldaduras, electrodos y máquinas de soldar, satisfaciendo las necesidades de sus clientes en el ámbito nacional. Actualmente atiende Mercados en Chile, Bolivia, EEUU y Canadá.

Los resultados de la División Soldaduras son más que alentadores, puesto que en lo que va del año se han exportado 2,000 toneladas de productos, siendo los principales productos requeridos los electrodos convencionales, especiales y automáticos, alcanzando un volumen de ventas del orden de USD 20 millones, lo que significa un crecimiento de más del 7 % respecto al año anterior.

3.2 Procesos de Soldadura Orientados al Consumo Nacional

En la industria nacional, los procesos de soldadura de mayor utilización, se presentan según el tipo de aplicación:

Una amplia gama de procesos es utilizada para preparar aquellos componentes que serán parte de la construcción de barcos y contenedores. Existen dos condiciones básicas a tener en cuenta en su manufactura: el gran tamaño de las construcciones y el agresivo ambiente al que van a estar expuestas.

Varios materiales son cortados utilizando gases oxi-combustibles, plasma, dependiendo del tipo de material y de los requerimientos de la preparación

de la soldadura. Por ejemplo, para las uniones, los procesos de arco como soldadura MIG/MAG, TIG y plasma, los procesos de soldadura oxi-acetileno y hasta procesos de láser para soldadura, pueden ser adoptados. Un arco eléctrico provee de la energía necesaria para cortar y soldar con procesos MIG/MAG, TIG y Plasma.

Los componentes del cuerpo principal de un barco y sus juntas, por lo general son unidos utilizando soldadura MIG/MAG, SMAW y SAW. En cambio, para combinar materiales y reducir el impacto de calor en componentes delgados, se usa principalmente soldadura TIG.

Para la preparación de juntas de distintos materiales y grosores, incluyendo aceros de alta y baja resistencia, se utiliza el corte plasma. En tanto, la soldadura con plasma es preferida cuando se necesita mucha energía, como en el caso de secciones gruesas; aunque también puede ser utilizada para materiales más delgados. Este método se basa en un principio similar al TIG, pero con un mayor flujo de energía, debido a la concentración del arco.

En todos los procesos de arco, el electrodo, las partes fundidas y afectadas por el calor, deben ser protegidos de reaccionar con el aire del ambiente. El gas protector se agrega por medio del soplete, protegiendo al electrodo y las partes fundidas. Por su parte, la protección de las partes metálicas afectadas por el calor, requiere de dispositivos de protección adicionales.

El uso de la soldadura MIG / MAG es cada vez más frecuente, siendo en la actualidad el método más utilizado en Europa occidental, Estados Unidos y Japón. Ello se debe, entre otras cosas, a su elevada productividad y a la facilidad de automatización. Se puede aseverar que la flexibilidad es la característica más saliente del método MIG / MAG, ya que permite soldar aceros de baja aleación, aceros inoxidable, aluminio y cobre, en espesores a partir de los 0,5 mm y en todas las posiciones. Además, MIG / MAG es un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente.

La sigla TIG corresponde a las iniciales de las palabras inglesas "Tungsten Inert Gas", lo cual indica una soldadura en una atmósfera con gas inerte y electrodo de tungsteno. El procedimiento TIG puede ser utilizado en uniones que requieran alta calidad de soldadura y en soldaduras de metales altamente sensibles a la oxidación (tales como el titanio y el aluminio). Sin embargo, su uso más frecuente está dado en aceros resistentes al calor, aceros inoxidable y aluminio.

Las mayores ventajas del proceso TIG provienen de la estabilidad y la concentración del arco, además del hecho de que sea factible de utilizar en todas las posiciones y tipos de juntas y del buen aspecto del cordón (con terminaciones suaves y lisas).

Este método de soldadura se caracteriza también por la ausencia de salpicaduras y escorias (lo que evita trabajos posteriores de limpieza) y por su aplicabilidad a espesores finos (desde 0,3 mm). Cabe destacar que la soldadura TIG puede ser utilizada con o sin material de aporte.

En soldadura fuerte, en tanto, las varillas de material de aporte poseen un punto de fusión superior a los 450° C. Una vez en estado líquido, el material de aporte fluye a lo largo de las superficies a soldar por capilaridad. Entre los principales usuarios de este proceso se encuentran los plomeros, electricistas, etc.

Actualmente el estándar API 1104 viene siendo utilizado como documento contractual en lo que respecta a la soldadura del gasoducto de Camisea, y de la misma manera será utilizado en los futuros proyectos relacionados con la distribución de gas en el país. Ante ello surge la necesidad de contar en el medio con profesionales capacitados en el uso de este estándar.

3.3 Electrodo de Soldadura de Consumo Nacional

Los electrodos de soldadura de mayor consumo nacional son:

a. Celulósicos

Estos son electrodos de tipo celulósico de gran penetración, especiales para posición vertical ascendente, ideales para soldaduras de tuberías y multipase en estructuras de acero al carbono. Estos electrodos se aplican en

aceros de construcción no aleados, en soldaduras para aceros de bajo carbono, cuando se requiere penetración profunda, poca escoria y cordones no abultados. Además, en fabricación de muebles metálicos y carpintería metálica liviana.

b. Celulósicos Especiales

Electrodo de penetración profunda y uniforme, ideal para pasada de raíz en la soldadura de oleoductos, donde la alta velocidad, el control del arco y la rápida solidificación de la escoria son de suma importancia .

c. Rutílicos

Electrodo especialmente desarrollado para depositar cordones en uniones de filete en posición horizontal, cuando se requiere apariencia y acabado perfecto. Debido a su fórmula perfectamente equilibrada, el arco es suave y silencioso, de fácil arranque en frío y remoción de escoria. Es recomendable para soldadores de poca experiencia

d. Hierro en Polvo

Electrodo de revestimiento grueso, rico en hierro en polvo, especial para soldaduras rápidas y seguras, de gran rendimiento y con escaso chisporroteo, dando como resultado depósitos de óptima calidad.

El arco se inicia instantáneamente al simple contacto y es muy estable. La escoria tiene a desprenderse por si sola.

e. Básicos de baja Aleación

Electrodo básico con bajo tenor de hidrógeno, que otorga al material depositado buenas propiedades mecánicas, además, su contenido de hierro en polvo mejora la soldabilidad, aumentando la penetración, deposición y mejorando su comportamiento en distintas posiciones. Tiene un rendimiento de 98 %.

f. Aceros Inoxidables Convencionales

Con material depositado de estructura austero-ferrítica, cuyo revestimiento butílico proporciona un excelente acabado, además de facilitar la operación del soldadura, tanto en unión como en recargues. Necesariamente debe soldarse con arco corto y con electrodos secos. Es utilizado para soldar aceros inoxidables no estabilizados, es recomendado para la soldadura de piezas de acero al magnesio, donde es necesario obtener gran resistencia a la tracción y para soldar ciertos tipos de uniones en aceros disímiles. Además se emplean en la reconstrucción de equipos de minería, en la construcción de tanques, ductos y en la industria química o petroquímica.

Capítulo 4

METODOLOGÍA SIX-SIGMA

4.1 Definición

Six-Sigma es una metodología que ha conseguido mejorar la posición competitiva de algunas de las principales corporaciones de los EE.UU. Se presenta rodeada en un halo de misterio estadístico matemático y de un lenguaje propio que hace difícil su comprensión para no expertos. En este trabajo se facilitan algunas aclaraciones que pretenden ayudar a evaluar la conveniencia de que una organización adopte Six-Sigma como metodología de mejora.

En 1988 Motorola alcanzó el prestigioso premio americano a la excelencia Malcom Baldrige National Quality Award. Una de las bases fundamentales de su estrategia de calidad fue el "Programa Six-Sigma". El objetivo de este programa fue reducir la variación de los procesos hasta alcanzar una fracción defectuosa media de 3.4 ppm (partes por millón, sí ha leído bien, 3.4 defectos por cada millón de oportunidades).

Esta reducción de la variabilidad se consiguió empleando métodos estadísticos (diseño de experimentos, ANOVA, regresión, gráficos de control, etc.) y otras herramientas no estadísticas (AMFE, QFD, 7M)

combinado con técnicas de gestión de procesos. La columna vertebral de esta estrategia gravitaba sobre expertos en la aplicación de estas herramientas, que se denominaron posteriormente “*black belts*”, es decir, “*cinturones negros*”, (probablemente fue una ironía para hacer frente a la competencia japonesa).

El éxito en General Electric supuso el espaldarazo total a Six-Sigma y a partir de ahí empezó una mimetización por casi todas las grandes corporaciones norteamericanas. Naturalmente aquellas empresas que se limitaron a seguir “la moda” de manera frívola no alcanzaron los éxitos previstos, mientras que aquellas que entendieron y adaptaron las esencias de Six-Sigma, consiguieron mejoras en sus resultados de calidad y su posición competitiva.

4.2 Algunas Cifras

El especialista Dr. Mikel Harry facilita datos impactantes sobre los resultados de la aplicación de Six-Sigma. Entre ellos se encuentran unos resultados financieros espectaculares:

- 20% de mejora en el margen de utilidad.
- 12 – 18% de mejora en la capacidad de producción.
- 12% de reducción en el número de empleados.
- 10 – 30% de reducción de necesidades de capital.

En relación con los *cinturones negros*, Mikel Harry proporciona los siguientes datos:

- Una organización necesita un *cinturón negro* por cada unidad de negocio o por cada 100 empleados.
- Pueden ahorrar unos 175,000 \$/año.
- Pueden abordar unos 5 proyectos /año.

Es obvio que las cifras de ahorro dependen de:

- El punto de partida. No es lo mismo una empresa que ya haya optimizado una buena parte de sus procesos, que otra que lo tenga todo por hacer.
- Lo bien que se hagan las cosas en Six-Sigma. La variabilidad está omnipresente y no todos los *cinturones negros* son igual de competentes.
- El modo de contabilizarlos. Los mismos resultados pueden contabilizarse de modo muy distinto.
- El número de *cinturones negros* que precisa una organización depende de la complejidad de la misma y de la complejidad de sus procesos. Por lo tanto, el tamaño no es la única cifra a tener en cuenta.

Por otra parte, en EE.UU. un curso de *cinturón negro* de cuatro semanas de duración cuesta \$12.000, a los que hay que añadir el coste de las licencias del software, desplazamientos, estancias, tiempo dedicado, etc.

Naturalmente, de acuerdo con las cifras dadas anteriormente, el retorno de estos \$12.000 dólares sería inmediato. Analizando esto con seriedad surge la pregunta de si Six-Sigma no es más que un bluff para vender formación y consultoría.

Muchas organizaciones han hecho un buen uso de ISO 9000 y se han dotado de buenos sistemas de gestión de la calidad, lo que les ha ayudado a mejorar su posición competitiva. De la misma manera, muchas organizaciones han empleado bien el modelo EFQM y les ha ayudado a mejorar sus sistemas de gestión y a detectar oportunidades de mejora. Sin embargo, otras organizaciones en el mejor de los casos puede decirse que se han complicado la vida o han perdido el tiempo. Las causas de estos fracasos se deben indudablemente a directivos, consultores incompetentes, sin que se pueda responsabilizar de ello a ISO 9000 o EFQM.

Six-Sigma no tiene por qué ser distinto. De la misma manera que ha pasado en los EE.UU, algunas organizaciones lo emplearán bien y mejorarán su competitividad. Otras perderán un nuevo tren y volverán a fracasar por causas parecidas a las expuestas anteriormente. La responsabilidad de este fracaso tampoco puede ser imputable a Six-Sigma. Sin embargo, no debe entenderse como una receta mágica que garantice el éxito sin esfuerzo y talento.

4.3 Herramientas

Six-Sigma no cuenta con herramientas propias ni ningún arma secreta desconocida para el resto de la humanidad:

- Ninguna de las herramientas de análisis estadístico es original de *Six-Sigma* (EDA, SPC, ANOVA, DOE, etc.). Estos métodos estadísticos han estado a disposición de las empresas desde hace 75 años. Sin embargo solo una minoría se han interesado por ellos y han sabido aplicarlos. Como ejemplo se citará el caso de la triste existencia del Comité de Métodos Estadísticos de la AEC. Este Comité se fundó en 1.987 por un grupo de entusiastas. Sin embargo, la falta de interés de las empresas en participar en el mismo, aconsejó disolverlo en 1.992. Obsérvese el paralelismo de fechas con el desarrollo de Six-Sigma en Motorola.
- Tampoco las herramientas no estadísticas son originales de Six-Sigma (AMFE, QFD, Poka Yoke, etc.).
- Únicamente es original (y con reservas), la métrica sigma que se describirá más adelante.

Six-Sigma incorpora un lenguaje propio que hace difícil el entendimiento por los no iniciados (SS, MBB, BB, GB, YB, DMAIC, DPU, DPMO, FTY NIVEL SIGMA, SIPOC, etc.). No debe perderse de vista que la jerga no es lo esencial en ningún caso. Para facilitar la comprensión, al final del trabajo se listan los significados de las abreviaturas más usadas.

Las principales herramientas que se utilizan en el Six-Sigma son:

- a) Diagrama de Flujo de Procesos, con el cual se conocen las etapas del proceso por medio de una secuencia de pasos, así como las etapas críticas (figura 1).
- b) Diagrama de Causa-Efecto, es utilizado como lluvia de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas en el proceso (figura 2).
- c) Diagrama de Pareto, se aplica para identificar las causas principales de los problemas en proceso de mayor a menor y con ello reducir o eliminar de una en una dichas causas (empezando con la mayor y después con las posteriores o con la que sea más accesible) (fig.3).
- d) Histograma, con el cual se observan los datos (defectos y fallas) y se agrupan en forma de campana de Gauss conteniendo los límites inferior y superior, y una tendencia central (figura 4).
- e) Gráfica de Corrida, es utilizada para representar datos gráficamente con respecto a un tiempo, para detectar cambios significativos en el proceso (figura 5).
- f) Gráfica de control, se aplica para mantener el proceso de acuerdo a un valor medio y los límites superior e inferior (figura 6).
- g) Diagrama de Dispersión, con el cual se pueden relacionar dos variables y obtener un estimado usual del coeficiente de correlación (figura 7).
- h) Modelo de Regresión; es utilizado para generar un modelo de relación entre una respuesta y una variable de entrada (figura 8).

HERRAMIENTAS SIX-SIGMA

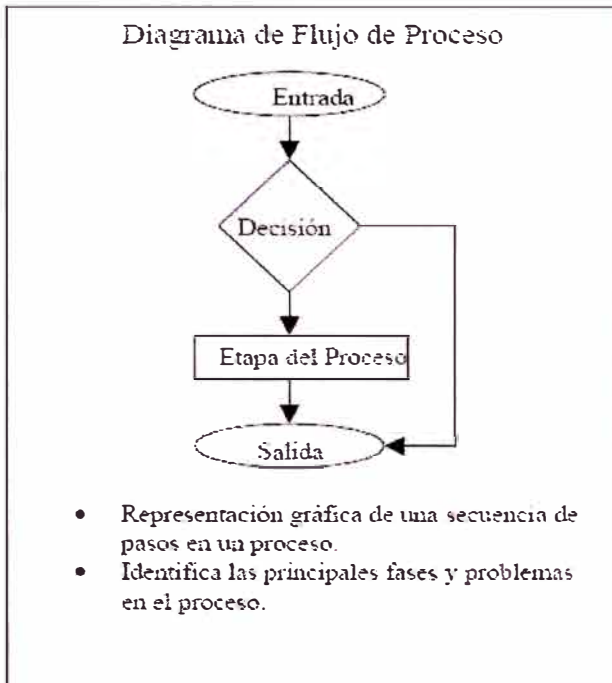


Figura 1 - Diagrama de Flujo de Proceso

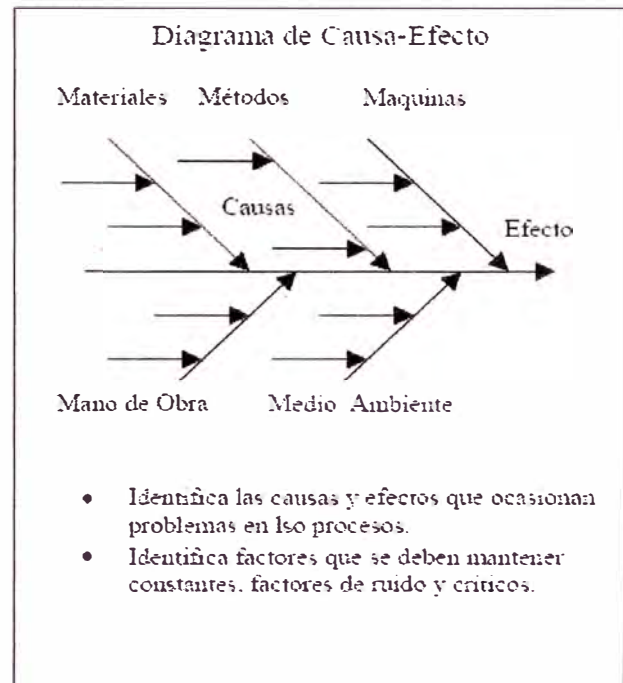


Figura 2 - Diagrama de Causa-Efecto

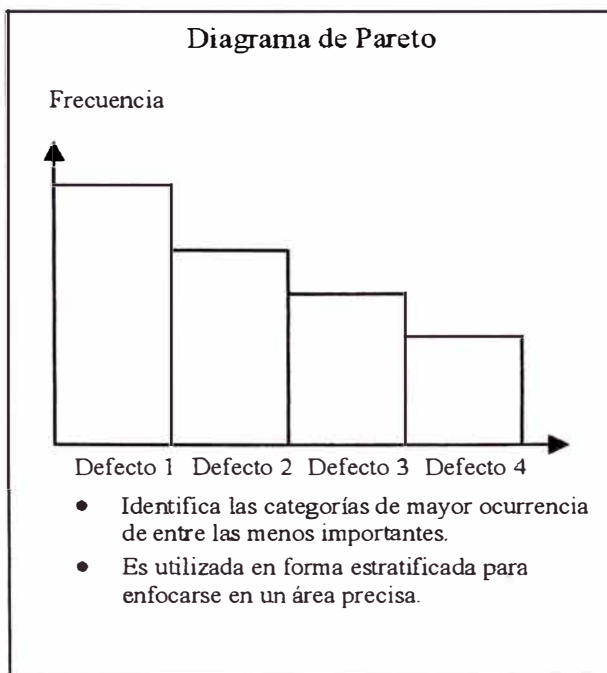


Figura 3 - Diagrama de Pareto

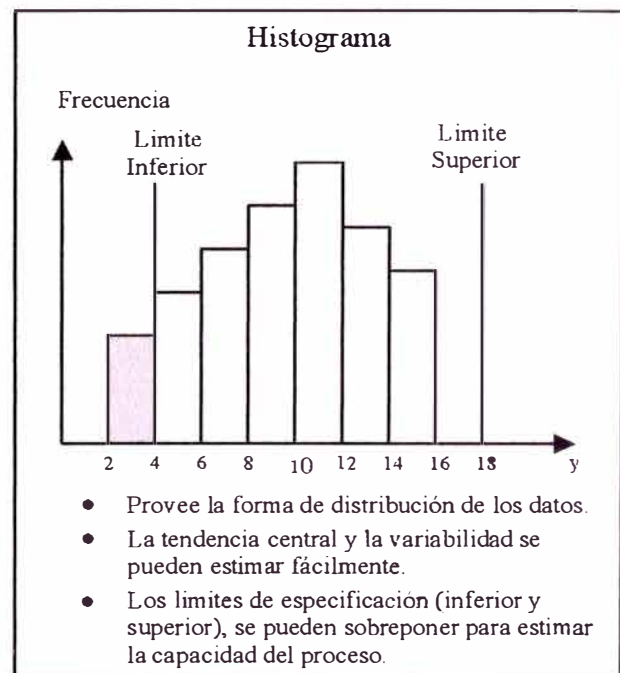


Figura 4 - Histograma

HERRAMIENTAS SIX-SIGMA (continuación)

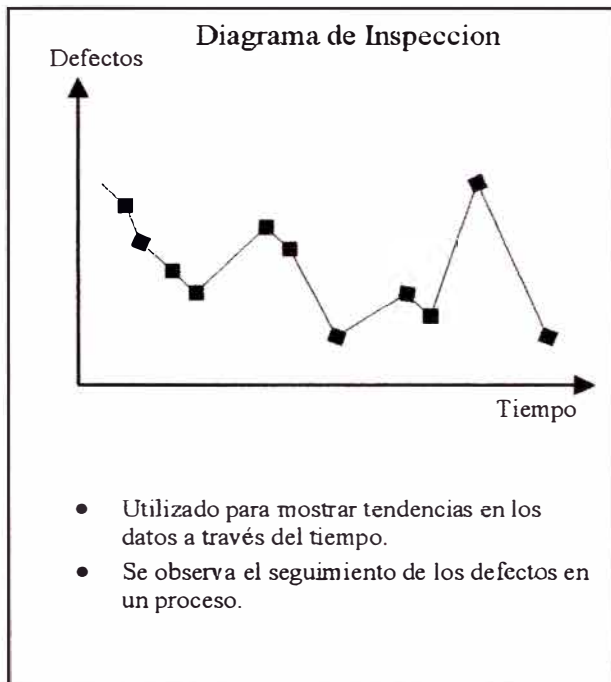


Figura 5 - Diagrama de Inspección

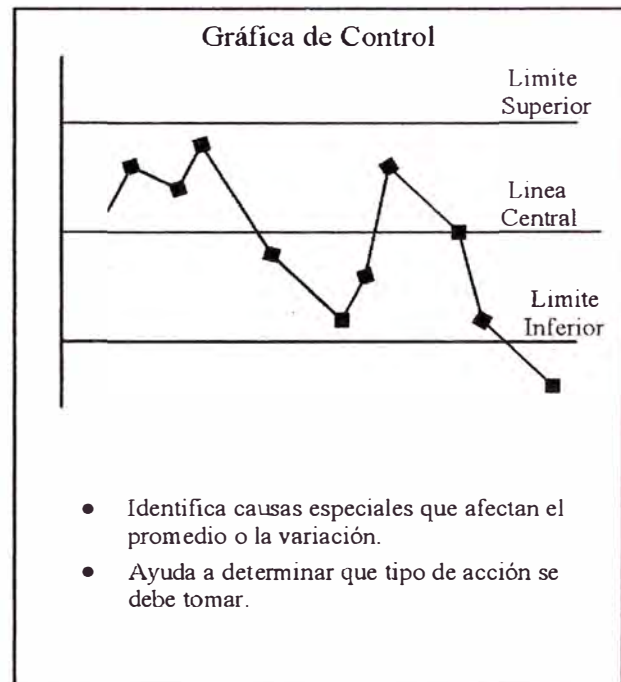


Figura 6 - Gráfico de Control

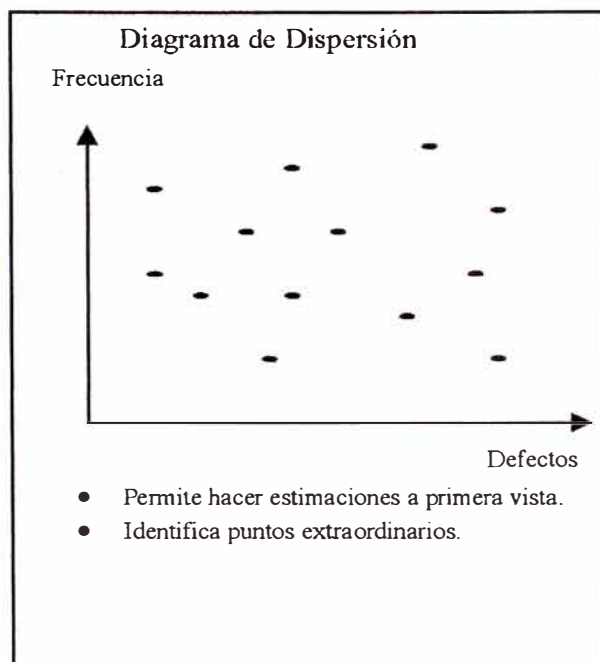


Figura 7 - Diagrama de Dispersión

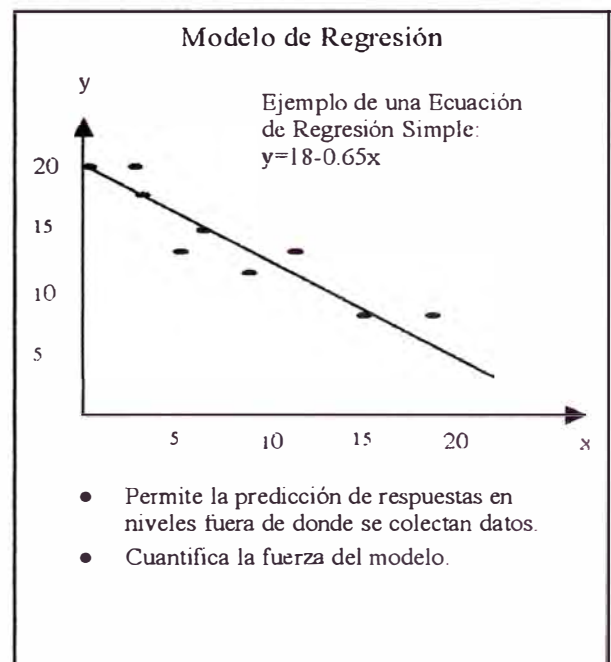


Figura 8 - Modelo de Regresión

4.4 Métrica SIX-SIGMA

Es precisamente lo que le da nombre a Six-Sigma. Sigma (σ) es la letra griega que se emplea para representar el parámetro que mide la variabilidad de una distribución estadística (desviación típica).

Sin entrar en detalles estadísticos que están aquí fuera de lugar, si el proceso sigue una función de distribución de probabilidad normal (la campana de Gauss) y el intervalo de tolerancia fuera igual a 12σ (seis desviaciones típicas a cada lado del valor nominal), entonces la fracción defectuosa de un proceso centrado sería 0.002 ppm. En este caso, se diría que el proceso tiene un nivel de calidad 6σ . Si la amplitud fuera de cinco desviaciones típicas, el nivel de calidad sería de 5σ , y así sucesivamente.

Naturalmente, en el mundo real los procesos no están estables con la media invariable en el valor nominal. Supongamos que el proceso derivara 1.5σ hacia alguno de los extremos. En este caso, la fracción defectuosa aumentaría hasta 3.4 ppm, que es el objetivo fijado en un Programa Six-Sigma. Este 1.5σ es indudablemente arbitrario y está relacionado con la capacidad de detección de la deriva de los procesos. La razón de por qué hay que considerar un desplazamiento precisamente de 1.5σ está muy cuestionado por los distintos expertos. En la figura 9 se pone de manifiesto el efecto del desplazamiento.

A través de la campana de Gauss, fijado un nivel sigma, es posible conocer la fracción defectuosa y a la inversa. Si no se considera el desplazamiento, se denomina *nivel a corto plazo (Zst)*, ya que el proceso no puede operar totalmente centrado de manera indefinida; y si se considera el desplazamiento se denomina *nivel a largo plazo (Zlt)*. En la tabla 1 se ha presentado la relación que existe entre el nivel sigma, la fracción defectuosa y lo que en terminología Six-Sigma se denomina FTY (First Time Yield, es decir la fracción de elementos fabricados “bien a la primera sin ningún defecto”). En esta tabla puede observarse que en la medida que se sube de nivel, resulta más difícil la siguiente etapa.

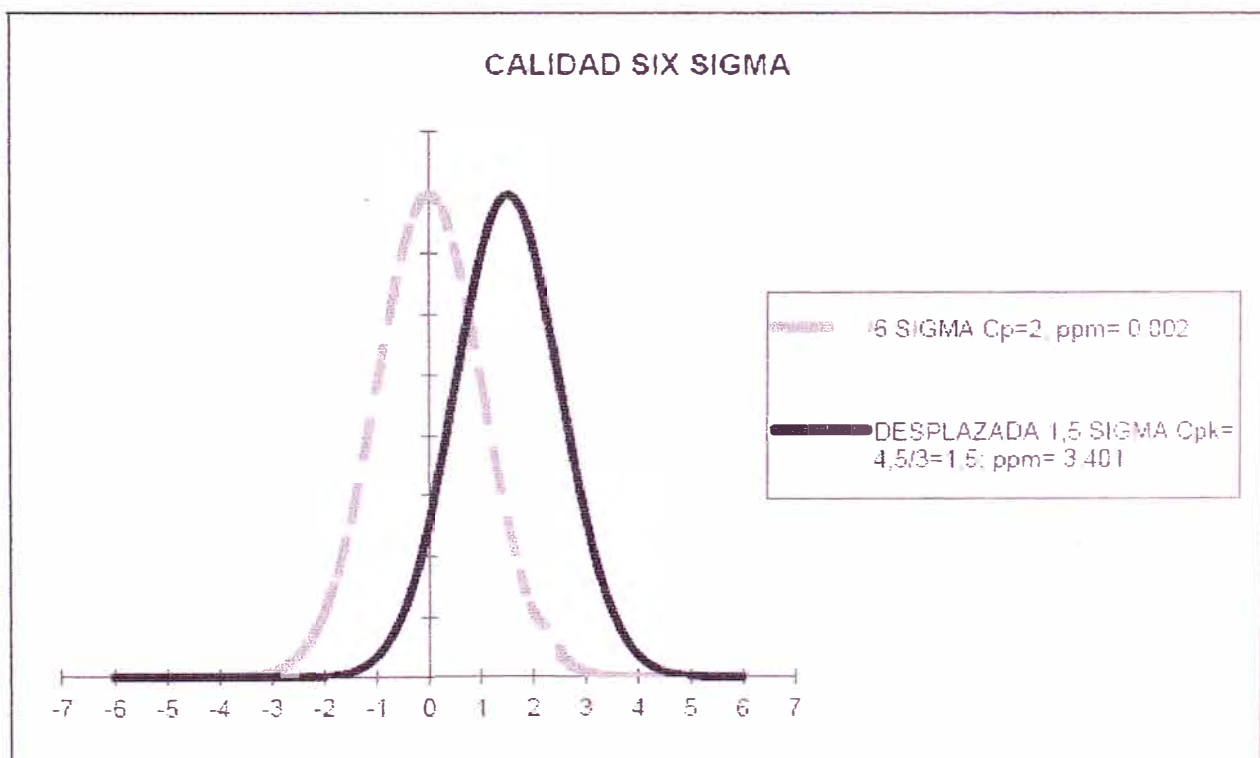


Figura 9: Efecto del desplazamiento en el nivel de calidad sigma

Nivel Sigma	Centrada	Desplazada 1,5 Sigma	Centrada	Desplazada 1,5 Sigma
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)	FTY	FTY
3	2,699.93	66,810.63	0.99730007	0.93318937
3.5	465.35	22,750.35	0.99953465	0.97724965
4	63.37	6,209.70	0.99993663	0.99379030
4.5	6.802	1,349.97	0.99999320	0.99865003
5	0.574	232.67	0.99999943	0.99976733
5.5	0.038	31.69	0.99999996	0.99996831
6	0.002	3.40	1.00000000	0.99999660

Tabla 1: Relación entre el nivel sigma, la fracción defectuosa y las unidades fabricadas libres de defectos a la primera (FTY)

Nivel Sigma	Coste de Calidad (% facturación)	Observaciones
3	25 – 40%	Baja competitividad
4	15 – 25 %	Situación típica
5	5 – 15%	Situación de buena competitividad
6	< 1%	Situación de excelencia

Tabla 2: Costes aproximados de Calidad en función del nivel sigma

¿Pero cuánto significa el nivel sigma en términos prácticos? Supongamos que se quiere limpiar una alfombra de 10 m². En la figura 10 se ha representado la superficie sucia para cada nivel sigma.

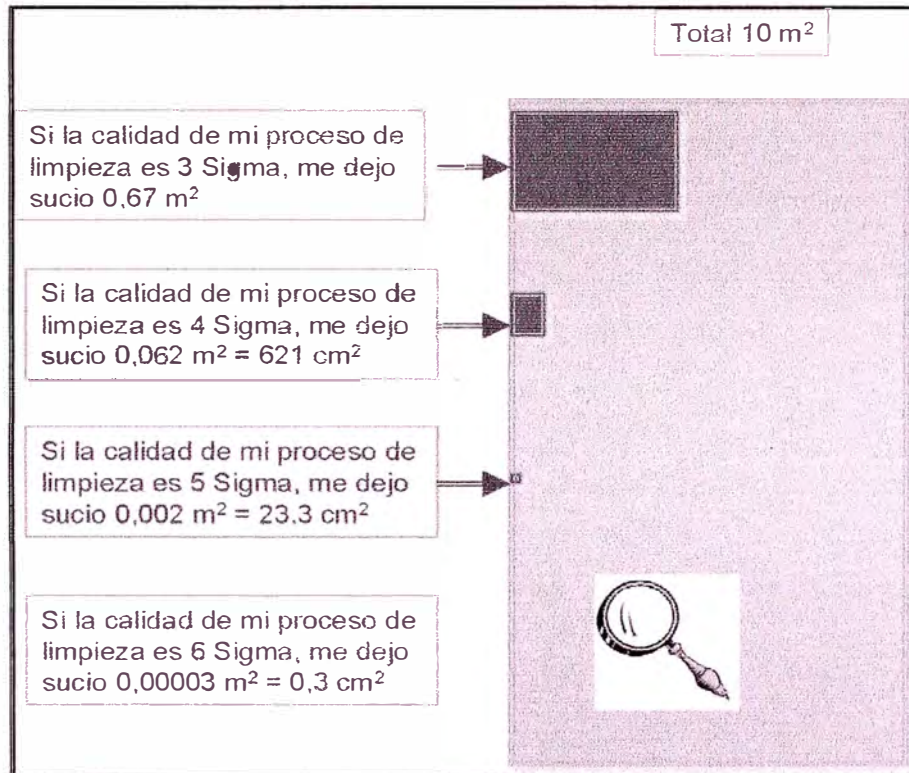


Figura 10: ¿Cuanto significa el nivel sigma?

Cualquier practicante de SPC identificará rápidamente la relación que tiene el nivel de calidad sigma empleado en la metodología Six-Sigma con los índices tradicionales Cp y Cpk.

4.4.1 Objetivo: 3.4 PPM Defectos

Aparentemente, 3.4 ppm parece un objetivo absolutamente desproporcionado y fuera del alcance de una empresa salvo que esté dispuesta a dilapidar recursos. Lo anterior tiene dos aspectos, el primero es la idoneidad del objetivo y el segundo si puede ser alcanzado de una manera rentable. Abordemos de momento el primer aspecto. En la Tabla 3 se representa el FTY en función del número de componentes que lo integran y del nivel sigma con el que han sido

fabricados dichos componentes. Por ejemplo, si el elemento está compuesto por 100 componentes distintos, fabricados con 4σ , para que el elemento sea conforme deberán serlo sus 100 componentes, por lo que únicamente se fabricarán bien a la primera el 53.64%. Obviamente esta cifra está lejos de cualquier estándar competitivo, por lo que es necesario que los componentes se fabriquen con un nivel sigma mayor.

Es importante resaltar que este objetivo de 3.4 ppm se aplica a defectos en los procesos de fabricación, no a unidades finales.

	4 SIGMA	5 SIGMA	6 SIGMA
	ppm (1,5 SIGMA) 6.210	ppm (1,5 SIGMA) 232,7	ppm (1,5 SIGMA) 3,4
Número de componentes			
1	99,3790%	99,9767%	99,9997%
5	96,9335%	99,8837%	99,9983%
10	93,9610%	99,7676%	99,9966%
50	73,2382%	98,8432%	99,9830%
100	53,6383%	97,6999%	99,9660%
500	4,4399%	89,0163%	99,8301%
1000	0,1971%	79,2391%	99,6605%
5000	0,0000%	31,2390%	98,3140%

Tabla 3: FTY en función del nivel sigma

En relación con el segundo aspecto, las empresas pioneras en Six-Sigma han demostrado que esto es posible. Por otra parte, este éxito no debe resultar sorprendente, ya que las herramientas empleadas van encaminadas a la prevención y sobre todo, a incrementar el conocimiento sobre los procesos y las necesidades de los clientes.

Hasta ahora, la aplicación de la gestión de la calidad a las organizaciones de servicios ha ido muy por detrás con respecto a las empresas industriales. Incluso, en una empresa industrial, el grado de aplicación de la gestión de la calidad a los procesos de servicio ha sido mucho menor que en los procesos industriales. Incluso en alguna de estas últimas, las áreas de servicios administrativos son "*tierra desconocida para la calidad*".

Aparentemente, la campana de Gauss sabe a proceso industrial con una métrica de calidad de tipo "*variables*". La calidad de la mayor parte de los procesos de servicio es muy difícil de medir y normalmente solo admiten métricas de tipo "*atributos*", "*discretas*" o "*cualitativas*". Esto ha hecho más difícil la introducción de los programas de mejora de calidad. Sin embargo, empleando relaciones de estadística elemental, es posible convertir estas características de tipo discreto en *nivel sigma* (basta con leer la tabla 1 de forma inversa). Por ejemplo, si la dirección de una empresa fija el objetivo en el ámbito corporativo de que sus procesos clave deben alcanzar un nivel " 4.5σ ", afecta por igual a todos los procesos considerados clave, con independencia de que sean de fabricación o de servicio. Esto es uno de los puntos fuertes de Six-Sigma.

Algunos procesos de servicio son especialmente favorables para la aplicación de Six-Sigma porque generan muchos datos. Ejemplos

típicos son los procesos bancarios, compañías de seguros, transporte, etc. Estos procesos se denominan *transaccionales*, ya que su éxito depende de que se realicen correctamente las transacciones.

4.4.2 Tiempo para Alcanzar un Nivel de Calidad

A esta pregunta no se puede responder de una manera concluyente. En la figura 11 se representan los tiempos que habitualmente se consideran necesarios para progresar. Por ejemplo, para progresar de 3σ a 4σ se precisa un año; para progresar de 4σ a 5σ se precisa algo más de un año. A partir de 5σ aproximadamente aparece un muro que hace muy difícil el progreso. Esta figura debe interpretarse con precaución y tomarse a título meramente de orientación. La esencia de la misma es que tras unos primeros progresos (que se denomina habitualmente "*la recogida de la fruta de las ramas bajas*", que pueden conseguirse con poco más que aplicar el sentido común), a partir de un punto (cuya situación puede variar según los criterios seguidos en la cuantificación del nivel sigma) la dificultad se incrementa exponencialmente y resulta imprescindible la aplicación de personal preparado en la aplicación de herramientas más sofisticadas (DOE). Con la aplicación de estas herramientas puede rediseñarse el producto o el proceso de manera que se pueda continuar con la mejora.

TIEMPO PRECISO PARA ALCANZAR UN NIVEL SIGMA (PARTIENDO DE 3 SIGMA)

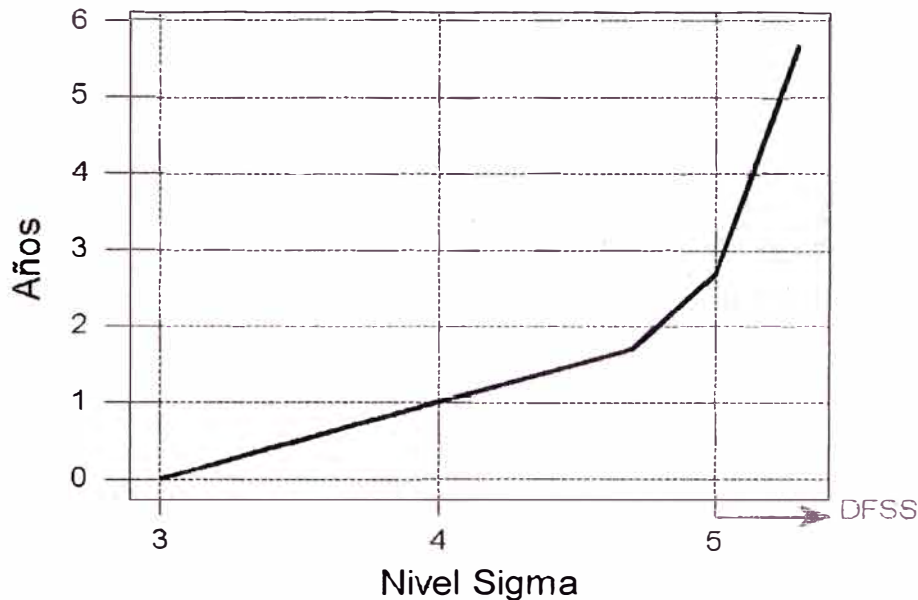


Figura 11: Tiempos normales de transición entre niveles sigma

4.5 Jerarquización del Programa

Una organización puede aplicar Six-Sigma de dos maneras diferentes. La primera de ellas, que podemos denominar “táctica”, consistiría en la aplicación de la metodología Six-Sigma a la mejora de los procesos clave que están dando problemas. De esta manera conseguiría una reducción de costes de calidad, reducción de reclamaciones de clientes, etc. Este enfoque es compatible con la estrategia de liderazgo en coste. La segunda de ellas tiene un carácter “estratégico” para conseguir diferenciación. Consistiría en la aplicación de la metodología Six-Sigma para conseguir un grado de dominio de los procesos que permita poner en el mercado productos o servicios con unas características muy superiores a las de la competencia y que sean apreciadas por el cliente. Ejemplos podrían ser conseguir plazos

de entrega muy inferiores a la competencia, piezas con tolerancias más estrechas o características mecánicas superiores, etc.

Sin que sea posible generalizar a todos los casos, en general puede decirse que:

- Antes de lanzar un Programa Six-Sigma a toda la organización, puede ser conveniente hacer una prueba piloto de tipo “*táctica*” con algunos procesos.
- Para hacer una utilización “*táctica*” no es preciso contar con *cinturones negros* propios. Pueden ser colaboradores externos tanto para lanzar el programa como para el mantenimiento del mismo si no se desea cargar a la organización de costes fijos. En el caso de optar por un colaborador externo, es absolutamente clave seleccionarlo adecuadamente. Si se opta por formar personal, en este caso debe analizarse minuciosamente el programa de formación a seguir.
- Para hacer una utilización “*estratégica*” es conveniente partir de un grado de dominio de los procesos, similar al de la competencia. En general, en este caso el compromiso de la empresa con el *Programa Six-Sigma* es mayor y por lo tanto está plenamente justificado que los *cinturones negros* sean de plantilla. Si la organización no cuenta con alguien que reúna los conocimientos suficientes para el perfil de *maestro de cinturones negros*, pueden optar por un colaborador externo. Análogamente al caso anterior, es absolutamente clave seleccionarlo adecuadamente.

4.6 Proyecto DMAIC

La aplicación de Six-Sigma a la mejora de procesos es la más habitual y se conoce normalmente como DMAIC, ya que toma la inicial de cada uno de los pasos: Define (definir), measure (medir), analyze (analizar), improve (mejorar), y control (controlar).

Es indiscutible la relación que tiene con el clásico ciclo de mejora PDCA (Plan-Do-Check-Act) de Shewhart-Deming. Esto pone de manifiesto, una vez más, que Six-Sigma tiene muy pocas aportaciones originales y que su gran mérito ha sido conseguir estructurar cada uno de estos pasos de una manera sistemática. Es importante tener en cuenta que el paso de una etapa a la siguiente ha de ser autorizado por el *Champion* una vez que se ha demostrado que se han alcanzado los objetivos de la misma. A continuación se describe cada una de estas etapas.

4.6.1 Definir

El objetivo de esta fase es definir los objetivos del proyecto así como las limitaciones existentes. Por lo tanto es preciso llegar a una definición inequívoca de los requisitos que debe cumplir el proceso (expectativas de los clientes del mismo). Estos requisitos deben analizarse y jerarquizarse, y en terminología Six-Sigma se denominan habitualmente CTQ (Critical To Quality). Resulta esencial que estos requisitos sean medibles.

En esta fase debe definirse con todo detalle el proceso que se va a mejorar, ya que de otro modo no sería posible saber si las posibles mejoras están relacionadas con los cambios realizados en el mismo. Para ello debe realizarse un diagrama de flujo del proceso en el que se incluyan todos los detalles que se espera que puedan afectar al resultado. Para facilitar la recopilación, jerarquización y despliegue de estos requisitos, resulta muy útil aplicar técnicas QFD / VOC.

4.6.2 Medir

El objetivo de esta fase es identificar la fuente del problema de la manera más precisa posible. Este objetivo no se podría alcanzar si no se dispusiera de datos, por lo que es preciso medir. En esta fase se recopilan los datos que describen el comportamiento del proceso. Para asegurar la consistencia de estos datos, debe planificarse adecuadamente las mediciones a realizar. En procesos industriales esto debe incluir la utilización de equipos de medidas adecuados y calibrados, la definición del procedimiento de medida a emplear y la realización de un estudio R&R que asegure que la variabilidad del proceso de medida es irrelevante frente a la variabilidad del proceso a mejorar.

En esta fase también debe decidirse la estrategia de investigación que se va a seguir. Básicamente, existen dos posibles estrategias. La primera de ellas consiste en la toma de datos procedentes de la

operación normal del proceso y la segunda posibilidad consiste en investigar el comportamiento del proceso variando los parámetros de operación del mismo, empleando técnicas de diseño estadístico de experimentos (DOE). En el primer caso conviene estratificar la muestra en función de las posibles fuentes de variabilidad y en el segundo es preciso identificar previamente qué parámetros son los que pueden afectar al proceso, así como su rango de variación.

Además deben medirse los costes de calidad, COPQ (Cost Of Poor Quality) en terminología Six-Sigma, en los que está incurriendo el proceso. Estos datos son básicos para realizar posteriormente la cuantificación de las mejoras financieras.

En esta fase necesariamente:

- Deben definirse las características CTQ.
- Debe validarse el sistema de medida de las CTQ.

4.6.3 Analizar

El objetivo de esta fase es identificar la fuente del problema de la manera más precisa posible. La solución propuesta debe estar amparada por datos. En esencia se basa en la aplicación del "*método científico*" para llegar a unas conclusiones. Por esta razón, el papel de un *cinturón negro* puede verse como una mezcla de detective y científico. Todo esto lleva a la adquisición de conocimientos sobre el

comportamiento de los procesos, de manera que se puede predecir las características de calidad en función de los valores aplicados a los parámetros del proceso.

Típicamente, en esta fase se realizan los análisis de los datos estadísticos recogidos, de manera que permita alcanzar conclusiones. Es decir, se trata de explicar el comportamiento del proceso (tanto de los valores de los requisitos CTQ como de la variabilidad de los mismos) en función de los parámetros del proceso que tengan mayor influencia (que en terminología *Six-Sigma* se denominan CTP, Critical To Process). Las técnicas estadísticas a emplear varían según los casos, pero en la mayor parte de los casos puede ser suficiente emplear técnicas simples de estadística descriptiva (EDA, Exploratory Data Analysis) y análisis de regresión.

Las conclusiones obtenidas pueden ser absolutamente concluyentes, de manera que se identifiquen qué mejoras deben introducirse (por ejemplo, valores de operación de los parámetros, características de la materia prima, etc.) o simplemente pueden proporcionar algunas pistas hacia donde debe dirigirse el estudio del proceso. Como puede verse claramente ahora, no es otra cosa que la aplicación de método científico de investigación a los procesos.

4.6.4 Mejorar

El objetivo de esta fase es demostrar con datos que la solución propuesta resuelve el problema y supone una mejora. Junto con la fase anterior, la utilización de las herramientas estadísticas es esencial.

En esta fase se trata de la puesta en práctica de la “solución” obtenida en la fase anterior. En algunos casos esta puesta en práctica puede ser inmediata (por ejemplo, cambio de la temperatura de trabajo de un horno), pero en otros puede ser más lenta (por ejemplo, por requerir la preparación de utillaje especial). Una vez puesta en marcha la “solución”, se trata de verificar si los resultados del “nuevo proceso” son mejores que los del proceso “antiguo” y llegar a la optimización final. Obviamente el análisis estadístico es de gran ayuda para respaldar estas conclusiones. En el caso de que los datos obtenidos respalden las mejoras, puede adoptarse esa solución y pasar a la siguiente fase. En caso contrario, debe aprovecharse la información obtenida para definir las siguientes investigaciones.

En esta fase necesariamente:

- Deben fijarse los valores óptimos de los CTP.
- Deben quedar definidas las tolerancias de los parámetros.

4.6.5 Controlar

El objetivo de esta fase es asegurarse de que la mejora se incorpora a la operativa normal. Sin esta fase, todo lo anterior no valdría para nada.

La implantación de la “solución” de una manera permanente tiene tres aspectos diferenciados:

- *Definición de responsabilidades del proceso una vez finalizado el proyecto de mejora.* El nuevo proceso puede requerir nuevas actividades a las que sea preciso asignar personal responsable.
- *Establecimiento del sistema de control del proceso.* Se trata de definir la estrategia de control más adecuada para los CTP (y en algunos caso también para los CTQ). En general esta estrategia puede ser de tipo SPC, Poka Yoke, etc. Esto puede incluir la validación del sistema de medida que se emplee en producción.
- *Ejecución del ciclo de control por los responsables del proceso.* Antes de retirarse del proceso de mejora, el *cinturón negro* debe responsabilizarse de que el personal asignado al proceso puede operar el mismo, una vez que se hayan introducido las modificaciones. En unos casos puede ser necesaria la realización de formación sobre el puesto de trabajo, en otros,

una redefinición de responsabilidades, etc. Una vez finalizada esta fase, se procedería al cierre del proyecto y a la cuantificación de las mejoras alcanzadas.

4.7 Organización

La organización clásica de un Programa Six-Sigma en una empresa consta de los siguientes perfiles:

- **Champion (Campeón, Paladín, etc.).** Es el directivo responsable del programa. Supervisa y apadrina el Programa Six-Sigma. No tiene que ser un experto en herramientas estadísticas, es suficiente que conozca solo los fundamentos y las implicaciones. Sin embargo es esencial su reconocimiento por los otros directivos, autoridad y personalidad. Es responsable de la asignación de recursos al *Programa* y de la selección de los proyectos de mejora.
- **Master Black Belt, MBB (maestro de cinturones negros).** Muy experto en herramientas de mejora. Es el mentor de los cinturones negros, les aconseja en la aplicación de las distintas técnicas, etc. Coordina los distintos proyectos de mejora.
- **Black Belt, BB (cinturón negro).** Experto en herramientas de mejora asignado a un proyecto. No realiza actividades de “producción” y está dedicado únicamente a los proyectos de mejora. El *cinturón negro* apoya al propietario del proceso en la mejora del mismo y es el responsable del proyecto de mejora.

- Green Belt, GB (cinturón verde). Formado en herramientas básicas de mejora. Realiza actividades de “producción” y puede apoyar al *cinturón negro* en la recogida de datos, etc.

El nombramiento para el desempeño de estos papeles va acompañado de un intenso programa de formación. A título de ejemplo, la formación de un *cinturón negro* consta de unas 160 horas, extendidas a lo largo de varios meses en los que se van realizando aplicaciones prácticas reales en proyectos de mejora de su empresa.

Junto con una buena formación, posiblemente otra de las causas que ha facilitado el éxito de Six-Sigma ha sido esta jerarquización de las responsabilidades de mejora.

4.7.1 Funcionamiento del Programa

Es preciso distinguir dos aspectos diferenciados:

- La gestión de Programa Six-Sigma dentro de la organización.
- La gestión de los distintos *Proyectos de Mejora* que se lancen dentro del Programa Six-Sigma

La responsabilidad de la gestión de Programa Six-Sigma recae sobre el *Champion* y habitualmente está apoyado por el *maestro de cinturones negros* y los *cinturones negros*. Esta responsabilidad incluye los siguientes aspectos:

- Introducción del programa en la organización (formación).
- Asignación y mantenimiento del presupuesto.
- Definición de procesos clave y clientes objetivo (a alto nivel).
- Definición de las métricas de calidad y cuadro de mando (a alto nivel).
- Definición de las prioridades de mejora.
- Lanzamiento de los proyectos de mejora.
- Justificación del por qué se ha seleccionado este proyecto.
- Definición objetivos del proyecto de mejora, plazos y condicionantes. Una característica de Six-Sigma es que esta cuantificación tenga un componente financiero, lo cual resulta de máxima utilidad para la dirección.
- Asignación de equipos al proyecto.
- Aprobación de cada una de las fases del proyecto.
- Cierre del proyecto con el reconocimiento de los objetivos alcanzados (es decir, la cuantificación de la mejora).

Una vez que se ha seleccionado y aprobado un proyecto por el *Champion*, se pasa al segundo aspecto relativo a la gestión de la realización de los Proyectos de Mejora, a cada uno de estos se asigna un grupo de trabajo. El responsable del equipo es un *cinturón negro*, que está apoyado por personal del área del proyecto y en algunos casos por un *cinturón verde* que le apoye en alguna tarea auxiliar.

Según sus objetivos, los *Proyectos de Mejora Six-Sigma* se pueden clasificar en proyectos de mejora de procesos (denominados DMAIC) y proyectos para diseñar productos o servicios que alcancen niveles de calidad Six-Sigma (denominados DFSS).

4.7.2 Proyecto DFSS

Es bien sabido que no puede *haber una buena calidad* si no hay un *buen diseño*. La idea del DFSS (Design for Six-Sigma) es anticiparse en la etapa de diseño de manera que se eliminen o neutralicen las causas que pueden propiciar no conformidades. Sin embargo DFSS, no llega a un nivel de detalle metodológico comparable al DMAIC. Una de las causas que explican este hecho puede ser la heterogeneidad de situaciones que pueden encontrarse bajo la palabra "*diseño*". En efecto, seguramente tiene muy poco en común diseñar un nuevo modelo de teléfono móvil, una póliza de seguros o el sistema contraincendios de un aeropuerto.

Dentro de DFSS existen varias escuelas, entre las que se encuentran las siguientes:

- DMADV (Define, Measure, Analyze, Design and Verify). Probablemente es la más difundida y es una adaptación de DMAIC a un proceso de diseño. Por esta razón funciona bien cuando se aplica al diseño de nuevos procesos.

- IDOV (Identify, Define, Optimize, Validate). Probablemente sea esta la versión que mejor se adapte a los casos de diseño de productos industriales.
- DCCDI (Define, Customer, Concept, Design, Implementation).

Resulta muy difícil definir una metodología de diseño que se adapte con éxito a cualquier situación, organización y tipo de producto o servicio. Por lo tanto, la metodología más adecuada ha de ser definida para cada caso particular, tomando como partida cualquiera de las anteriores y ha de hacer uso de las siguientes herramientas y técnicas:

- Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMFE).
- Despliegue de Funciones de Calidad (QFD).
- Benchmarking, comparación de rendimiento con una referencia.
- Diseño de Experimentos (DOE), en particular las aplicaciones dirigidas a diseños robustos.
- Técnicas de simulación (a veces, en combinación con DOE).

4.7.3 Análisis de Modo y Efecto de Fallas – AMEF

El Análisis de Modo y Efecto de Fallas – AMEF, es un formato que se utiliza para determinar el Numero de Prioridad de Riesgo (NPR = Severidad x Ocurrencia x Detectabilidad), tal como se muestra en la tabla a continuación:

Análisis de Modo y Efecto de Fallas – AMEF

Pasos del proceso y su propósito	Posibles fallas	Posibles efectos de las fallas	Severidad	Causas de las fallas	Ocurrencia	Controles actuales del proceso (prevención y detección)	Detectabilidad	Acciones recomendadas	Responsable y fecha de terminación	Resultados de acciones		
										Acciones tomadas	Severidad	Ocurrencia
Describir los pasos del proceso y su propósito. Usar verbos de acción.	Las posibles fallas son una "negación" directa de cada operación con base en terminos específicos. Usar terminos tecnicos. Ejemplos: doblado, apretado, roto, deformado, sucio, etc.	Efectos de las fallas del proceso como lo percibiria el cliente interno/externo. Usar terminos tecnicos. Ejemplos (cliente final): ruido, operación erratica, olor desagradable, inestable. Ejemplos (siguiente operación); no se puede apretar, no se puede montar, no ajusta, daña al equipo, pelagra el operador.	Escala de Severidad	Posibles causas de las fallas. Describir con precisión lo que ocasiona las fallas posibles. Llegar a la causa raiz. Por ejemplo: torque inapropiado (poco o mucho), soldadura defectuosa (corriente, tiempo, presión), inadecuada lubricación a falta lubricación, parte faltante o mal colocada.	Escala de Ocurrencia	Controles actuales para prevenir y detectar fallas. Se puede usar Poka-Yoke o CEP. Considerar las siguientes características de control de proceso de acuerdo con el siguiente orden de preferencia: i) Prevenir causa, modo de falla o reducir ocurrencia (P). ii) Detectar causa o el modo de falla y corregir (D).	Escala de Detectabilidad	Enfocarse en valores grandes de severidad y NPR. En general, indep del NPR, si la severidad es grande (9 a 10) se deben determinar acciones corr/prev. En el orden S/O/D. Sino es necesario realizar acciones poner "ninguna". Se recomienda la revision del y/o proceso para reducir la severidad y ocurrencia. El metodo prefendo para mejorar la deteccion es usar poka-yoke.	Asignar a la persona responsable y fecha de cumplimiento.	Registrar fecha de implementación y breve descripción de la acción.	Escala de Severidad	Escala de Ocurrencia

Tabla 4: Formato AMEF

GUIA PARA EVALUACION DEL ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS - AMEF DEL PROCESO

EVALUACION	SEVERIDAD	OCURRENCIA	DETECCION
10	Peligro al operador, operacion insegura del producto. Sin Aviso.	Muy alta $\geq 1/2$	Casi imposible
9	Peligro al operador, operacion insegura del producto. Con Aviso.	Muy alta, 1/3	Muy remota
8	100% producto puede ser defectuoso. Producto inoperable.	Alta, 1/8	Remota
7	Menos del 100% producto es defectuoso. Producto operable, bajo rendimiento.	Alta, 1/20	Muy baja
6	Menos del 100% producto es defectuoso. Producto operable, sin confort.	Moderada, 1/80	Baja
5	Menos del 100% producto es defectuoso. Producto operable, con confort.	Moderada, 1/400	Moderada
4	Menos del 100% producto es defectuoso. Mal acabado y ruidos menores. Muy notable.	Moderada, 1/2000	Moderada alta
3	Menos del 100% producto es defectuoso. Mal acabado y ruidos menores. Notable.	Baja, 1/15000	Alta
2	Menos del 100% producto es defectuoso. Mal acabado y ruidos menores. Poco notable.	Baja, 1/150000	Muy Alta
1	No afecta	Remota $\leq 1.5M$	Casi segura

Tabla 5: Guía de Evaluación del AMEF

4.8 Compatibilidad con ISO 9000 y EFQM

No solo son compatibles sino que se refuerzan mutuamente. No tendría lógica aplicar un Programa Six-S si no existiese un sistema de gestión de la calidad que sirviera de marco y aportara cosas tan necesarias como la existencia de procedimientos documentados, control de los registros de recogida de datos, instrumentos de medida calibrados, etc. Por otra parte, las evaluaciones EFQM detectan oportunidades de mejora a las que se pueden aplicar Proyectos de Mejora Six-Sigma.

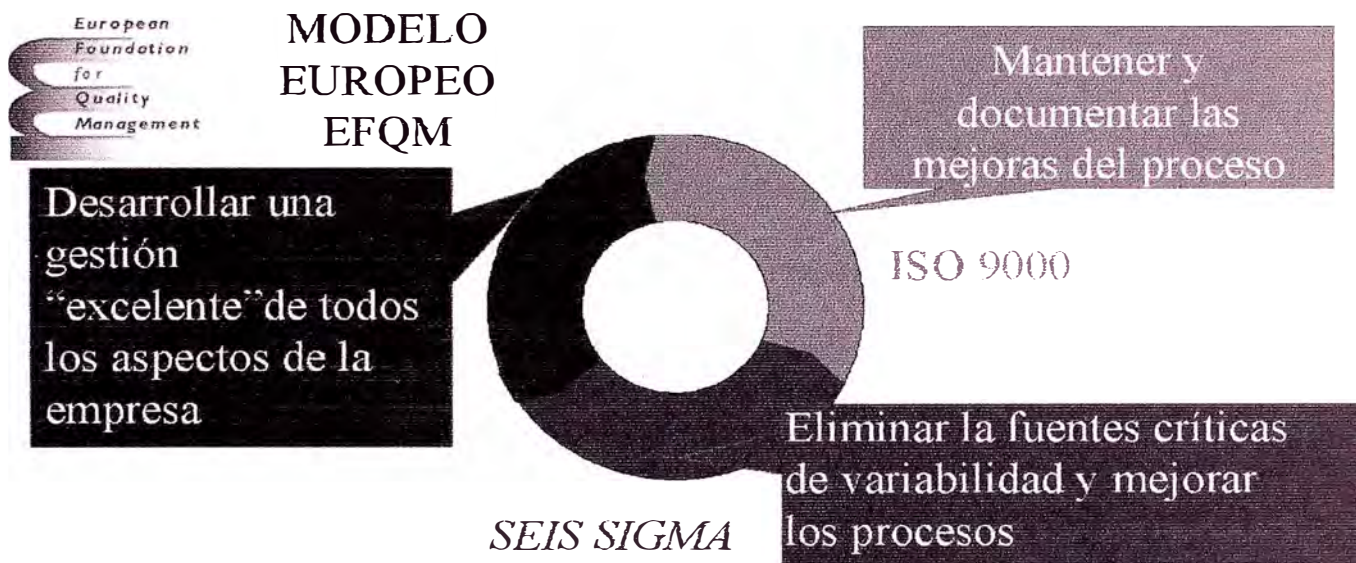


Figura 12: Relación con ISO 9000 y EFQM

4.8.1 Relación con Control Total de la Calidad

Mikel Harry define Six-Sigma como *“un proceso de negocio que permite a las empresas mejorar tremendamente su cuenta de resultados mediante el diseño y seguimiento diario de las actividades cotidianas de manera que se minimice el desperdicio a la vez que se maximiza la satisfacción del cliente”*.

Esta definición no se aleja demasiado de cualquiera de las existentes sobre TQM. Si además, Six-Sigma no aporta herramientas nuevas, ¿entonces Six-Sigma es algo nuevo o es lo mismo que TQM? Seguramente la pregunta no está bien planteada en esos términos. TQM en sí mismo es un concepto vago, hay muchos “TQMs”. Cada organización practicante de TQM ha hecho su propia versión.

La experiencia enseña que la mayor parte de las iniciativas de TQM han acabado a la larga en fracaso. ¿Por qué fallaron estas iniciativas TQM? Pues, para las causas más comunes, Six-Sigma aporta una metodología que estructura el proyecto de mejora y da una solución a cada una de estas causas de fallo potencial. Analicemos una por una las soluciones dadas:

- Causa 1.- ¿Concepto “nebuloso” de calidad en Six-Sigma? Six-Sigma requiere objetivar y medir. Estas métricas ligan la filosofía y la acción. Precisamente esta necesidad de objetivar y medir (es decir, tratar datos), hace imprescindible la aplicación de métodos estadísticos. El Credo de Six-Sigma requiere evitar discutir y tomar decisiones sobre “impresiones”. La objetivación estadística es la vía para tener una visión común. Esto enlaza plenamente con los pioneros Deming, Juran e Ishikawa.
- Causa 2.- ¿No se relaciona con resultados financieros en Six-Sigma? Six-Sigma está enfocado a la cuenta de resultados. Las cifras mandan.
- Causa 3.- ¿En Six-Sigma Se dispersa en actividades en distintos procesos? Six-Sigma selecciona los proyectos de mejora para mejorar la cuenta de resultados. El norte es la mejora de la cuenta de resultados.

- Causa 4.- ¿Falta real de asignación de recursos capacitados y entrenados a las actividades de mejora en Six-Sigma? Six-Sigma tiene definida una organización jerarquizada para llevar a cabo las actividades de mejora. Obviamente esta organización tiene un coste debido a la formación que precisa y la dedicación que requiere. En términos empresariales, es preciso rentabilizar este coste.

4.9 Propuesta de Mejora

La propuesta de mejora es entonces, muy importante en la revisión de un proceso que requiera obtener buena calidad. En resumen, luego de definir el problema, este proceso se divide en cuatro etapas:

- Etapa 1 (Medición).- Consiste en seleccionar una o más características del producto o servicio: como lo son las variables dependientes que identifican el proceso, tomar las medidas necesarias y registrar los resultados del proceso en las “tarjetas de control”, estimando el corto y largo plazo de la capacidad del proceso en la elaboración del producto.
- Etapa 2 (Análisis).- Implica la clave de la ejecución de las medidas del producto. Un análisis de intervalo es tomado por lo regular para identificar los factores comunes y exitosos de la ejecución: los cuales explican las mejores formas de aplicación. En algunos casos, es

necesario rediseñar el producto y/o el proceso, en base a los resultados del análisis.

- Etapa 3 (Mejora).- Se identifican las características del proceso que se puedan mejorar. Una vez realizado esto, las características son diagnosticadas para conocer si las mejoras en el proceso son relevantes.
- Etapa 4 (Control).- Esta etapa ayuda a asegurar que las condiciones del nuevo proceso estén documentadas y monitoreadas de manera estadística con los métodos de control del proceso. El entrenamiento provee a los responsables, el conocimiento y características para guiar y dirigir la implementación de la metodología Six-Sigma en su empresa.

CAPITULO 5
PROPUESTA DE MEJORA

Capítulo 5

PROPUESTA DE MEJORA

La Alta Dirección decide implementar un proyecto de mejora utilizando un programa piloto con metodología Six-Sigma, para lo cual cuenta con el apoyo del Círculo de Control de Calidad conformado por personal de la planta de fabricación de soldaduras de la empresa.

5.1 Liderazgo y Compromiso de la Alta Dirección

La empresa como parte de sus objetivos y políticas establecidas, promueve el trabajo en equipo en todas sus actividades empresariales. El liderazgo de estas actividades se encuentra a cargo del Gerente General, quien cuenta además con la colaboración del Comité de Calidad y Gestión Ambiental.

A la fecha cuentan con una variedad de actividades de gestión orientadas a fortalecer la unidad de grupo así como la búsqueda de soluciones y mejoras de sus procesos. Por ello, como parte de su filosofía de mejora continua, se encuentran en pleno proceso de implementación de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001, asimismo se encuentran en la etapa final de su proceso de migración a la versión 2002 de la norma ISO 9001.

Desarrollan a su vez una serie de programas orientados a incentivar la participación y creatividad de sus trabajadores, por ello desde el año 2000, promueve en todas sus unidades productivas y comerciales el Programa de Sugerencias y el Concurso de Orden y Limpieza.

La promoción del trabajo en equipo la efectúan mediante:

- * Charlas de sensibilización
- * Boletines internos
- * Reuniones permanentes de trabajo
- * Reconocimientos y premiaciones
- * Capacitación y entrenamiento

La empresa mantiene un enfoque sistemático para apoyar el desarrollo de los proyectos de mejora y en general para fomentar la participación de todos los trabajadores en la búsqueda de la mejora continua de la empresa. Desde hace algunos años se ha formado un Comité Ejecutivo de la Calidad, que se reúne mensualmente y que su principal misión es la de analizar el desarrollo del programa de Calidad Total dentro de la organización.

Estas reuniones son organizadas por el departamento de Calidad Total, que tiene la responsabilidad de fomentar el trabajo en equipo y asesorar a los equipos de mejora continua, así como administrar el programa de sugerencias e implementar el programa piloto.

5.2 Apoyo de la Alta Dirección en la Implementación de las Propuestas

La alta dirección de la empresa ha establecido dentro de sus políticas como uno de sus compromisos:

- “Desarrollar actividades que conviertan a sus trabajadores en agentes activos para la mejora continua”.
- “Promover el perfeccionamiento continuo de su personal y el mejoramiento de los procesos, productos y servicios de la empresa, asegurando su desarrollo en un entorno cada vez más competitivo”.

Para el cumplimiento de estos compromisos en la planta, se coordinan reuniones entre las jefaturas de la planta, lo que le permite al equipo de mejora con que cuenta la compañía, acceder a los recursos necesarios para la ejecución de su proyecto.

Para la realización del presente proyecto de mejora la Alta Dirección participo activamente destinando los recursos necesarios para llevar a cabo las reuniones, siendo esta informada de los avances obtenidos en cada reunión a través de actas de reunión e informes.

Una vez sustentadas las mejoras; para su implementación se contó con la aprobación de la Alta Dirección para hacer uso de materiales, equipos y accesorios, así como también gestionar la participación de personal calificado de otras áreas.

5.3 DMAIC

A continuación se presenta el Diagrama de Flujo de la metodología Six-Sigma con las fases DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar), que utilizaremos como guía de referencia para el desarrollo del proyecto:

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA SIX-SIGMA

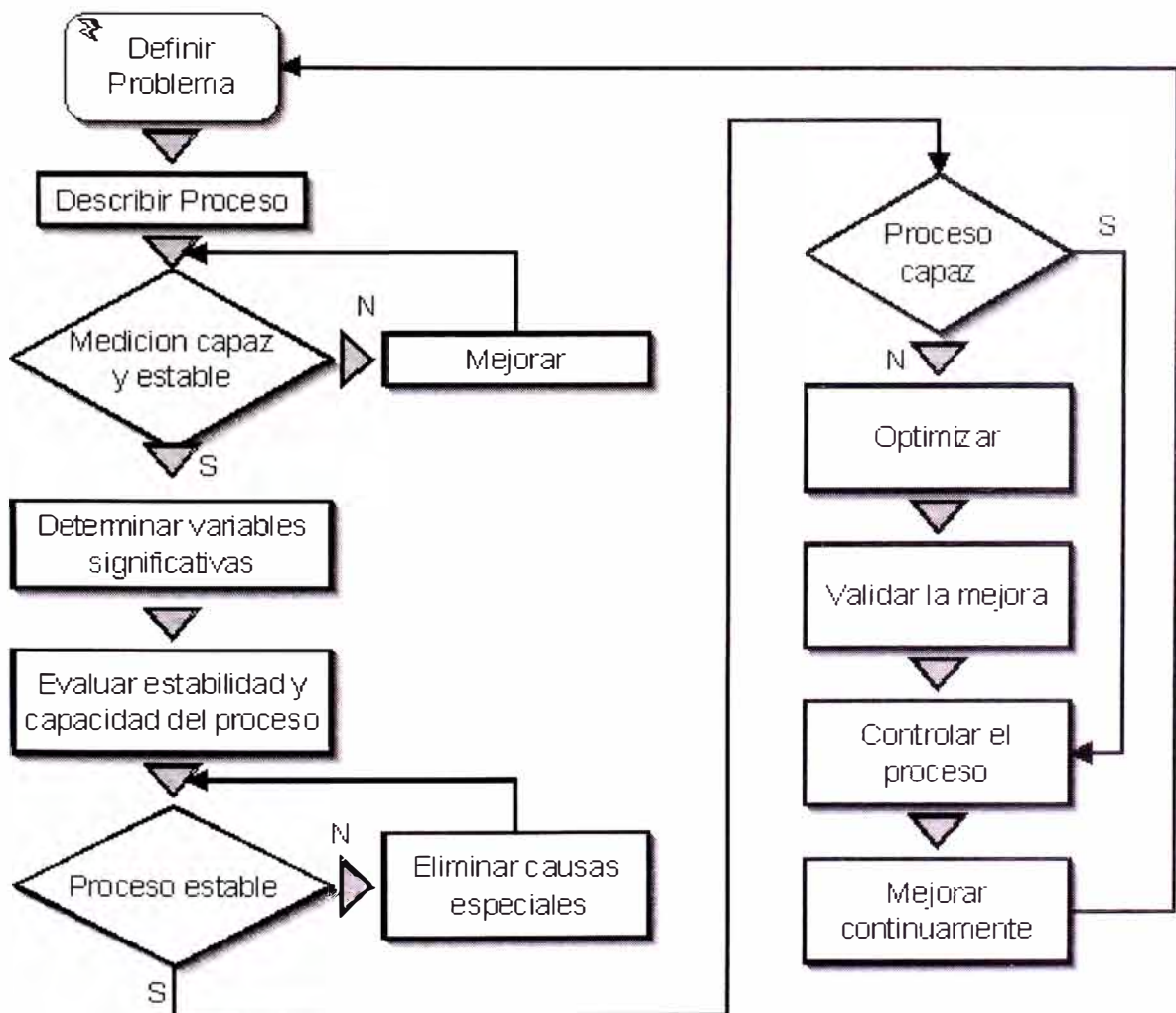


Figura 13: Diagrama de Flujo Six-Sigma

5.4 Planteamiento del Problema

“BAJO NIVEL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ELECTRODOS INOXIDABLES EN EL 2006”.

5.4.1 Definición del Problema

La metodología Six-Sigma se va aplicar al problema planteado, El número de defectos del proceso ha ido en aumento en el proceso este año, y se evidenció mas aún, a partir del rechazo de un lote completo por parte de un importante cliente del mercado nacional, quien verificó que la soldadura generaba defectos de calidad y no cumplía con las especificaciones de la norma AWS A5.4. Cabe mencionar, que esta situación coincide, con cambios en el personal de control de calidad y cambio del proveedor de un insumo importado (mica).

5.4.2 Descripción del Proceso

Se trata de un proceso de fabricación de electrodos de soldadura industrial, que tiene como insumos principales: Alambión de acero como núcleo y una masa de minerales aglomerados como revestimiento.

Las etapas del proceso industrial son: Decapado, trefilado y corte del alambón, mezclado húmedo de la masa, prensado, presecado y horneado del electrodo de soldadura.

El diagrama de flujo del proceso de fabricación mencionado se muestra a continuación:

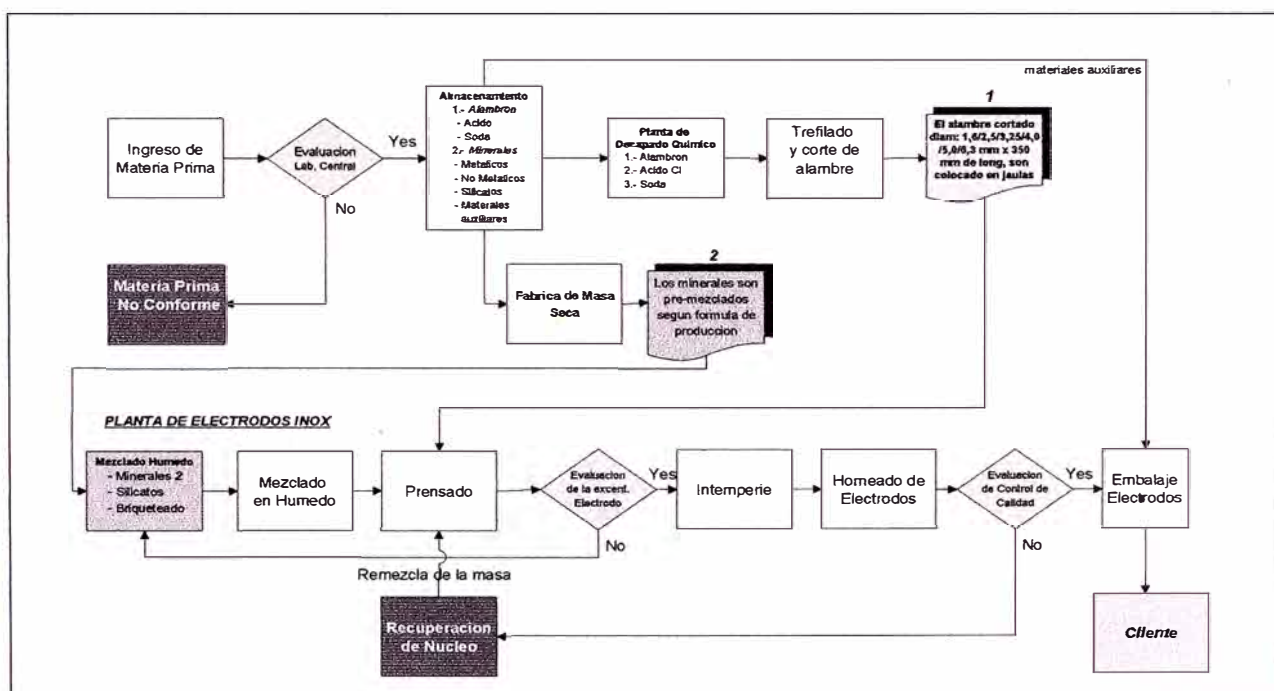


Figura 15: Diagrama de Proceso de Fabricación de Aceros Inoxidables

5.4.3 Características Críticas para la Calidad (CTQ's)

Para el uso correcto de las herramientas se deben tener claramente definidas las características críticas para la calidad (critical to quality), que finalmente son las que determinan la satisfacción del cliente. Las CTQ's para los electrodos, determinados por el equipo de trabajo son:

- Fácil encendido
- Fácil remoción de la escoria
- El depósito de soldadura debe estar libre de defectos: porosidades, inclusiones, atrapamientos de escoria, otros.
- Electrodo de mayor calidad y rendimiento
- Buen aspecto del cordón de soldadura
- Los electrodos cumplan con las especificaciones técnicas según norma AWS A5.4.

5.5 Recolección y Análisis de la Data

Para la aplicación de las herramientas de la metodología, así como para todo el análisis, se ha obtenido información acerca de la producción de electrodos inoxidable correspondiente a los años 2005 y 2006. En la siguiente tabla se presentan la data de planta de los lotes de electrodos inoxidable de los primeros siete meses del 2006, producción defectuosa o no conforme (NC) por lote y porcentual para ese periodo, así como el porcentaje rechazado por cada lote: Rechazado en planta(I) y rechazado en el mercado (II).

Mes	Fecha	Ø mm	kg - C	kg - NC	%Def	Defecto	Prensa	Horno	Fecha hornear	% Rechaz I	% Rechazo II
1	2006-01-11	3,25	960	1	0,2128	Masa dura	3	H-2	2006-01-10	0,10	0,10
1	2006-01-11	3,25	2,850	9	1,9149	Masa dura	3	H-7	2006-01-10	0,31	0,31
1	2006-01-12	3,25	2,400	4	0,8511	Masa dura	3	H-6	2006-01-11	0,17	0,17
1	2006-01-12	3,25	460	7	1,4894	Masa dura	3	H-6	2006-01-11	1,50	1,50
1	2006-01-16	3,25	220	7	1,4894	Masa dura	3	H-2	2006-01-16	3,08	3,08
1	2006-01-16	3,25	2,920	11	2,3404	Masa dura	3	H-6	2006-01-16	0,38	0,38
2	2006-02-13	2,50	1,045	31	6,5957	Nudo	5	H-7	2006-02-12	2,88	2,88
2	2006-02-14	2,50	2,140	12	2,5532	Masa dura	5	H-7	2006-02-13	0,56	0,56
2	2006-02-14	2,50	360	3	0,6383	Manchado	5	H-2	2006-02-14	0,83	0,83
3	2006-03-01	2,50	1,960	2	0,4255	Roto	3	H-6	2006-03-01	0,10	0,10
3	2006-03-01	2,50	2,030	1	0,2128	Roto	3	H-7	2006-03-01	0,05	0,05
3	2006-03-01	2,50	1,525	1	0,2128	Roto	3	H-8	2006-03-01	0,07	0,07
3	2006-03-10	2,50	1,480	2	0,4255	Roto	3	H-8	2006-03-10	0,13	0,13
3	2006-03-13	2,50	2,175	10	2,1277	Masa dura	3	H-7	2006-03-12	0,46	0,46
3	2006-03-21	2,00	534	5	1,0638	Masa dura	5	H-8	2006-03-21	0,93	0,93
3	2006-03-21	5,00	3,255	23	4,8936	Roto	3	H-7	2006-03-20	0,70	0,70
3	2006-03-22	2,00	558	2	0,4255	Roto	5	H-8	2006-03-22	0,36	0,36
3	2006-03-22	4,00	2,795	12	2,5532	Masa dura	3	H-7	2006-03-21	0,43	0,43
3	2006-03-23	4,00	2,265	25	5,3191	Masa dura	3	H-7	2006-03-22	1,09	1,09
3	2006-03-23	2,00	48	1	0,2128	Masa dura	5	H-7	2006-03-22	2,04	2,04
4	2006-04-04	1,60	686	7	1,4894	Falla Soldadura	5	H-7	2006-04-03	1,01	100,00
4	2006-04-05	1,60	718	4	0,8511	Falla Soldadura	5	H-7	2006-04-04	0,55	100,00
5	2006-05-08	3,25	1,720	9	1,9149	Falla Soldadura	5	H-8	2006-05-08	0,52	100,00
5	2006-05-08	3,25	1,900	9	1,9149	Falla Soldadura	5	H-8	2006-05-08	0,47	100,00
5	2006-05-09	3,25	1,920	8	1,7021	Falla Soldadura	5	H-8	2006-05-09	0,41	100,00
5	2006-05-09	3,25	620	1	0,2128	Falla Soldadura	5	H-2	2004-05-09	0,16	100,00
6	2006-06-01	2,50	1,920	3	0,6383	Falla Soldadura	3	H-6	2006-05-31	0,16	100,00
6	2006-06-02	2,50	1,355	3	0,6383	Falla Soldadura	3	H-8	2006-06-02	0,22	100,00
6	2006-06-24	2,50	1,105	22	4,6809	Falla Soldadura	5	H-7	2006-06-23	1,95	100,00
6	2006-06-24	3,25	1,055	180	38,2979	Falla Soldadura	5	H-7	2006-06-23	14,57	100,00
7	2006-07-21	3,25	975	3	0,6383	Otros	3	H-2	2006-07-21	0,31	0,31
7	2006-07-21	3,25	1940	10	2,1277	Otros	3	H-8	2006-07-21	0,51	0,51
7	2006-07-21	2,50	820	4	0,8511	Otros	3	H-8	2006-07-21	0,49	0,49
7	2006-07-21	2,50	300	2	0,4255	Otros	3	H-8	2006-07-21	0,66	0,66
7	2006-07-21	2,50	540	4	0,8511	Otros	3	H-2	2006-07-21	0,74	0,74
7	2006-07-24	2,50	680	5	1,0638	Otros	3	H-8	2006-07-24	0,73	0,73
7	2006-07-24	2,50	680	1	0,2128	Otros	3	H-8	2006-07-24	0,15	0,15
7	2006-07-25	2,50	825	3	0,6383	Otros	3	H-7	2006-07-24	0,36	0,36
7	2006-07-26	4,00	2280	16	3,4043	Otros	3	H-8	2006-07-25	0,70	0,70
7	2006-07-26	5,00	1120	4	0,8511	Otros	3	H-8	2006-07-26	0,36	0,36
7	2006-07-26	5,00	600	3	0,6383	Otros	3	H-6	2006-07-26	0,50	0,50

Tabla 6: Data de Defectos de Producción de Electrodos – 2006

5.6 Herramientas Six-Sigma

Con la data recolectada, procedemos a aplicar las herramientas y luego realizar los análisis respectivos.

5.6.1 Ploteo por Valor Individual de Defectos

Al hacer la clasificación de los defectos, luego del control de calidad y las pruebas de soldadura de los electrodos inoxidable, se nota claramente que los defectos que generan el mayor porcentaje de rechazo y que representan el mayor impacto son las fallas de soldadura, tal como se muestra en el ploteo y diagrama de Pareto a continuación:

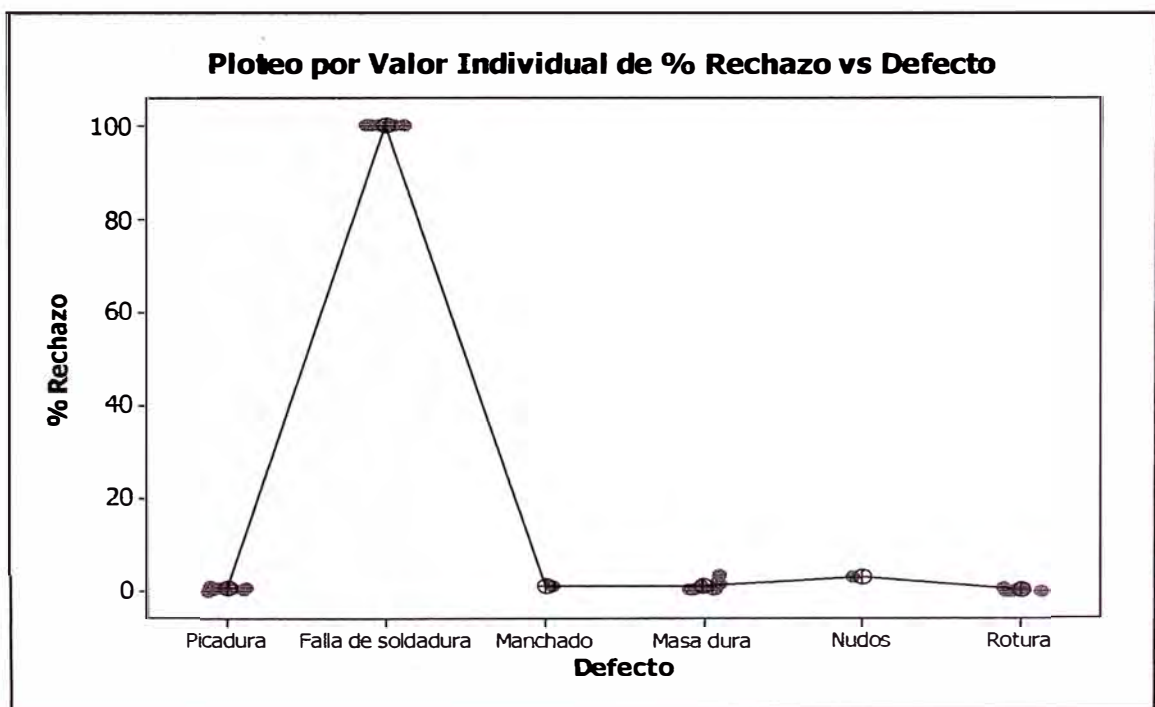


Figura 16: Ploteo por Valores Individuales de Defectos - 2006

5.6.2 Diagrama de Pareto de Defectos 2006

Con la misma data del ploteo, realizamos el diagrama de Pareto tal como se muestra a continuación:

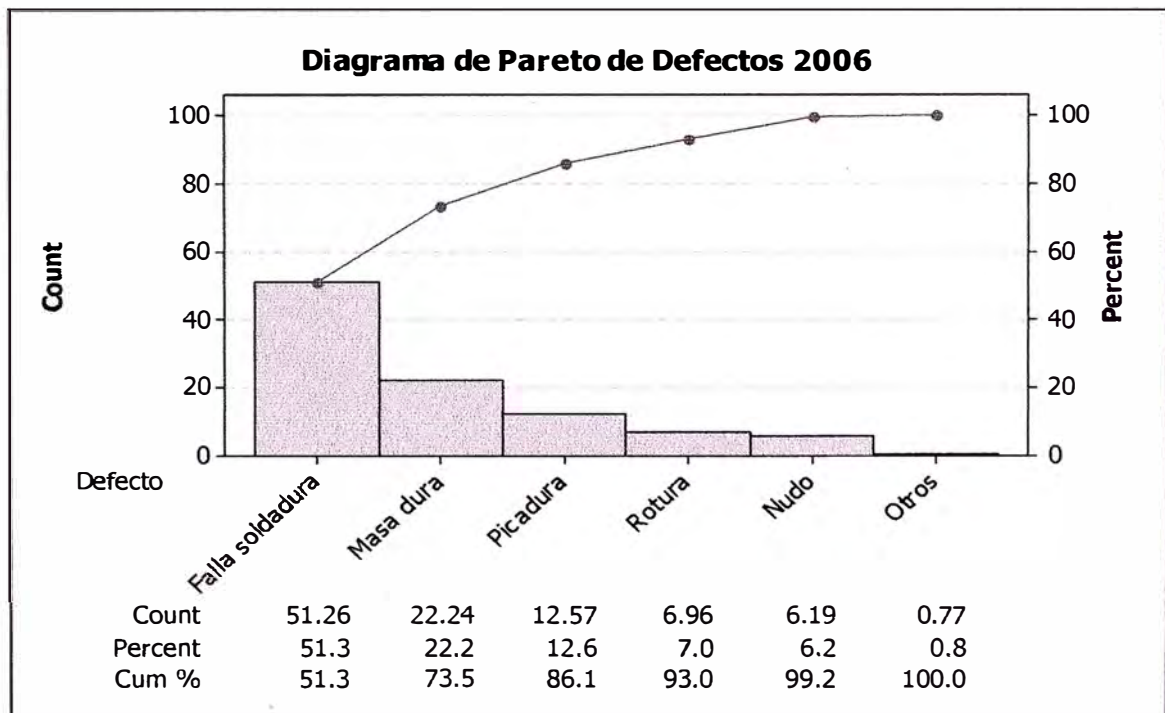


Figura 17: Diagrama de Pareto 2006

5.6.3 Brain Storm

El proceso de generación de ideas de las posibles causas del problema de mayor frecuencia e impacto, según ploteo y Pareto: Fallas de Soldadura (porosidad en el cordón de soldadura) con 51.26%, se logra a través de la realización de reuniones del tipo "Tormenta de Ideas", con todas las personas involucradas directamente con el problema, y que posteriormente devienen en el equipo de trabajo y que estará integrado por: Trabajadores, Supervisores, Analistas e Ingenieros.

5.6.4 Diagrama Causa – Efecto

Del Brain Storm, las ideas son ordenadas en un diagrama causa efecto o diagrama de Ishikawa, alrededor del problema planteado, tal como se muestra a continuación:

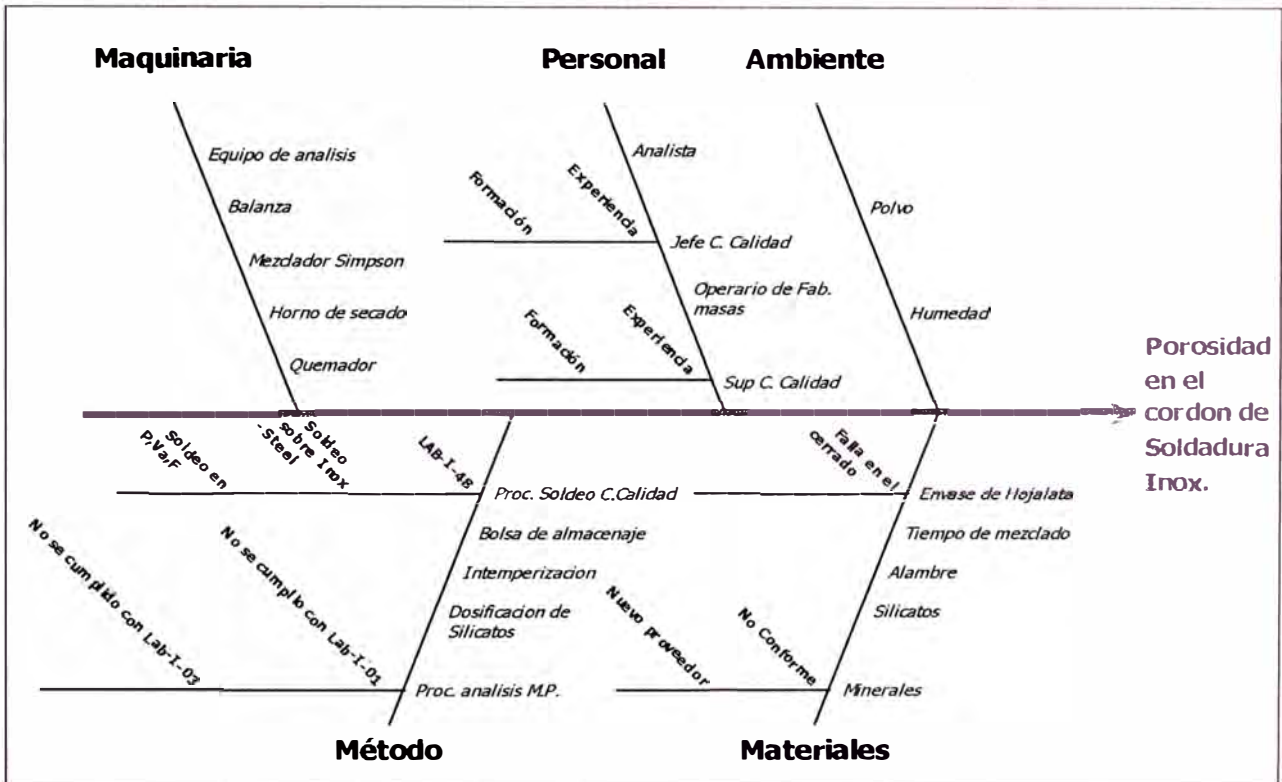


Figura 18: Diagrama Causa-Efecto 2006

En este diagrama graficamos las causas principales y secundarias de las fallas de soldadura (porosidad en el cordón), que se presentan en los siguientes aspectos: Maquinaria, método, materiales, personal y ambiente. Luego de esto el equipo se reúne y selecciona las causas que considera de mayor influencia en el problema, para realizar a continuación, el análisis de modo y efecto de falla y evaluar así las causas de mayor importancia, con el fin de poder abordarlas.

5.6.5 Análisis de Modo y Efecto de Fallas - AMEF

Como hemos visto el AMEF es un análisis muy importante, pues nos permite reconocer y evaluar las causas que generan el problema, a través del cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Evaluadas las fallas, se ordenan de mayor a menor; y de acuerdo a ese orden, se atienden para su potencial solución. El análisis AMEF se muestra en la siguiente tabla:

Pasos del proceso y su propósito	Posibles fallas	Posibles efectos de las fallas	S E V	Posibles causas de las fallas	O C U	Controles actuales del proceso (prevención y detección)	D E T	NPR	Acciones recomendadas
Ingreso de Materiales	Minerales no conforme con las especificaciones técnicas	Mal muestreo o muestra contaminada	3	Porosidad en el deposito de soldaduras, charco muy crepitante, dificultad al soldar con amperajes bajos y altos	10	Pruebas soldeo segun LAB-I-48 y/o cumplir con catalogo del producto	10	300	Pruebas de soldeo en posicion de filete horizontal sobre metal base de inoxidable y/o acero
Ingreso de Materiales		Falla en analisis quimico o no se ha realizado todos los analisis	8		10	Pruebas soldeo segun LAB-I-48 y/o cumplir con catalogo del producto	10	800	Comprobar periodicamente la calidad y realizacion de todos los analisis requeridos.
Ingreso de Materiales	Silicatos no conforme con las especificaciones técnicas	Mal muestreo	4	Viscosidad alta o baja	3	Pruebas soldeo segun LAB-I-48 y/o cumplir con catalogo del producto	10	120	Soldar en los rangos de amperaje máximos y mínimos
Ingreso de Materiales		Falla en analisis quimico	5	Inestabilidad en el arco, dificultad al soldar.	2	Pruebas soldeo segun LAB-I-48 y/o cumplir con catalogo del producto	10	100	
Ingreso de Materiales	Alambres no conforme con las especificaciones técnicas	Falla en analisis quimico	1	Diferente aspecto del cordón de soldadura	7	Colocar un iman durante el paso de los electrodos en la linea de embalaje	3	21	Identificar con etiqueta las cajas de los alambres o emplear jaulas de colores
Ingreso de Materiales	Envase de hojalata ovalado	Envase mal cerrado	3	Humedad en el electrodo	4	Arco crepitante durante el primer tercio del electr. y el resto del electrodo se comporta mas estable.	6	72	Probar hermeticidad del envase y prueba de engatillado
Metodo	No se cumple con analisis quimico LAB-I-03	Falla en analisis quimico	4	No se cumple con las especificaciones de hoja M	5	Repeticion de analisis	1	20	Capacitacion al personal nuevo y revision de procedimientos
Metodo	No se cumple con analisis quimico LAB-I-01	Falla en analisis quimico	2	No se cumple con las especificaciones de hoja M	5	Repeticion de analisis	1	10	Capacitacion al personal nuevo y revision de procedimientos
Superv. Control Calidad	Experimentado	Error en la evaluacion	6	Poco criterio de evaluacion en soldeo	5	Evaluacion del soldeo comparando muestras estandar	10	300	Capacitacion
Jefe de Control de Calidad	Experimentado	Error en la evaluacion	9	Poco criterio de evaluacion en soldeo/AQ	7	Experiencia en soldeo / interaccion del AQ de las MP	10	630	Capacitacion

Tabla 7: AMEF – 2006

Tal como se observa, las fallas más importantes se dan en el **ingreso de materiales** y en el **personal a cargo del área de control de calidad**, que según este análisis son los que arrojan mayor puntuación, por lo tanto mayor impacto en el problema a resolver.

5.6.6 Diagrama de Pareto del Análisis AMEF

Los cálculos de los NPR del AMEF son graficados a través del diagrama de Pareto, donde se facilita la visualización de los factores de mayor peso y que es donde debemos focalizar nuestros esfuerzos. En nuestro problema, la solución del **ingreso de materiales no conformes y personal inexperto a cargo del área de control de calidad**, representan 85.5% del total de los problemas que requerirán nuestra atención.

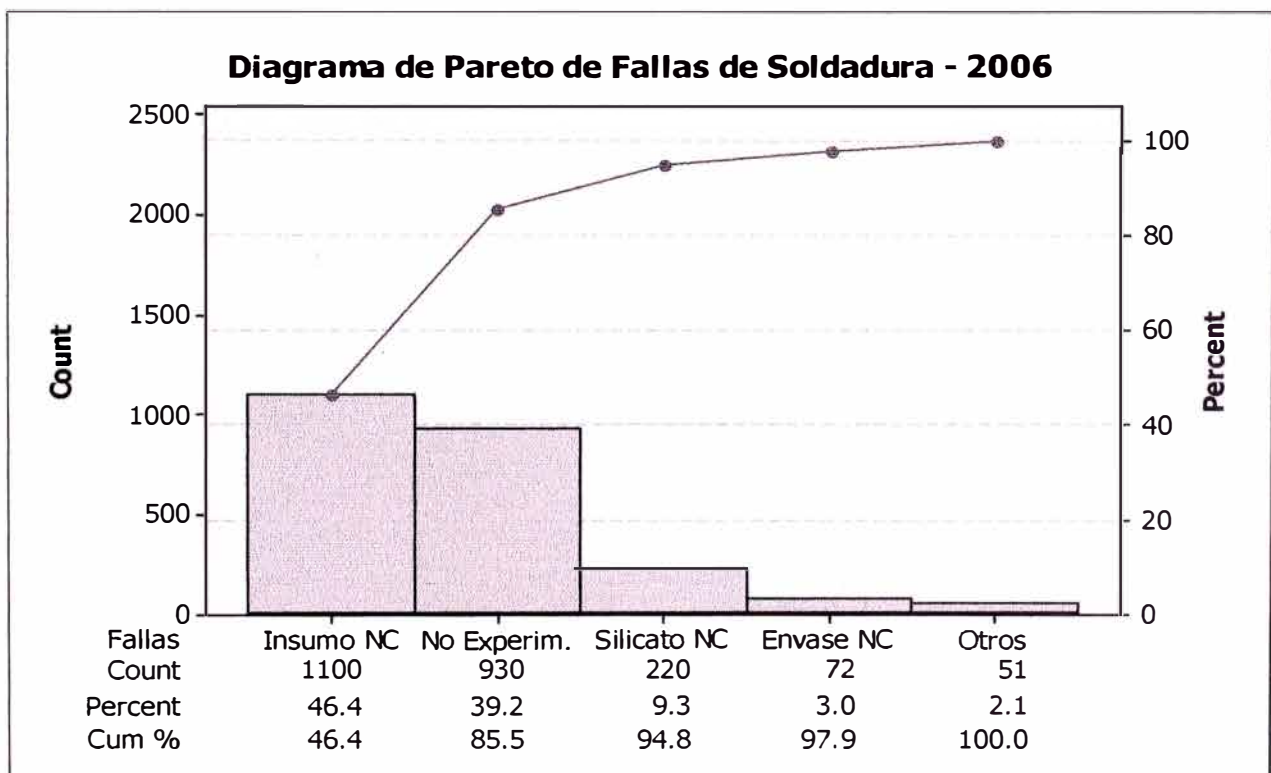


Figura 19: Diagrama de Pareto del AMEF de Fallas de Soldadura

Tal como se muestra en el diagrama de Pareto, el defecto con mayor porcentaje de ocurrencia (46.4%) se da por el **ingreso de materiales no conformes**, que normalmente debería detectarse en las pruebas de control de calidad.

5.7 Verificación Índices de Capacidad del Proceso

Se realiza la verificación de índices de capacidad de proceso para un primer escenario: Porcentaje de rechazo en el 2006 “%Rechazo I” con porcentajes de rechazo en planta. En este caso se observa, una capacidad de proceso general Cpm de 0.21, un desempeño real general del proceso de Ppk 0.15 y una desviación estándar StDev de 2.29, es decir un proceso con baja capacidad y con algunos valores dispersos, pero aun controlable y con potencial de mejora.

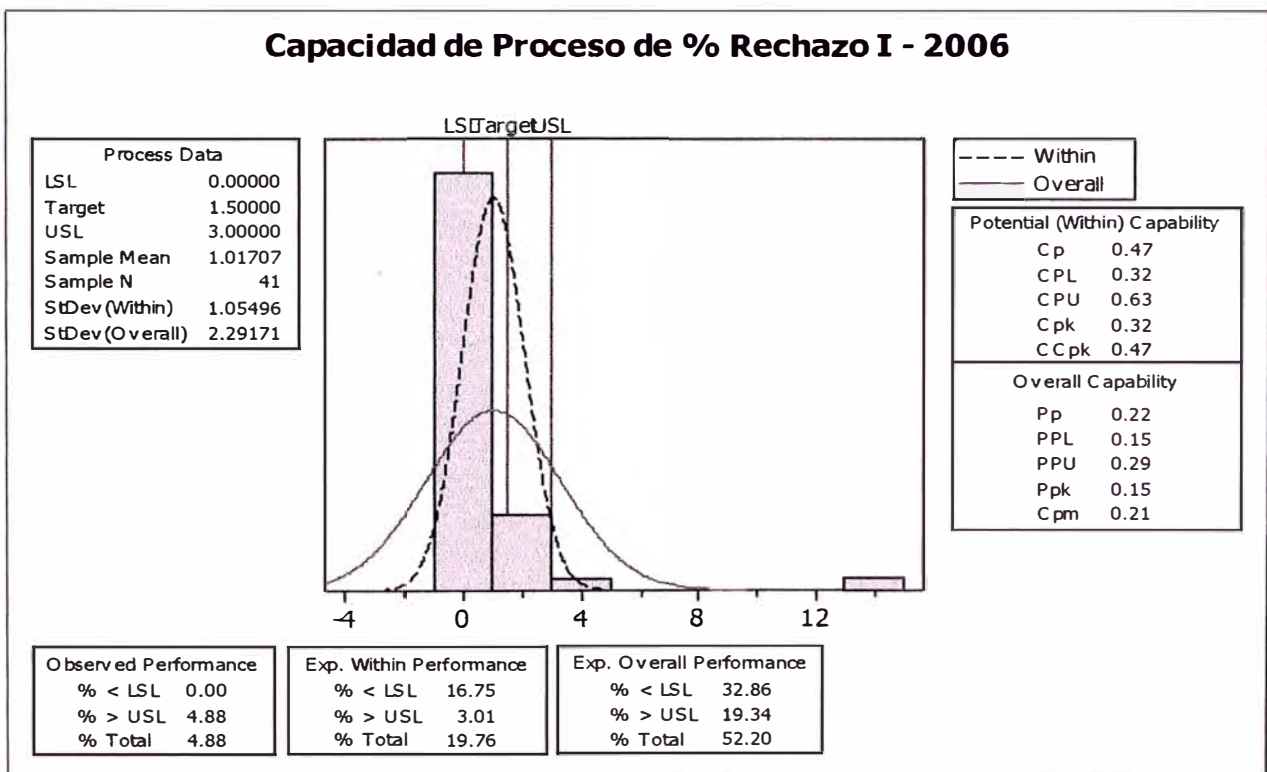


Figura 20: Capacidad de Proceso Normal % Rechazo I

Luego se realiza la verificación de índices de capacidad de proceso para un segundo escenario: Porcentaje de rechazo en el 2006 “%Rechazo II” con porcentajes de rechazo del mercado. En este segundo caso se observa, una capacidad de proceso general Cpm de 0.01, un desempeño real general del proceso Ppk de 0.15 y una desviación estándar StDev de 43.45, es decir se visualiza un proceso totalmente inestable y fuera de control.

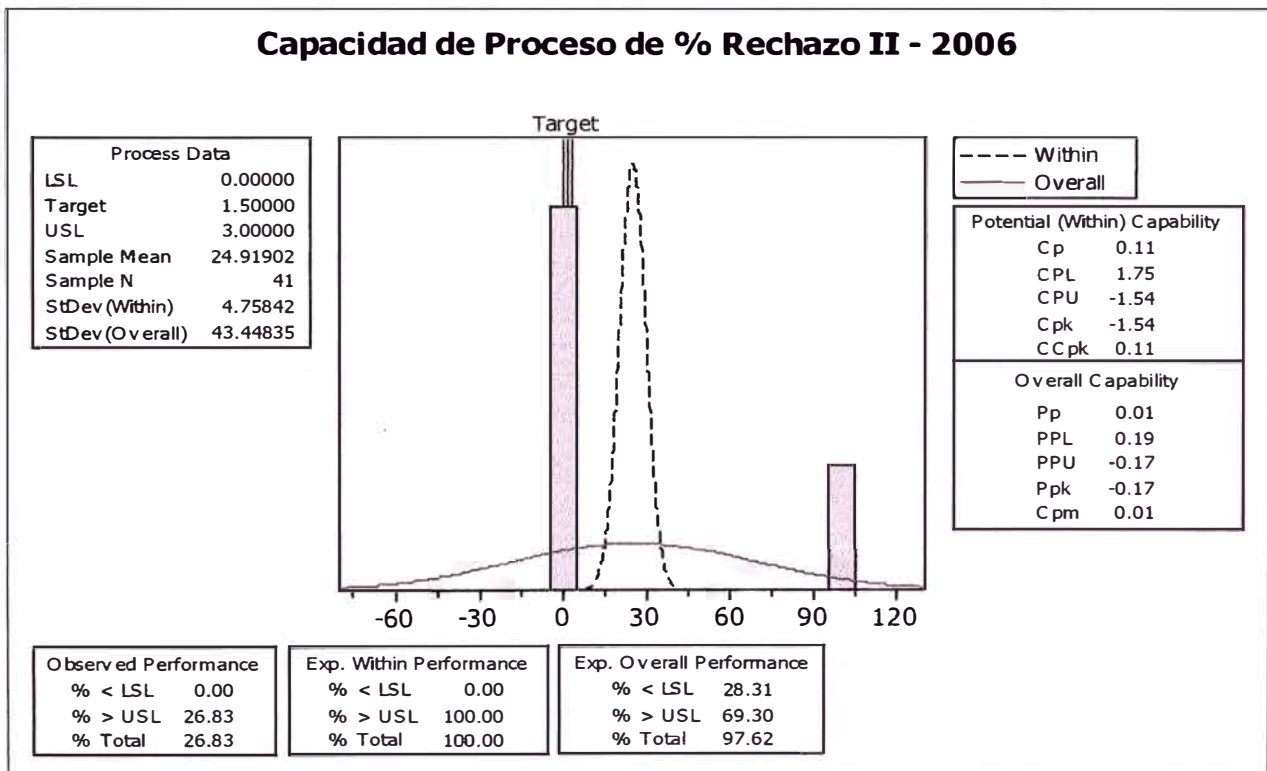


Figura 21: Capacidad de Proceso Normal % Rechazo II

5.7.1 Comparación de Capacidad de Procesos 2005 vs. 2006

Cuando comparamos los índices de capacidad de proceso entre periodos similares de producción de los años 2005 y 2006, observamos que la desviación estándar aumenta de 0.80 a 2.29, mientras que desempeño real general del proceso baja de 0.29 a 0.15 y la capacidad de proceso general baja de 0.44 a 0.21. Esto significa que incluso antes del cambio del proveedor de mica, el proceso de producción de electrodos ya se estaba deteriorando (luego de los cambios en área de control de calidad). Cabe indicar, que de haberse utilizado estas herramientas y realizado el análisis correspondiente, se habría obtenido una alerta que hubiera obligado a revisar todo el proceso.

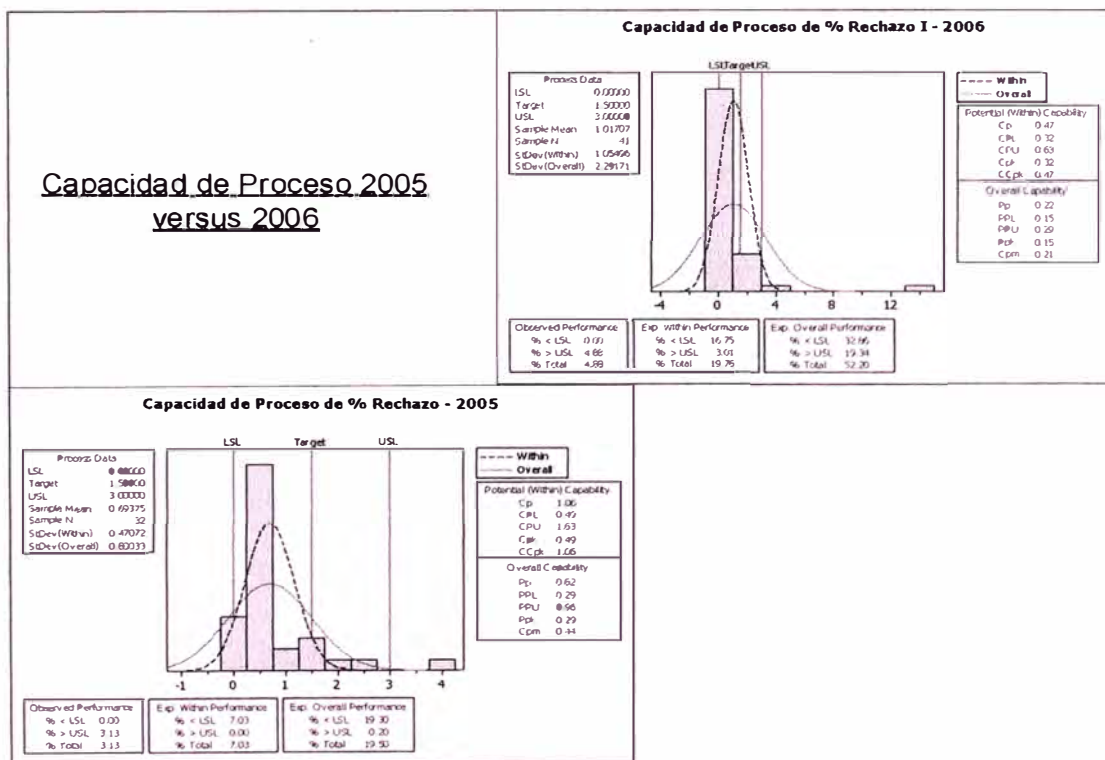


Figura 22: Comparación de Capacidades de proceso

5.7.2 Evolución del Consumo de Mica Tratada

La mica tratada; que es un insumo importado, es una materia prima muy importante para la producción del revestimiento de los electrodos inoxidables. El siguiente gráfico muestra como ha evolucionado el consumo de este insumo, a medida que se ha incrementado la producción en el tiempo, debido a una mayor demanda y participación de la empresa en el mercado. El gráfico muestra también; según la línea de tendencia, que la demanda de la empresa de este insumo va aumentar de acuerdo a la participación del mercado, lo cual convierte a la mica en un insumo crítico para la producción de este tipo de electrodos.

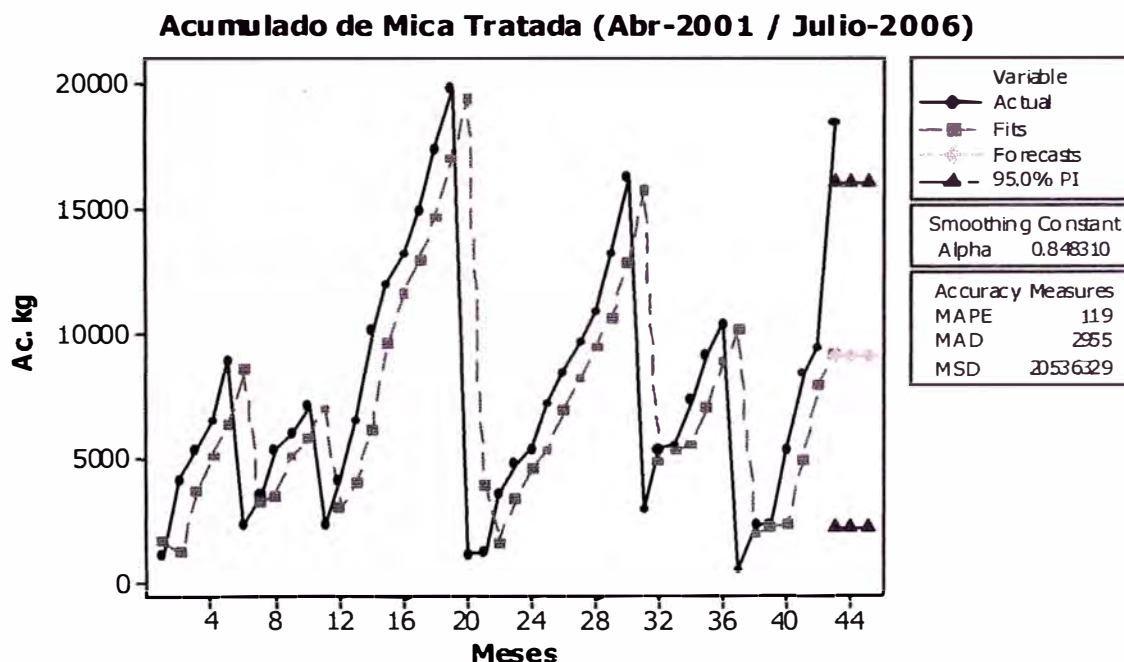


Figura 23: Evolución de Consumo de Mica en la Empresa

5.7.3 Variación del Precio Internacional de la Mica Tratada

El precio internacional de la mica tratada ha ido incrementándose, por lo que la empresa siempre esta atenta a los precios de otros proveedores, con miras a bajar costos de producción, incrementar la utilidad y asegurar también su competitividad en el mercado. Lamentablemente cuando se cambió de proveedor, se priorizó el precio y no la evaluación continua de la calidad de los lotes de insumo del nuevo proveedor, que aseguro siempre la entrega de un producto dentro de especificaciones de calidad bien definidas. La variación del precio internacional de este importante insumo y su tendencia se muestran en el grafico a continuación:



Figura 24: Tendencia y Variación del Precio Internacional de la Mica

5.7.4 Tendencia de la Importación de Electrodo de Soldadura

El gráfico a continuación muestra la importación de electrodos para soldadura por arco de metal común en los últimos años hasta mediados del 2006, y se observa su notable crecimiento:

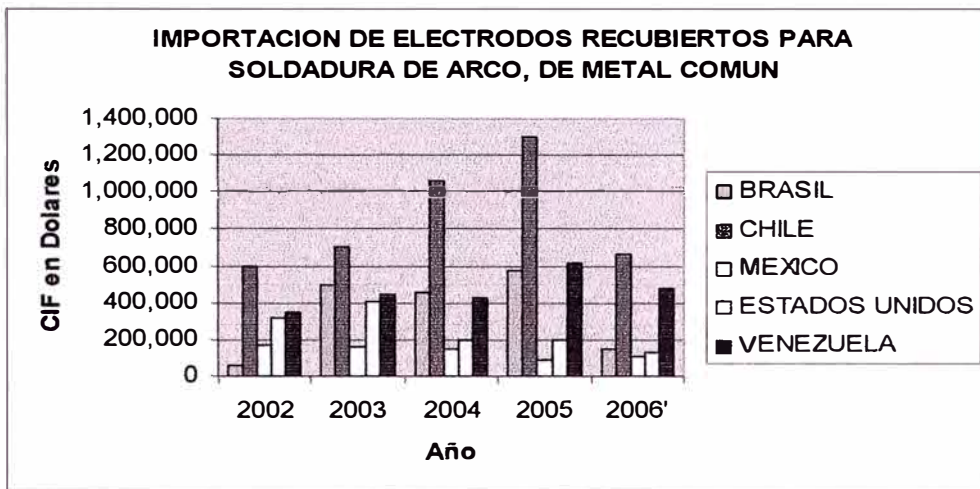


Figura 25: Importación de Electrodo Recubiertos

El problema planteado, ha originado perdidas de dinero y competitividad a la empresa el 2006; y la demora de su solución, ponen en peligro la pérdida de clientes, posibilitando la pérdida progresiva del mercado. Tal como se temía, una empresa chilena de la competencia esta comenzando a importar electrodos inoxidables al mercado peruano, obviamente con intenciones de incrementar su participación en el mercado y seguir creciendo.

La tendencia de importación de electrodos inoxidables por kilogramos de esta empresa de la competencia se muestra en la siguiente figura:

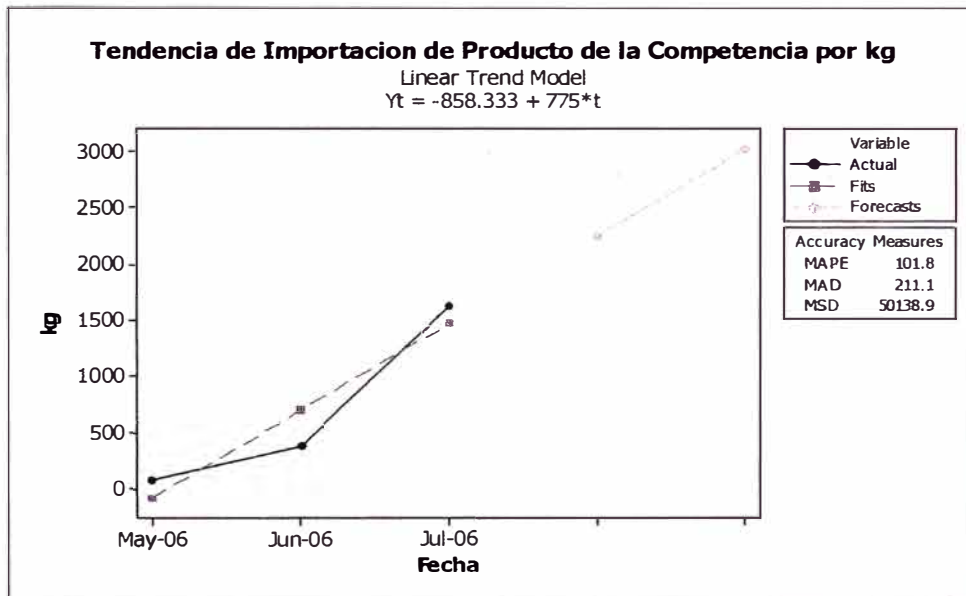


Figura 26: Tendencia de Importación de Electrodo de la Competencia

5.8 Análisis de las Entradas de las Variables de Control

El diagrama SIPOC del proceso nos ayuda a tener una visión mas clara de las entradas y las salidas del proceso de fabricación, así como también de todos los elementos involucrados en el. El mencionado diagrama se muestra a continuación:

SIPOC

Supplier(s)	Inputs/Req'ts	Process	Output(s)/Req'ts	Customer(s)
<p><u>Proveedores locales:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Aragados Calcareos -Silgelsa -Proquina -Dogaresa -Eurogrup -Aceros Arequipa <p><u>Servicio de terceros</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Talleres Suarez -Costrucciones Metalicas -Haug. <p><u>Proveedores Internacionales</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Londof & Scadinavia. -Minera las Cuevas. -Rettenmaier. -Sandvick. -Oerlikon. -Long Xing Group -Techniweld. -Ugitech S.A. -Rutilon SAC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Minerales metalicos - Minerales no metalicos - Celulosa -Silicatos - Alambros - Maquina - Envase de hojalata - Materiales auxiliares - Operarios 	<pre> graph TD A[Analisis del alambre y M.P.] --> B[Preparacion de la masa seca] B --> C[Mezclado Humedo] C --> D[Prensado de los electrodos] D --> E[Intemperización] E --> F[Secado] F --> G[Embalaje] </pre>	<p>Los cordones de soldadura presentan porosidades; estas porosidades se presenta en todos los electrodos tipo Inoxidable el cual no cumplen con la norma AWS, ASME, API,etc. siendo necesario su reparación.</p> <p>Aún resecando los electrodos de acuerdo a las especificaciones del catalogo del fabricante, se sigue obtenido porosidades en todas las juntas soldadas, ello ha generado un rechazado por los clientes.</p>	<p>Soldador</p> <p><u>Construccion:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ind. Petro-quimica. - Ind. Química. - Reparaciones en aceros disimiles - Industria pesada - Mineria - Gas

Figura 27: Diagrama SIPOC

De este diagrama se destaca la importancia de la selección adecuada de los proveedores de insumos, así como la importancia del personal del área de control de calidad, para realizar los análisis químicos y la evaluación de los mismos.

5.9 Planificación de la Propuesta

A la luz del análisis efectuado y de las observaciones del equipo de trabajo, se planteó una propuesta de mejora a través de la implementación de un programa Six-Sigma piloto de cinco meses, un equipo de 5 personas a tiempo parcial y un presupuesto inicial de \$10,000, para el proceso de producción de electrodos inoxidables y para lo cual se plantea el cronograma de trabajo siguiente:

Muestra de Normativa del Equipo (Continuación)

- ⇒ Programa
 - Definición: 4 semanas
 - Medición: 5 semanas
 - Análisis: 6 semanas
 - Mejora: 5 semanas
 - Control: 4 semanas
 - Reporte final: 6 semanas
- ⇒ Beneficios esperados para el cliente
 - Calidad constante del producto.
 - Entrega a tiempo.

CRONOGRAMA DEL PROYECTO DE MEJORA																				
Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Definir	■	■	■	■																
Medir					■	■	■	■	■											
Analizar										■	■	■	■	■	■					
Mejorar																■	■	■	■	
Control																				
Reporte Final																				■

Figura 28: Cronograma de Proyecto de Mejora

5.10 Mejora del Proceso

A pesar del buen diseño del proceso de producción, que ha sido sometido y revisado por un programa de Gestión y Sistemas de Calidad, hemos visto como el proceso falló, pues no se detectaron a tiempo las deficiencias y solo se detectó al efectuarse el rechazo del producto por parte del cliente. En este sentido, se propone como mejoras principales del proceso:

1. Capacitar intensivamente al personal del área de Control de Calidad o cambiarlo por personal más competente y experimentado, que garanticen la calidad de las entradas y salidas del proceso.
2. Capacitar al personal de las gerencias en la metodología Six-Sigma, para garantizar el adecuado uso de las herramientas y el conveniente desarrollo de las actividades de supervisión, control y mejora continua del proceso.
3. Seleccionar proveedores que puedan cumplir con las especificaciones de calidad y los tiempos de entrega de los insumos, a los mejores precios. Sin priorizar precios mas bajos en los insumos, pero que permitan una producción competente en el mercado con calidad.
4. Fabricar un horno para tratamiento de la mica importada, que no cumple con las especificaciones, para recuperar el insumo en stock. Esta posibilidad se detectó, realizando un diseño de experimentos (DOE).

5.11 Planes de Control

Para garantizar el correcto desempeño del proceso de producción de electrodos inoxidables en el tiempo, se propone un plan de control básico y que incluya las medidas siguientes:

1. Evaluación continúa al personal y revisión de procedimientos.
2. Pruebas de soldadura en la posición de mayor exigencia, como: Filete horizontal, plano y vertical ascendente, sobre metal base de acero inoxidable y/o acero estándar.
3. Soldar en los rangos de amperaje máximos y mínimos.
4. Identificar con etiqueta las cajas de los alambres o emplear jaulas de colores.
5. Probar hermeticidad del envase y engatillado del envase.
6. Analizar la mica importada por contenido de ceniza.

Con este plan de control básico, se pretende evitar que se presente nuevamente el problema, y que el proceso salga fuera de control, ocasionando las consiguientes pérdidas a la empresa.

Cabe agregar; que como en este caso, las pérdidas se pueden presentar no solo en producción, sino también en el stock de un insumo, que no cumple con las especificaciones de producto, porque los controles del sistema no detectaron en su momento las fallas en la calidad del insumo en cuestión.

5.12 Establecer Variables de Control del Proceso luego de la Mejora

De acuerdo al análisis del proceso de producción de los electrodos inoxidables, se observan las variables de control siguientes:

1. Resultado de las evaluaciones periódicas del personal del área de control de calidad.
2. Parámetros de los análisis completos de la mica, incluyendo un análisis químico por contenido de ceniza.
3. Parámetros de los análisis completos de todos los insumos, tanto importados como los del mercado nacional.
4. Porcentaje de rechazo por lote de producción de electrodos.

Existen otras variables de control, pero consideramos que éstas son las más importantes y necesarias para poder monitorear el proceso y lograr tenerlo bajo control.

CAPITULO 6
RESULTADOS

Capítulo 6

RESULTADOS

Los principales resultados obtenidos del programa piloto Six-Sigma en la producción de electrodos inoxidable son:

1. Se detectó incompetencia e inexperiencia en el personal del área de control de calidad: Supervisor y jefe de control de calidad de soldadura.
2. Se detectó que un insumo importante; la mica tratada, no cumplía con las especificaciones técnicas de producto.
3. Se ha propuesto un plan de mejora para el proceso de producción de electrodos inoxidable (pág. 80).
4. Se ha propuesto un plan básico de control, para agregar a las medidas de control existentes del proceso (pág. 81).
5. Se ha determinado haciendo un análisis por DOE, la posibilidad de recuperar la mica importada en stock y analizar la mica nacional previo tratamiento con un horno especialmente diseñado para bajar el contenido de ceniza, y así poder incluirla en la producción como insumo local, con lo que se lograría bajar costos.
6. Con este proyecto piloto se logró volver a un índice de capacidad general Cpm de 0.21; es decir, se ha logrado llegar al nivel anterior al problema.

7. Con la propuesta de mejora se espera lograr la capacidad potencial del escenario "Rechazo I"; es decir, a C_p de 0.47 e ir mejorándolo.
8. Se han establecido las principales variables de control del proceso luego de la mejora, para garantizar el correcto desempeño y mejora continua del proceso de producción de electrodos.
9. Se estima que el problema suscitado ocasionó \$50,000, en pérdidas de costo de oportunidad en el mercado nacional del producto (lote de producción rechazado).
10. Con el horno de tratamiento se recuperaría el 70% de la mica importada en stock, disminuyendo así las pérdidas, y además se ahorraría en los costos de mica tratada, pues se obtendría al 50% de su valor por tonelada.

CONCLUSIONES

1. El éxito de Six-Sigma esta basado en su objetivo inspirador: "Lograr la plena Satisfacción del Cliente", de allí la importancia de definir claramente las características críticas a la calidad.
2. La metodología Six-Sigma es aplicada a cualquier proceso con el fin de obtener la mejor calidad de los productos sean bienes y/o servicios, se complementa con los sistemas de gestión de calidad, aportando su metodología con uso intensivo de la estadística.
3. La metodología Six-Sigma nos permite observar claramente el comportamiento de los procesos, elaborando inspecciones visuales y/o electrónicas, y aplicando las herramientas estadísticas junto con las herramientas gráficas para organizar convenientemente la información.
4. Las herramientas y gráficos elaborados, nos permiten evaluar la estabilidad y la capacidad del proceso; facilitando mucho de esta manera, las actividades de supervisión, control y la detección de fallas.
5. Una vez observado el comportamiento del proceso, se procede a reducir al máximo los defectos en los productos o servicios, controlar mejor y buscar así la plena satisfacción del cliente.
6. La implementación de la metodología Six-Sigma, se puede iniciar a través de un programa piloto, con miras a desarrollarlo en el tiempo por todas las áreas de la empresa e involucrando a todo el personal.
7. La metodología Six-Sigma exige al final del proyecto de mejora, un programa que asegure la mejora continua permanente del proceso.

8. Con la implementación del DOE del proyecto piloto, se ha demostrado que contamos con profesionales capaces de realizar investigación, altamente productiva para la industria nacional.
9. También se ha demostrado, que somos capaces de resolver problemas complejos de nuestra industria, sin necesidad de asesoramiento de expertos extranjeros que puede significar varios miles de dólares.
10. Los ingenieros peruanos podemos desarrollar tecnologías, que permitan tratar materia prima nacional y obtener insumos (para distintas aplicaciones); de la misma calidad y características que el insumo importado, generando un gran ahorro de divisas para el país.
11. El tratamiento de nuestra materia prima con tecnología nacional, abre la posibilidad de comercializar productos con valor agregado y lograr mayor competitividad. En la actualidad, esto cobra más importancia aún, con los tratados de libre comercio y la globalización.
12. Nuestro país es exportador minero polimetálico por tradición, pero como se comprueba en este trabajo, en el campo no metálico se presentan varias posibilidades de desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Seis Sigma, Metodología y Técnicas, Edgardo Escalante, Limusa, 2005.
2. Six-Sigma, The breakthrough Management Strategy; Harry Mikel, Schoeder Richard; Mc Graw Hill Editorial; 2000.
3. Seis Sigma, Mitos y Realidades (I), Arturo Ruiz-Falcó Rojas, Universidad de Rioja, España, 2003.
4. Estrategias de Manufactura aplicando la Metodología Six-Sigma; Maya Héctor, Rodríguez-Salazar Jesús, Rojas Julieta, Zazueta Guillermo; Editorial Oceánica; 1996.
5. Diseño y Análisis de Experimentos, Montgomery Douglas, Grupo Editorial Iberoamericano, 1991.
6. Estadística para Administración y Economía, Anderson – Sweeney – Williams, Octava Edición, 2004.
7. Manual de Soldadura de Oerlikon & Catálogo de Productos, 1999.
8. Manual del Ingeniero Mecánico de Marks, Baumeister, Novena Edición, Mc Graw Hill, 1995.
9. Manual de Usuario del Software Estadístico Minitab, versión 14.

APENDICES

APENDICE A

ABREVIATURAS

AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Fallas.

ANOVA: Analysis Of Variance.

BB: Black Belt.

COPQ: Cost Of Poor Quality.

CTP: Critical To Process.

CTQ: Critical To Quality.

DCCDI: Define, Customer, Concept, Design, Implementation.

DOE: Design of Experiments.

DFSS: Design For SIX-SIGMA.

DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve and Control.

DMADV: Define, Measure, Analyze, Design and Verify.

DPMO: Defects Per Million Opportunities.

DPO: Defects Per Opportunity.

DPU: Defects Per Unit.

EDA: Exploratory Data Analysis.

FTY: First Time Yield.

GB: Green Belt.

IDOV: Identify, Define, Optimize, Validate.

MBB: Master Black Belt.

NPR: Numero de Prioridad de Riesgo

QFD: Quality Function Deployment.

R&R: Repeatability & Reproducibility.

SS: SIX-SIGMA.

SIPOC: Supplier Input Process Output Customer.

SPC: Statistical Process Control.

TQM: Total Quality Management.

VOC: Voice of the Customer.

YB: Yellow Belt.

Z_{lt}: Z long term.

Z_{st}: Z Short term.

APENDICE B

METODOS E INDICES DE CAPACIDAD DE PROCESOS: DEFINICIONES Y FORMULAS DEL MANUAL ORIGINAL DEL MINITAB

Metodos

Estimacion desviacion estandar

Within-subgroup analysis is based on the following two standard deviations:

- σ_{within} : Is the standard deviation within subgroup, which is an estimate of the variation within subgroups (for example, one shift, one operator, or one material batch.)

When subgroup size is > 1 , Minitab estimates σ_{within} using one of the following methods:

- 1 Pooled standard deviation:

The unbiased estimator of σ_{within} is $S_p/C_4(d)$

where:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_i (n_i - 1)}}$$

$d = \sum (n_i - 1)$ degrees of freedom for S_p

X_{ij} = j^{th} observation in the i^{th} subgroup

\bar{x}_i = Mean of the i^{th} subgroup

n_i = The number of observations in the i^{th} subgroup

$C_4(d + 1)$ = An unbiasing constant and is given by,

$$\frac{\sqrt{2} \Gamma\left(\frac{d+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)}$$

- 2 Average of subgroup ranges:

The unbiased estimator of σ_{within} is S_r

$$S_r = \frac{\sum_i \left(\frac{f_i r_i}{d_2(n_i)} \right)}{\sum_i f_i}$$

where:

$$f_i = \frac{[d_2(n)]^2}{[d_3(n)]^2}$$

$S_r = \bar{R} / d_2(n_i)$ if all n are the same

r_i = Range of the i^{th} subgroup

$d_2(n_i)$ = The unbiasing constants read from a table given in [28]

$d_3(n_i)$ = The unbiasing constants read from a table given in [28]

3 Average of subgroup standard deviations:

The unbiased estimator of σ_{within} is

$$\hat{s} = \frac{\sum h_i s_i}{\sum (h_i)}$$

where:

$c_4(n_i)$ = c_4 factor based on size of subgroup n_i

S_i = standard deviation of subgroup i

$$h_i = \frac{(c_4(n_i))^2}{1 - (c_4(n_i))^2}$$

When subgroup size is = 1, Minitab estimates σ_{within} using one of the following methods:

1 Average of moving range:

$\overline{MR} / d_2(w)$ is an unbiased estimate of σ_{xbar}

where:

MR_i = The i^{th} moving range = $\text{Max}[x_i, \dots, x_{i-w+1}] - \text{Min}[x_i, \dots, x_{i-w+1}]$, for $i = w, \dots, n$

$\overline{MR} = (MR_w + \dots + MR_n) / (n - w + 1)$

w = The number of observations used in the moving range. The default is $w = 2$

$d_2(w)$ = The unbiasing constants read from a table given in [28]

2 Median of moving range:

$\overline{MR} / d_4(w)$ is an unbiased estimate of σ_{xbar} .

where:

MR_i = The i^{th} moving range = $\text{Max}[x_i, \dots, x_{i-w+1}] - \text{Min}[x_i, \dots, x_{i-w+1}]$, for $i = w, \dots, n$

$\overline{MR} = (MR_w + \dots + MR_n) / (n - w + 1)$

w = The number of observations used in the moving range. The default is $w = 2$

$d_4(w)$ = The unbiasing constants read from a table given in [28]

3 Square root of mean squared successive differences (MSSD) Average of subgroup ranges:

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{2} \times \frac{(\sum d_i^2)}{(n-1)}}}{c_4(n_i)}$$

where:

d_i = successive differences

$c_4(n_i)$ = c_4 factor based on size of subgroup n_i read from a table in [28]

$c_4(n_i)^1$ approximately equals $c_4(n_i)$

- σ_{Overall} : Is the standard deviation of all measurements, which is an estimate of the overall process variation.

Box-Cox transformacion

Box-Cox Transformation estimates a lambda value, as shown below, which minimizes the standard deviation of a standardized transformed variable. The resulting transformation is Y^λ when $\lambda \neq 0$ and $\text{Loge}Y$ when $\lambda = 0$.

This method searches through many types of transformations. Here are some common transformations [19] where Y' is the transform of the data Y :

Lambda (λ) value Transformation

$\lambda = 2$ $Y' = Y^2$

$\lambda = 0.5$

$$\begin{aligned}
& Y' = \sqrt{Y} \\
\lambda = 0 & \quad Y' = \log_e Y \\
\lambda = -0.5 & \quad Y' = 1 / (\sqrt{Y}) \\
\lambda = -1 & \quad Y' = 1 / Y
\end{aligned}$$

Capacidad Potencial

Cp Cp is a capability index defined as the ratio of the specification spread (USL – LSL) to the potential process spread and is estimated as,

$$\frac{USL - LSL}{6 \hat{\sigma}_{within}}$$

where:

USL = Upper specification limit

LSL = Lower specification limit

$\hat{\sigma}_{within}$ = Within-subgroup standard deviation

CPL CPL is a capability index defined as the ratio of the interval formed by the process mean and LSL and one-sided spread of the potential process (represented by three times the within subgroup standard deviation) and is estimated as,

$$\frac{\bar{x} - LSL}{3 \hat{\sigma}_{within}}$$

where:

LSL = Lower specification limit

\bar{x} = Process mean

$\hat{\sigma}_{within}$ = Within-subgroup standard deviation

CPU CPU is a capability index defined as the ratio of the interval formed by the process mean (μ) and USL and one-sided spread of the potential process (represented by three times the within subgroup standard deviation) and is estimated as,

$$\frac{USL - \bar{x}}{3 \hat{\sigma}_{within}}$$

where:

USL = Upper specification limit

\bar{x} = Process mean

$\hat{\sigma}_{within}$ = Within-subgroup standard deviation

Cpk Cpk is a capability index that equals the minimum of CPU and CPL.

$$Cpk = \min\{CPU, CPL\}$$

CCpk Minitab calculates CCpk based on known values of LSL, USL, and T,

For known values of	CCpk
USL only	$= \frac{USL - \hat{\mu}}{3 \hat{\sigma}_{within}}$
LSL only	$= \frac{\hat{\mu} - LSL}{3 \hat{\sigma}_{within}}$
LSL and USL	$= \frac{\text{Min}\{(USL - \hat{\mu}), (\hat{\mu} - LSL)\}}{3 \hat{\sigma}_{within}}$

where:

$\hat{\mu}$ = Target when Target is given

$\hat{\mu} = 1/2 (USL + LSL)$ when both LSL and USL are given and no target value is specified

$\hat{\mu} = \bar{x}$ otherwise

USL = Upper specification limit

LSL = Lower specification limit

$\hat{\sigma}_{within}$ = Within-subgroup standard deviation

\bar{x} = Process mean

Capacidad General

Pp Pp is a capability index defined as the ratio of the specification spread (USL - LSL) to the overall process spread (represented by overall standard deviation) and is estimated as,

$$\frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{overall}}$$

where:

USL = Upper specification limit

LSL = Lower specification limit

$\hat{\sigma}_{overall}$ = Overall standard deviation

PPL PPL is a capability index defined as the ratio of the interval formed by the process mean and LSL to the one-sided spread of the process (represented by 3 times overall standard deviation) and is estimated as,

$$\frac{\bar{x} - LSL}{3\hat{\sigma}_{overall}}$$

where:

LSL = Lower specification limit

\bar{x} = Mean of the data

$\hat{\sigma}_{overall}$ = Overall standard deviation

PPU PPU is a capability index defined as the ratio of the interval formed by the process mean and USL to one-sided spread of the process (represented by 3 times overall standard deviation) and is estimated as,

$$\frac{USL - \bar{x}}{3\hat{\sigma}_{overall}}$$

where:

USL = Upper specification limit

\bar{x} = Mean of the data

$\hat{\sigma}_{overall}$ = Overall standard deviation

Ppk Ppk is a capability index that equals the minimum of PPU and PPL.

$$Ppk = \min\{PPU, PPL\}$$

Cpm Cpm is a capability index that is the ratio of the specification spread (USL - LSL) to the square root of the mean squared deviation from the target. The higher the Cpm index, the better the process.

Cpm is available only when a target is specified. Minitab calculates Cpm based on known values of LSL, USL, and T

For known values of	Cpm
LSL and USL only	= *
LSL, USL, and T = m	= $\frac{USL - LSL}{\text{toler} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}}}$
LSL, USL, and T not equals m	= $\frac{\min(T - LSL, USL - T)}{2 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}}}$
USL and T only	= $\frac{USL - T}{2 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}}}$

$$\text{LSL and T only} = \frac{T - \text{LSL}}{\frac{\text{toler} *}{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - T)^2}{n-1}}}$$

Either LSL or USL = *

Note * indicates missing value

where:

T = Target value

m = Midpoint between USL and LSL

Toler = Sigma tolerance, Minitab uses 6 as the default value

Intervalos de Confianza y Limites

Cp

Confidence interval for Cp:

$$\text{Lower bound} = \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha/2, v}}{v}}$$

$$\text{Upper bound} = \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{\alpha/2, v}}{v}}$$

$v = f_n * df$

where:

df = The degrees of freedom for $\sigma^2_{\text{within}} = k(n - 1)$

k = number of samples

n = average sample size

f_n = The adjustment factor for different methods used to estimate σ^2_{within}

For,

- Sbar, f_n varies with n

n	f_n
2	0.88
3	0.92
4	0.94
5	0.95
6, 7	0.96
8, 9	0.97
10-17	0.98
18-64	0.99
65-	1.00

- Rbar, $f_n = 0.9$

- Pooled standard deviation, $f_n = 1$

- Average and median moving range, $v = k - \text{Rspan} + 1$
where Rspan is the number of observations used to calculate the moving range

- Square root of MSSD, $v = k - 1$

You can calculate the bounds for these indices by replacing $\alpha/2$ with α .

Z.Bench (en subgrupo)

Let P = Prob (Observations outside the specification limits).

Therefore,

P	When...
Prob (X < LSL) + Prob (X > USL)	both the specification limits are given
Prob (X < LSL)	only lower specification limit is given
Prob (X > USL)	only upper specification limit is given

The probability (P) is based on the normal distribution with parameters, the process mean and the within-subgroup variation.

The lower limit for P is:

$$P_L = \frac{v_1 * F(v_1, v_2, \alpha/2)}{v_2 + v_1 * F(v_1, v_2, \alpha/2)}$$

where:

$$v_1 = 2 * N * P$$

$$v_2 = 2 * (N - P * N + 1)$$

N = Total number of observations

The upper limit for P is:

$$P_U = \frac{v_1 * F(v_1, v_2, 1 - \alpha/2)}{v_2 + v_1 * F(v_1, v_2, 1 - \alpha/2)}$$

where:

$$v_1 = 2 * (P * N + 1)$$

$$v_2 = 2 * (N - P * N)$$

N = Total number of observations

Confidence interval for Z.Bench is,

$$\text{Lower limit} = |\Phi^{-1}(P_L)|$$

$$\text{Upper limit} = |\Phi^{-1}(P_U)|$$

where Φ^{-1} is the inverse cdf of a standard normal distribution.

Cpk

Confidence interval for Cpk:

$$\text{Lower bound} = \hat{C}_{pk} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9kn} + \frac{(\hat{C}_{pk})^2}{2v}}$$

$$\text{Upper bound} = \hat{C}_{pk} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9kn} + \frac{(\hat{C}_{pk})^2}{2v}}$$

where:

k = number of samples

n = average sample size

For degrees of freedom, see confidence interval for Cp.

You can calculate the bounds for these indices by replacing $\alpha/2$ with α .

Pp

Confidence interval for Pp:

$$\text{Lower bound} = \hat{P}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha/2}(kn-1)}{kn-1}}$$

$$\text{Upper bound} = \hat{P}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{\alpha/2}(kn-1)}{kn-1}}$$

where:

k = number of samples

n = average sample size

To calculate one-sided confidence interval, replace $\alpha/2$ by α .

Z.Bench (General)

Use the formula for calculating the confidence interval for Z.Bench (within) except use overall variation to calculate the probability (P) instead of within-subgroup variation.

Ppk

Confidence interval for Ppk:

$$\text{Lower bound} = \hat{P}_{pk} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9kn} + \frac{(\hat{P}_{pk})^2}{2(kn-1)}}$$

$$\text{Upper bound} = \hat{P}_{pk} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9kn} + \frac{(\hat{P}_{pk})^2}{2(kn-1)}}$$

where:

k = number of samples

n = average sample size

To calculate one-sided confidence interval, replace $\alpha/2$ by α .

Cpm

Confidence interval for Cpm:

$$\text{Lower bound} = \hat{C}_{pm} \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha/2, v}^2}{v}}$$

$$\text{Upper bound} = \hat{C}_{pm} \sqrt{\frac{\chi_{\alpha/2, v}^2}{v}}$$

where:

Degrees of freedom = $v = kn \left(\frac{(1 + a^2)^2}{1 + 2a^2} \right)$

$a = (\text{mean} - \text{Target}) / \hat{\sigma}_{\text{overall}}$

k = number of samples

n = average sample size

To calculate one-sided confidence interval, replace $\alpha/2$ by α .

Benchmark Z's – Potencial

Z.LSL

Z.USL

Z.Bench

Benchmark Z statistics is computed by finding the Z value using standard normal (0,1) distribution for the corresponding statistics.

$$Z.LSL = \frac{\bar{x} - LSL}{\hat{\sigma}_{\text{within}}}$$

$$Z.USL = \frac{USL - \bar{x}}{\hat{\sigma}_{\text{within}}}$$

$$Z.Bench = \Phi^{-1}(1 - P_1 - P_2)$$

where:

$P_1 = \text{Prob}(X < LSL) = 1 - \Phi(Z.LSL)$

$P_2 = \text{Prob}(X > USL) = 1 - \Phi(Z.USL)$

P_1 and P_2 are based on the normal distribution with parameters, the process mean and the within-subgroup variation.

$\Phi(X)$ = cdf of a standard normal distribution

$\Phi^{-1}(X)$ = Inverse cdf of a standard normal distribution

Benchmark Z's – General

Z.LSL

Z.USL

Z.Bench

Benchmark Z statistics is computed by finding the Z value using standard normal (0,1) distribution for the corresponding statistics.

$$Z.LSL = \frac{\bar{x} - LSL}{\hat{\sigma}_{\text{overall}}}$$

$$Z.USL = \frac{USL - \bar{x}}{\hat{\sigma}_{\text{overall}}}$$

$$Z.Bench = \Phi^{-1}(1 - P_1 - P_2)$$

where:

$P_1 = \text{Prob}(X < LSL) = 1 - \Phi(Z.LSL)$

$P_2 = \text{Prob}(X > USL) = 1 - \Phi(Z.USL)$

P_1 and P_2 are based on the normal distribution with parameters, the process mean and the overall variation.

$\Phi(X)$ = cdf of a standard normal distribution

$\Phi^{-1}(X)$ = Inverse cdf of a standard normal distribution

Desempeño esperado "en subgrupo"

PPM < LSL PPM < LSL is the expected number of parts per million that have measurements less than the lower specification limit and is calculated as,

$$1,000,000(P((Z < (LSL - \bar{x}) / \hat{\sigma}_{within})))$$

The probability is calculated based on a normal distribution with parameters, the process mean and within standard deviation.

PPM > USL PPM > USL is the expected number of parts per million that have measurements greater than the upper specification limit and is calculated as,

$$1,000,000(P((Z > (USL - \bar{x}) / \hat{\sigma}_{within})))$$

The probability is calculated based on a normal distribution with parameters, the process mean and within standard deviation.

PPM Total PPM Total is the expected number of parts per million that have measurements outside the two specification limits. PPM Total equals the sum of PPM < LSL and PPM > USL.

Desempeño esperado "General"

PPM < LSL PPM < LSL is the expected number of parts per million that have measurements less than the lower specification limit and is calculated as,

$$1,000,000(P((Z < (LSL - \bar{x}) / \hat{\sigma}_{overall})))$$

The probability is calculated based on a normal distribution with parameters, the process mean and overall standard deviation.

PPM > USL PPM > USL is the expected number of parts per million that have measurements greater than the upper specification limit and is calculated as,

$$1,000,000(P((Z > (USL - \bar{x}) / \hat{\sigma}_{overall})))$$

The probability is calculated based on a normal distribution with parameters, the process mean and overall standard deviation.

PPM total PPM Total is the expected number of parts per million that have measurements outside the two specification limits. PPM Total equals the sum of PPM < LSL and PPM > USL.

Desempeño observado

PPM < LSL PPM (parts per million) < LSL is the number of parts out of one million that have measurements less than the lower specification limit and is calculated as,

$$1,000,000((\text{number of observations} < LSL) / n)$$

PPM > USL PPM (parts per million) > USL is the number of parts out of one million that have measurements greater than the upper specification limit and is calculated as,

$$1,000,000 ((\text{number of observations} > USL) / n)$$

PPM total PPM Total equals the sum of PPM < LSL and PPM > USL.

Grafico

Charts

Minitab displays I-MR (if $n = 1$), Xbar (if $n > 1$), and R or S chart when using Capability sixpack - Normal. For information on I-MR, Xbar, R, and S chart, see [Methods and Formulas – Variables chart for subgroup](#).

Histogram

The histogram is displayed with two normal curves. The two curves are generated using:

- Black – the process mean and within standard deviation
- Red – the process mean and overall standard deviation

Probability plot The probability plot is displayed when using:

- Capability analysis – Multiple variable (normal) – Within analysis
- Capability sixpack – Normal

For information on probability plots, see [Methods and Formulas – Individual distribution identification](#).

APENDICE C

DOE: Análisis de Contenido de Ceniza (GV) para la Mica (I20060025)

Variable Temperatura (500 a 1100) °C

Variable Tiempo (30 a 180) minutos

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temp	Tiempo	G.V. Mica
1	1	1	1	500	30	0.8850
6	2	1	1	1100	30	0.1480
7	3	1	1	500	180	1.1000
8	4	1	1	1100	180	0.1530
2	5	1	1	1100	30	0.1290
4	6	1	1	1100	180	0.1530
5	7	1	1	500	30	0.8850
3	8	1	1	500	180	1.1000

Primer Análisis:

Factorial Fit: G.V.I20060025 versus Temperatura (°C), tiempo (seg)

Estimated Effects and Coefficients for G.V.I20060025 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.5529	0.02922	18.92	0.000
Temperatura (°C)	-0.8042	-0.4021	0.02922	-13.76	0.000
tiempo (seg)	0.0467	0.0234	0.02922	0.80	0.469
Temperatura (°C)*tiempo (seg)	-0.0222	-0.0111	0.02922	-0.38	0.723

S = 0.0826461 R-Sq = 97.94% R-Sq(adj) = 96.40%

Analysis of Variance for G.V.I20060025 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1.29801	1.29801	0.649004	95.02	0.000
2-Way Interactions	1	0.00099	0.00099	0.000990	0.14	0.723
Residual Error	4	0.02732	0.02732	0.006830		
Pure Error	4	0.02732	0.02732	0.006830		
Total	7	1.32632				

Estimated Coefficients for G.V.I20060025 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1.55095
Temperatura (°C)	-0.00128850
tiempo (seg)	0.00070722
Temperatura (°C)*tiempo (seg)	-4.94444E-07

Ajuste con las variables independientes

Factorial Fit: G.V.I20060025 versus Temperatura (°C), tiempo (seg)

Estimated Effects and Coefficients for G.V.I20060025 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.5529	0.02660	20.78	0.000
Temperatura (°C)	-0.8042	-0.4021	0.02660	-15.12	0.000
tiempo (min)	0.0467	0.0234	0.02660	0.88	0.420

S = 0.0752484 R-Sq = 97.87% R-Sq(adj) = **97.01%**

Analysis of Variance for G.V.I20060025 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1.29801	1.29801	0.649004	114.62	0.000
Residual Error	5	0.02831	0.02831	0.005662		
Lack of Fit	1	0.00099	0.00099	0.000990	0.14	0.723
Pure Error	4	0.02732	0.02732	0.006830		
Total	7	1.32632				

Unusual Observations for G.V.I20060025

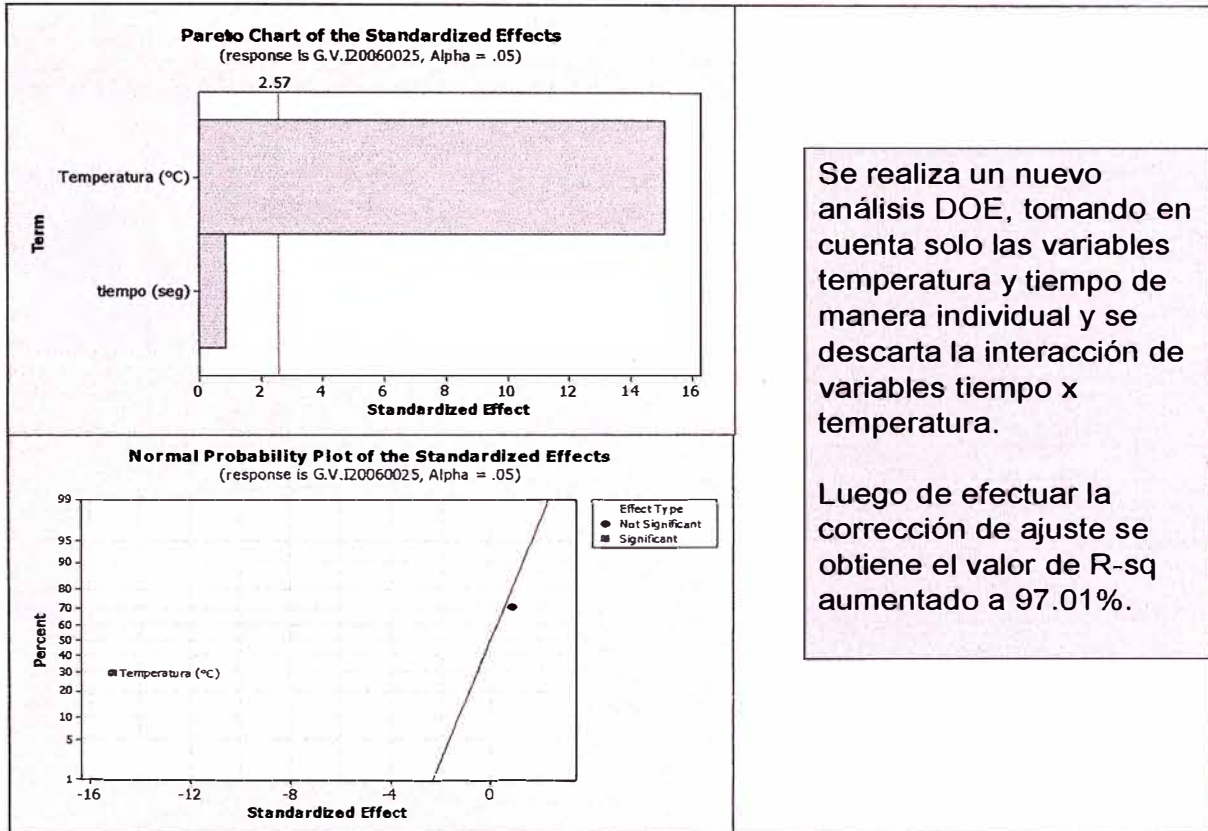
Obs	StdOrder	G.V.I20060025	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	3	1.10000	0.97838	0.04608	0.12163	2.04R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for G.V.I20060025 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1.59248
Temperatura (°C)	-0.00134042
tiempo (seg)	0.000311667

$$GV = 1,59248 - 0.0013404 \cdot \text{temp}(\text{°C}) + 0.00312 \cdot \text{min}$$

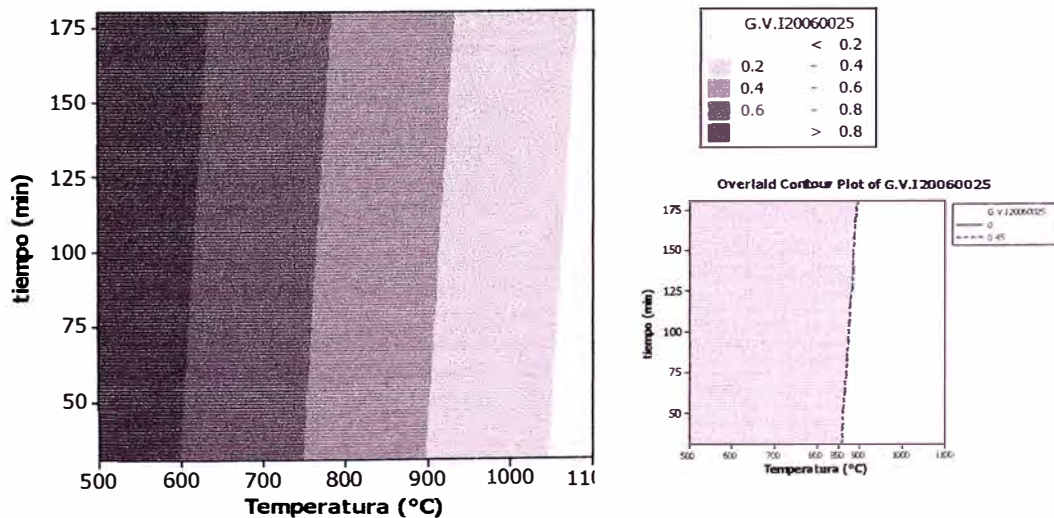


Se realiza un nuevo análisis DOE, tomando en cuenta solo las variables temperatura y tiempo de manera individual y se descarta la interacción de variables tiempo x temperatura.

Luego de efectuar la corrección de ajuste se obtiene el valor de R-sq aumentado a 97.01%.





Stat>DOE>Factorial>Contour/surface




Contour Plot of G.V. de Mica Importada vs tiempo (min), Temperatura (°C)



APENDICE D

3.14. Causas de fallas comunes en la soldadura y cómo subsanarlas

DEFECTO	CAUSA	CORRECCION
Soldadura porosa 	1.- Arco corto, excepto con electrodos inoxidables o de bajo hidrógeno. 2.- Tiempo insuficiente de fusión. 3.- Demasiado amperaje. 4.- Material base sucio. 5.- Revestimiento húmedo. 6.- Avance rápido.	1.- Mantener el arco más largo. 2.- Dé suficiente tiempo a la fusión, para que los gases se escapen. 3.- Amperaje adecuado. 4.- Limpiar bien la superficie. 5.- Secar el electrodo. 6.- Velocidad adecuada al avance.
Penetración y fusión incompleta Defecto: Falta de fusión en los bordes. 	1.- Mucha velocidad de avance. 2.- Electrodo muy grueso. 3.- Amperaje muy bajo. 4.- Preparación defectuosa.	1.- Deje suficiente campo libre en el fondo. 2.- Seleccione el electrodo adecuado. 3.- Use suficiente amperaje para obtener la penetración deseada. 4.- Calcule correctamente la penetración del electrodo. 5.- Corregir velocidad de avance. 6.- Limpiar junta de materias extrañas.
Deformación y distorsiones 	1.- Contracción del metal de soldadura. 2.- Sujeción inadecuada de las piezas. 3.- Preparación defectuosa. 4.- Recalentamiento de la junta.	1.- Suede rápidamente. 2.- Sujete las piezas debidamente. 3.- Martile los bodes antes de la soldadura. 4.- Procure que no quede espacio excesivo entre las piezas. 5.- Haga uso del método adecuado. 6.- Use electrodos de alta velocidad y penetración moderada.
Socavación Defecto: Mandadurán 	1.- Manejo indebido del electrodo. 2.- Empleo de diámetro incorrecto del electrodo. 3.- Amperaje excesivo	1.- Emplee un movimiento uniforme de oscilación en la soldadura a tope. 2.- Evite el empleo de electrodos de diámetros mayores. 3.- Use amperaje adecuado. 4.- Evite soldadura excesiva. 5.- Sostenga el electrodo a una distancia segura del plano vertical al hacer filetes horizontales.

DEFECTO	CAUSA	CORRECCION
Grietas 	1.- Electrodo inadecuado. 2.- Tamaño desproporcionado de la soldadura respecto al espesor de la pieza. 3.- Soldadura defectuosas. 4.- Preparación defectuosa. 5.- Unión rígida.	1.- Para eliminar juntas rígidas, adoptar un diseño de estructura y el método adecuado. 2.- Adapte el diámetro del electrodo al espesor de la pieza. 3.- Evite soldaduras de cordones en serie. 4.- Mantenga los bordes de la junta sin sujeción, el máximo tiempo posible. 5.- Haga soldaduras resistentes de buena fusión. 6.- Caliente las piezas previamente. 7.- Procure que las juntas tengan una separación libre entre planchas, uniforme y adecuada. 8.- Trabaje con el amperaje más bajo posible. 9.- Utilice electrodos de bajo hidrógeno.
Soldaduras quebradizas 	1.- Electrodo inadecuado. 2.- Precalentamiento incorrecto. 3.- Metal endurecido por enfriamiento brusco.	1.- Emplee electrodo de bajo hidrógeno para aumentar la ductilidad de la soldadura. 2.- Precaliente a una temperatura de 149-260°C, si está soldando acero al medio carbono. 3.- Haga un tratamiento térmico después de la soldadura. 4.- Haga soldaduras de capas múltiples.
Salpicaduras y chisporroteo 	1.- Desviación del arco. 2.- Amperaje demasiado alto. 3.- Arco demasiado largo. 4.- Electrodo defectuoso.	1.- Asegúrese de una buena conexión de la grampa a tierra. 2.- Ajuste el amperaje según necesidad. 3.- Ajuste el arco a la longitud adecuada. 4.- Emplee el electrodo adecuado. 5.- Emplee polaridad adecuada. 6.- Secue el metal base.



CORRECCION

CAUSA

DEFECTO

<p>Soplo magnético del arco</p>  <p>(A) Efecto del soplo magnético</p>	<p>1.- Los campos magnéticos causan la desviación del arco fuera de su curso.</p>	<p>Utilice bloques de acero para cambiar el flujo magnético alrededor del arco.</p> <ol style="list-style-type: none"> Divida la masa en partes. Sudele en la misma dirección del soplo del arco. Emplee arco corto. Cobque debidamente la conexión a la polaridad. Emplee electrodos adecuados (CA). Gradúe la corriente en forma adecuada. Limpie la pieza perfectamente (cepillo metálico). Las conexiones deben estar completamente limpias. Limpie el extremo del electrodo. Emplee Arco Mediano. Obtenga un charco amplio de metal fundido. Emplee la corriente y velocidad recomendadas. Remover todo resto de escoria del cordón antes de aplicar el siguiente.
<p>Arco difícil de iniciar</p>	<ol style="list-style-type: none"> Corriente demasiado baja. Pieza sucia. Mala conexión a tierra. Acumulación de revestimiento en extremo del electrodo. 	<ol style="list-style-type: none"> Gradúe la corriente en forma adecuada. Limpie la pieza perfectamente (cepillo metálico). Las conexiones deben estar completamente limpias. Limpie el extremo del electrodo.
<p>Inclusiones de escoria</p> 	<ol style="list-style-type: none"> Arco demasiado corto. Inadecuada manipulación del electrodo. Corriente demasiado baja. Deficiente limpieza de cada cordón. 	<ol style="list-style-type: none"> Emplee Arco Mediano. Obtenga un charco amplio de metal fundido. Emplee la corriente y velocidad recomendadas. Remover todo resto de escoria del cordón antes de aplicar el siguiente.
<p>Mala apariencia</p> 	<ol style="list-style-type: none"> Electrodo de mala calidad. Inapropiado uso del electrodo. Sobre calentamiento. Arco alto; amperaje y voltaje elevados. 	<ol style="list-style-type: none"> Emplear electrodos garantizados. Emplear técnica recomendada. Evitar el sobre calentamiento. Emplear altura correcta del arco amperajes y voltajes adecuados los recomendados por el fabricante.
<p>Soldadura con tensiones residuales</p> 	<ol style="list-style-type: none"> Soldadura incorrecta. Secuencia incorrecta. Junta demasiado rígida. 	<ol style="list-style-type: none"> Emplear movimientos uniformes. Permitir una pequeña luz a la junta tanto como sea posible. Emplear el menor número de pases que sea posible. Martillar los depósitos.



3.15. Defectos que pueden comprometer la resistencia de la unión

Socavaciones:
 Cuando son excesivas, comprometen la resistencia de las juntas soldadas: cuando son leves, son consideradas como defecto de aspecto.

Porosidades:
 Una porosidad aunque leve, ya es un defecto inconveniente. Cuando la porosidad es numerosa, tiende a comprometer la resistencia de la estructura.

Fusión deficiente:
 Defecto que compromete gravemente la resistencia.

Mala penetración:
 Compromete seriamente la resistencia de la junta.

Escoriaciones:
 Cuando son graves, comprometen la resistencia en forma muy seria. Las escoriaciones aunque leves desmejoran el aspecto.

Grietas:
 Tienden a comprometer la resistencia. Son el enemigo número UNO de las juntas soldadas.

3.16. Símbolos de soldadura - Sus aplicaciones

La soldadura es un proceso o método de fabricación mecánica y requiere, por lo tanto, de medios para comunicar al soldador, de parte del diseñador, el tipo de soldadura a emplear.

Para lograr esa comunicación, se ha preparado un sistema de símbolos de los tipos de soldadura, que sirve para indicar en los dibujos o planos de taller las soldaduras requeridas.

Los símbolos e instrucciones que presentamos en esta lección han sido recomendados por la American Welding Society- AWS (Sociedad Americana de Soldadura) para uso industrial.

Debido al reducido espacio en este Manual, sólo indicamos los símbolos e informaciones que pueden aplicarse directamente para la soldadura eléctrica por arco.

Dichos símbolos son ideográficos, es decir ilustran el tipo de soldadura requerido; pueden ser combinados para indicar cómo deben construirse las uniones de soldadura múltiples.

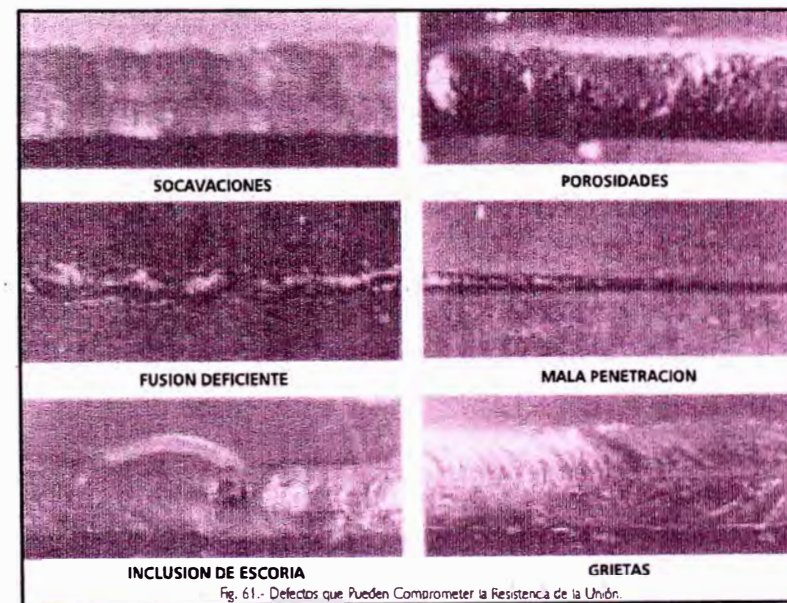


Fig. 61.- Defectos que Pueden Comprometer la Resistencia de la Unión.

Mediante estos símbolos es posible determinar:

- La ubicación de la soldadura.
- El tamaño de la soldadura (espesor útil del cordón, su longitud, separaciones).
- Tipo de soldadura (forma de la soldaduras, preparación de la pieza y separación).
- Informaciones especiales referentes a las especificaciones individuales de cada soldadura.

Los carburos de cromo presentes en el metal recocido originan un empobrecimiento de cromo en la masa. lo que reduce la resistencia a la corrosión.

Los aceros al cromo con más de 0,20% de carbono originan un empobrecimiento de cromo en la masa. lo que reduce la resistencia a la corrosión.

Los aceros al cromo endurecibles de este tipo encuentran amplio uso, gracias a su excelente capacidad de resistencia al desgaste, la oxidación y la corrosión. Dichos aceros son especialmente aplicables para servicio a temperaturas elevadas, gracias a que mantienen su resistencia a la tracción y su límite de fluencia a temperaturas moderadamente elevadas. Para mejorar las propiedades mecánicas de estas aleaciones se puede adicionar molibdeno. La selección correcta de un acero al cromo es dictada por la

temperatura operativa y la condición corrosiva a que el acero está expuesto.

Los aceros con bajos contenidos de cromo (10-14%) se emplean ampliamente en:

- Destiladores en Refinerías de Petróleo, tubos aleados al cromo, pistones, varillas de bombeo, árboles de bomba, etc.

Los aceros inoxidables martensíticos combinan buenas propiedades mecánicas con excelente resistencia a la corrosión, haciéndolos especialmente adecuados para aplicaciones tales como:

- Alábes de turbina y revestimiento de asiento de válvulas.

7.5.1. Aceros inoxidables al cromo martensíticos

AISI	SAE	C	Mn máx.	Si máx.	Cr	Ni	P máx.	S máx.	Otros
403*		0.015 máx.	1.00	0.50	11.5-13.0		0.04	0.03	
410	51410	0.15 máx.	1.00	1.00	11.5-13.5		0.04	0.03	
414	51414	0.15 máx.	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.5	0.04	0.03	
416 416Se		0.15 máx. 0.15 máx.	1.25 1.25	1.00 1.00	12.0-14.0 12.0-14.0		0.06 0.06	0.15 mín. 0.06	Mo-0.60 máx. Se-0.15 mín. Zr-0.60 máx.
418**		0.15 máx.	2.00	1.00	12.0-14.0		0.045	0.03	
420	51420	0.15 (o más)	1.00	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	
420F**	51420F	0.30-0.40	2.00	1.00	12.0-14.0		0.20	0.15 mín.	
422**		0.22	0.65	0.36	12.00	0.70			Mo-1.00 W-1.00 V-0.25
422M		0.28	0.84	0.25	12.00	0.20			Mo-2.25 W-1.70 V-0.50
431	51431	0.20 máx.	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.5	0.04	0.03	
436**		0.15			13.00	2.00			W-3.00
440A	51440A	0.6-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo-0.75 máx.
440B	51440B	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo-0.75
400C	51440C	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	Mo-0.75
440F**	51440F	0.95-1.20	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06 máx.	0.15 mín.	Mo-Zr-0.75 máx.
501	51501	0.10 (o más)	1.00	1.00	4.0-6.0		0.04	0.03	Mo-0.40-0.65
502		0.10 máx.	1.00	1.00	4.0-6.0		0.04	0.03	Mo-0.40-0.65

* Calidad Turbina

** No es AISI Standard

7.5.2. Soldabilidad de los aceros inoxidables martensíticos

7.5.2.1. Problemas de tipo físico

- **Coefficiente de dilatación.**- Al igual que los aceros inoxidables ferríticos, los aceros martensíticos tiene un coeficiente de dilatación del mismo valor o algo inferior al de los aceros comunes.
- **La conductividad térmica.**- es similar a la de los aceros ferríticos.

• **Resistencia eléctrica.**- Los aceros inoxidables martensíticos tienen una resistencia eléctrica muy superior a la de los aceros comunes (de 6 a 8 veces).

• **Magnetismo.**- En contraste con los aceros inoxidables austeníticos, los aceros martensíticos son magnéticos y están sujetos al soplo del arco como los aceros al carbono.

7.5.2.2. Problemas de tipo metalúrgico y procedimiento desoldadura.

Desde el punto de vista de la soldadura, los aceros resistentes al calor con bajo contenido de cromo, así como

los aceros inoxidables martensíticos con alto contenido de cromo pueden considerarse como una sola familia. Independiente de la condición estructural, todos tienden a endurecerse durante la soldadura, porque estos aceros poseen pronunciadas propiedades de endurecimiento al aire y, además, se encuentran generalmente en estado endurecido: esto significa que tienen baja ductilidad.

Al aplicar calor repentinamente a un área localizada como sucede en la soldadura por arco, y luego enfriar esta área rápidamente, pueden ocurrir rajaduras. El área calentada se contrae difícilmente por el enfriamiento y la falta de ductilidad en el metal adyacente no puede soportar la tensión de contracción. Por lo tanto, los aceros martensíticos no son tan apropiados para soldarlos.

Los aceros con un contenido de carbono hasta 0,2% deben precalentarse entre 300 y 400°C. De esta manera se disminuye la diferencia de temperatura entre el metal base y el metal de aporte, reduciéndose en consecuencia las tensiones de contracción. A la vez, el precalentamiento reduce también la susceptibilidad al entallado.

El soldador puede disminuir aún más un posible agrietamiento, usando juntas en doble V.

Inmediatamente después de haberlos soldado, hay que darles un tratamiento térmico de alivio de tensiones y según los casos, habrá que hacer un nuevo templado. En el caso específico de los aceros al cromo con un contenido de más de 0,25% de carbono, la soldadura no es recomendable.

7.6. Selección del electrodo más adecuado para el trabajo

Los electrodos OERLIKON para aceros inoxidables corresponden a la clasificación del acero inoxidable al que se destinan, o sea que un tipo de acero inoxidable AISI 347 debe soldarse con el electrodo CLASE AWS E 347-16 (INOX AW + Cb).

Asimismo cabe aclarar que, si bien es cierto que se ha fabricado prácticamente un determinado tipo de electro-

dos para cada tipo de acero inoxidable, los aceros inoxidables tipo 301, 302, 303, 304 y 308 se sueldan todos con el electrodo E 308L-16, en vista de que todos estos aceros están comprendidos bajo el tipo 18/8.

Como reglas básicas en la selección del electrodo para soldar acero inoxidable se indica lo siguiente:

- Asegurarse que el electrodo deposite un material de análisis químico similar al del metal base.
- Por principio no es correcto, que los electrodos de mayor resistencia puedan reemplazar a los electrodos de menor resistencia.
- No siempre es posible emplear un electrodo estabilizado, si el acero no es estabilizado.
- En igual forma que el anterior caso, tampoco se puede soldar en todos los casos un acero inoxidable tipo Cr Ni con un electrodo Cr Ni Mo. En presencia de ciertos medios, un material depositado con contenido de Mo puede sufrir una corrosión más rápida que un material libre de Mo.

Esta norma no es estricta en algunos casos, porque un electrodo de mayor contenido de cromo y níquel puede ser empleado para un acero que tenga menor porcentaje de cromo y níquel. Tal es el caso del electrodo INOX CW, que pertenece a la clasificación: AWS E 310-16 y que contiene 25% de cromo y 20% de níquel, pudiéndose emplear para aceros inoxidables de menor contenido de cromo y níquel.

Estas reglas básicas deben cumplirse estrictamente, no debiendo emplearse por ningún motivo un electrodo de menor contenido de cromo y níquel en el caso de aceros con un mayor contenido de estos elementos. Asimismo, emplear un electrodo de mayor contenido de carbono para un acero inoxidable L o ELC (de bajo carbono) no es recomendable, porque puede ocasionar precipitación de carburos.

7.6.1. Casos especiales de aplicación de electrodos inoxidables OERLIKON

Aplicación	Electrodo Apropriado
- Soldar una pieza de acero inoxidable con otra de acero al carbono.	INOX 29/9, EXSA 106 INOX CW, INOX 309 ELC
- Soldar piezas de acero al manganeso.	INOX AW CITORIEL 801
- Soldar acero de herramientas, aceros de mediano y alto contenido de carbono.	INOX 29/9 EXSA 106
- Soldar hierro fundido con acero inoxidable.	OTOFONTE-EXSA NIQUELFe
- Soldar aceros de aleación desconocida.	INOX 29/9, EXSA 106 INOX CW
- Soldar cualquier acero inoxidable, excepto los aceros de bajo contenido de carbono.	INOX CW
- Aceros en general	INOX 29/9, EXSA 106

- Cojin para revestimientos duros.	INOX AW INOX 309 ELC
- Piezas sometidas a temperaturas elevadas.	INOX CW INOX 309 ELC
- Soldar aceros al cromo molibdeno.	CHROMOCORD 502
- Soldar aceros de bajo carbono con aceros de baja aleación.	INOX 309 ELC
- Soldar aceros de alta resistencia con aceros al manganeso.	INOX AW
- Cojin para recubrimientos muy duros en aceros para herramientas de corte.	INOX 29/9 EXSA 106
- Como recubrimiento protector en aceros de mediano carbono (Soldadura de ejes)	INOX BW ELC

7.6.2. Electrodo OERLIKON para la soldadura de los aceros inoxidables

Ace Electrodo Tipo AISI	Denominación DIN	Número de Material DIN	Electrodo OERLIKON
202	X 8 CrMnNi 18 9	1.4371	INOX AW
301	X 12 CrNi 17 7	1.4310	INOX AW
302	X 12 CrNi 18 8	1.4300	INOX AW
303	X 12 CrNiSi 18 8	1.4305	No apropiado para ser soldado
303 Se			
304	X 5 CrNi 18 9	1.4301	INOX AW
304 L	X 2 CrNi 18 9	1.4306	INOX AW
305			INOX 309 ELC
308			INOX AW
309	X 15 CrNiSi 20 12	1.4828	INOX 309 ELC
309 S			INOX 309 ELC
310	X 15CrNiSi 25 20	1.4841	INOX CW
310 S			INOX CW
314 ~	X 15CrNiSi 25 20	1.4841	INOX CW
316	X 5 CrNiMo 18 10	1.4401	INOX BW ELC
316 L	X 2 CrNiMo 18 10	1.4404	INOX BW ELC
317	X 5 CrNiMo 17 13	1.4449 ~	INOX BW ELC
321	X 10 CrNiTi 18 9	1.4541	INOX AW+Cb
322			INOX BW ELC
347	X 10 CrNiNb 18 9	1.4550	INOX AW+Cb
348			INOX AW+Cb
405	X 7 CrAl 13	1.4002	INOX A+Cb
430	X 8 Cr 17	1.4016	INOX AW
403	X Cr 13	1.400	CITOCROM 134
410	X 10Cr 13	1.4006	CITOCROM 134
414			CITOCROM 134
420	X 20Cr 13	1.4021	CITOCROM 134
431	X 32CrNi 17	1.4057	INOX AW+Cb INOX AW
501	X 10CrAl 7	1.4713	INOX 25-4*
502	X 10CrAl 7	1.4713	INOX 25-4*

Mayores informes sobre cada tipo de electrodo en el catálogo OERLIKON.

* Electrodo a fabricar bajo pedido

7.6.3. Características de los electrodos inoxidables OERLIKON

ELECTRODO	CLASE AWS	APLICACION	PROPIEDADES DEL DEPOSITO DE SOLDADURA
INOX AW	E 308-16L	Electrodo Austenítico que deposita cordones planos y lisos de muy buen acabado. Resistente hasta 300°C de temperatura de trabajo.	Reconstrucción de matrices y bordes de cucharones de draga. Base de recubrimiento protector. Unión de aceros inoxidables del grupo 18/8 y 19/9.
INOX AW + Cb	E 347-16	Depósitos de gran resistencia a la oxidación en la intemperie y bajo gases oxidantes de combustión hasta 800°C. Buena resistencia a la corrosión inter-cristalina gracias a la presencia de columbio.	Para la construcción y reparación de equipos en hospitales, lecherías, cervecerías y en la industria alimenticia en general. Soldadura de piezas de intercambiadores de calor, partes de motor a reacción.
INOX BW	E 316-16	Depósito de gran resistencia a la corrosión y oxidación. El depósito de éstos electrodos contiene Mo lo cual disminuye la tendencia a la precipitación de carburos, resistente a la desintegración inter-cristalina hasta 300°C.	Ideal para soldar aceros 18/12 Mo para unión o recubrimiento de aceros que trabajan en medios corrosivos reductores. Fabricación y mantenimiento de turbinas, bombas, tanques. En la industria química, textil etc.
INOX BW ELC	E 316L-16	Los depósitos de este electrodo presentan una excelente resistencia a la corrosión inter-granular gracias al bajo contenido de carbono y la presencia de Mo.	Soldadura de aceros 18 Cr-12 Ni-2.5 Mo ELC, excelente frente al ataque corrosivo intenso y a la corrosión por picadura (pitting), piezas sujetas al ataque de sales o ataques de ácido en la industria química.
CITORIEL 901	E 307-16	Electrodo austenítico, cuyo depósito se endurece con el trabajo. Posee extraordinaria tenacidad y gran resistencia a la fricción metálica. Soporta altas temperaturas de servicio sobre los 800°C.	Ideal para lograr juntas de alta resistencia, sanas y homogéneas exentas de agrietamientos, en aceros al carbono de grandes espesores, aún en extremas condiciones de rigidez. Para soldar diversos tipos de aceros inoxidables. (AISI 2XX, 3XX, 4XX, 5XX). Para rellenar y soldar piezas de acero al manganeso, partes desgastadas vías férreas, partes de molinos y pulverizadores, etc.
INOX 309	E 309-16	Electrodo con depósito de alto contenido de elementos de aleación. Excelente para soldar en posición vertical ascendente.	Soldadura de aceros al carbono con acero inoxidable. Tanques para soda cáustica, revestimiento de torres de cracking, extractores de vapor ácido.
INOX 309 ELC	E 309L-16	Electrodo que da un depósito del tipo austeno-ferrítico que lo hace insensible a la fisuración en caliente. Su bajo porcentaje de ferrita disminuye los riesgos de fragilización por fase sigma.	Apropiado para soldar elementos de acero dulce o tanques cerveceros de acero inoxidable. Tanques de tratamiento térmico con para conducción de fluidos corrosivos.
CHROMOCORD 502	E 502-16	Electrodo de elevada resistencia a la fluencia hasta 650°C. Excelente resistencia a la oxidación en caliente. Adecuado electrodo para las primeras capas de raíz en aceros al Cr-Mo.	Se usa en equipos y tuberías de refinería de petróleo. Para tuberías de vapor de alta temperatura y presión. Para soldar aceros al Cr-Mo.
INOX 29/9	E 312-16	Su alto contenido de ferrita en el depósito de este tipo de electrodo lo hace totalmente insensible a la fisuración en caliente y permite mantener su estructura mínima aún en los casos de excesiva dilución con el metal base. El metal	Soldadura de aceros de pobre soldabilidad en trabajos de mantenimiento cuando se desconocen sus composiciones químicas. También se usa en aceros templables cuando no es posible precalentar.