

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



**“PROPUESTA PARA LA  
IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE  
SOLDADURA POR ROBOT EN UNA  
EMPRESA METALMECANICA  
PERUANA”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO MECANICO**

**RICARDO TITO PASCO RIVERA**

**PROMOCION 1983-II**

**LIMA-PERU**

**2006**

**Dedicatoria:**

**A Dios por  
su inmensa Misericordia  
y Bondad**

**A mi Madre  
por su continuo  
y tenaz apoyo**

**A Jorge Villalba  
por su ejemplo  
de vida**

**A Roberto Zoia  
por ser mí Maestro  
en la profesión de  
la Ingeniería**

**PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE  
SOLDADURA POR ROBOT EN UNA EMPRESA METAL MECANICA  
PERUANA**

**I N D I C E**

**PROLOGO**

**CAPITULO I**

**INTRODUCCION..... 4**

**CAPITULO II**

**MARCO DE REFERENCIA Y FASES DEL PROYECTO**

<b>2.1</b>	<b>Presentación de la empresa .....</b>	<b>7</b>
2.1.1	Productos de la empresa	
2.1.1.1	Mercado de Maquinarias para la Minería.....	9
2.1.1.2	Mercado de Maquinaria para la industria Pesquera .....	11
2.1.1.3	Mercado de Maquinaria para la Industria Azucarera y agroindustria.....	11
2.1.2	Infraestructura .....	12
2.2	Alcance del Proyecto .....	16
2.3	Ciclo de vida del Proyecto.....	32
2.4	Fases del Proyecto .....	38
2.5	Involucrados en el Proyecto .....	39

2.6	Influencias Organizacionales .....	40
2.7	Influencias Sociales, Económicas y Ambientales .....	42

### **CAPITULO III**

#### **NUCLEO DEL NEGOCIO Y PROCESOS DE SOLDADURA DE LA EMPRESA**

3.1	Núcleo del Negocio (Core Business) .....	44
3.2	Procesos de Soldadura .....	46
3.3	El Proceso de Soldadura MIG/MAG .....	74
3.4	Productividad en el Proceso de Soldadura.....	112
3.5	Parámetros de Soldadura .....	115

### **CAPITULO IV**

#### **ESTUDIO DE PIEZAS SOLDADAS**

4.1	Dimensiones de las piezas y frecuencia de utilización de las piezas Soldadas .....	120
4.2	Forma de las piezas.....	121
4.3	Tipos de Juntas .....	121
4.4	Determinación del Universo de piezas soldadas en la Empresa.....	122

### **CAPITULO V**

#### **SELECCIÓN DEL ROBOT DE SOLDADURA**

5.1	El Robot.....	132
5.2	Robótica Industrial.....	133

5.3	Campos de Aplicación .....	149
5.4	Características de los Robots de Soldadura .....	151
5.5	Programación de los Robots.....	161
5.6	Rango de Operación del Robot.....	165
5.7	Accesorios y Parámetros.....	165
5.7.1	Accesorios.....	165
5.7.2	Parámetros .....	166
5.8	Lenguaje de Programación.....	166
5.9	Lenguaje del Robot FIMIA.....	167
5.9.1	Características Geométricas y de Software.....	167
5.9.2	Características de Soldadura.....	168
5.9.3	Accesorios.....	168
5.10	Solicitud de Cotizaciones.....	169
5.10.1	Lista de Proveedores.....	169
5.11	Evaluación de Cotizaciones.....	170
5.11.1	Evaluación Técnica de Proveedores.....	170
5.11.2	Evaluación Económica.....	172
5.11.3	Evaluación Financiera.....	176
5.12	Evaluación Final.....	177

## **CAPITULO VI**

**CAPACITACION, INSTALACION, ACTIVIDADES PREPARATORIAS,  
POTENCIAL HUMANO, ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD,  
EVALUACION DE RIESGOS.**

6.1	Capacitación	
6.1.1	Capacitación Previa del Personal.....	178
6.1.2	Capacitación en el Área de Trabajo.....	179
6.1.3	Presupuesto de Capacitación.....	179
6.2	Preparación	
6.2.1	Layout.....	180
6.2.2	Cimentación.....	181
6.2.3	Instalaciones Eléctricas.....	181
6.2.4	Instalaciones de Aire Comprimido.....	181
6.2.5	Instalaciones de Iluminación.....	181
6.2.6	Sistema de Seguridad.....	182
6.2.7	Utillaje.....	182
6.2.8	Presupuesto de preparación.....	182
6.3	Instalación y Puesta a Prueba del Robot FIMA	
6.3.1	Recepción y Desaduanaje.....	183
6.3.2	Instalación.....	184
6.3.3	Prueba en Vacío.....	185
6.3.4	Puesta en Marcha.....	185
6.3.5	Cierre del Proyecto.....	187
6.4	Aseguramiento de Calidad del Proyecto.....	187
6.5	Potencial Humano para el Proyecto	
6.5.1	El Equipo de Trabajo.....	187
6.5.2	Asignación de Roles.....	188
6.5.3	Competencias del Personal.....	191
6.5.4	Cronograma de utilización del Personal.....	192

6.6	Las Comunicaciones en el Proyecto	
6.6.1	Planeamiento de las Comunicaciones.....	194
6.6.2	Distribución de la Información.....	195
6.6.3	Reporte de Performance.....	196
6.7	Identificación del Riesgo del Proyecto	
6.7.1	Evaluación Cualitativa del Riesgo del Proyecto.....	197
6.7.2	Planificación de Respuesta al Riesgo .....	197
6.8	Planificación de las Actividades del Proyecto	
6.8.1	Cronograma.....	199

## **CAPITULO VII**

### **EVALUACION DE COSTOS**

7.1	Estimación de Costos.....	205
7.2	Asignación de Costos.....	207
7.3	Control de Costos.....	208

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXOS**

## PROLOGO

El presente informe surge como una necesidad de una empresa peruana para buscar nuevas formas de ganar ventajas competitivas haciendo las cosas de una manera diferente e introduciendo nuevas tecnologías; de allí que el presente trabajo pretende establecer pautas y criterios generales para que a partir del empleo de una metodología de ejecución de Proyectos se aplique a una implementación de un sistema de soldadura por Robot.

En el Capítulo I se hace una introducción al informe sobre aspecto metodológico y la motivación que mueve a tratar el presente tema, así como la necesidad que tenemos los profesionales de la Ingeniería en contribuir con el desarrollo del País, la sociedad y la Ingeniería peruana, en realidad es una invitación a afrontar el camino de la competitividad en un mundo globalizado.

En el Capítulo II se presenta la empresa, el marco referencial en el cual se desenvuelve, el entorno empresarial sus influencias, el alcance del proyecto incluyendo sus fases, se explica la Gerencia del proyecto, sus aspectos metodológicos y recomendaciones de otras instituciones como la AWS y otras; el ciclo de vida del proyecto y sus influencias organizacionales, sociales y ambientales.

En el Capítulo III se trata el core business (núcleo del negocio) de la empresa, los procesos de soldadura en general y los procesos de soldadura en la empresa, los más empleados su evolución y tendencias en la empresa. Se da énfasis al proceso MIG MAG que son los que son de utilización más difundida en las aplicaciones robóticas de soldadura. Se trata también temas relacionados a la productividad del proceso de soldadura, parámetros de soldadura

En el Capítulo IV con la finalidad de determinar el universo de piezas soldadas que serían captadas por el sistema de soldadura por robot se hace un estudio de las piezas soldadas en FIMA desde los aspectos dimensionales, formas, frecuencia en un periodo de tiempo, tipos de juntas; también se vierten conceptos importantes para la standardización de la manufactura que juega un papel importante en la racionalización de costos de fabricación.

En el Capítulo V se trata la selección del robot bajo consideraciones de diseño de las piezas soldadas, requerimientos de la producción, ambiente de fabricación; también se mencionan aspectos inherentes al robot, robótica, configuraciones, campos de aplicación, características del robot de soldadura, programación. Con los aspectos mencionados se determina un rango de operación, accesorios, parámetros; se solicitan cotizaciones, se evalúan técnica

y económicamente para confirmar su viabilidad; también se incluye una evaluación financiera desde el punto de vista de la adquisición.

En el Capítulo VI se tratan aspectos relacionados a la capacitación del personal estimaciones presupuestales, las actividades preparatorias para la recepción e instalación del robot, Lay out, utillaje. Asimismo se trata la Instalación y puesta a prueba del robot, cierre del proyecto. En los aspectos de del Potencial humano se considera el equipo de trabajo, asignación de roles, competencias y cronograma de utilización del personal. En el aspecto de las comunicaciones en el proyecto se presenta un flow sheet (diagrama de flujo) de las comunicaciones del proyecto y un reporte de performances. Se efectúa una evaluación de riesgos del proyecto, identificándolos, planteando respuestas al riesgo y evaluándolos cuantitativa finalmente se culmina con un Diagrama de GANTT de las actividades del proyecto.

En el Capítulo VII se efectúa la evaluación de Costos en base a estimaciones, asignación de costos y controles de costos; es importante mencionar que ésta información es tomada para el análisis económico realizado en el Capítulo V.

Las conclusiones y recomendaciones planteadas estimo son una invitación a mis colegas, la comunidad universitaria y a todo profesional a prepararnos para efectuar la carrera por la competitividad en el mundo globalizado.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

La empresa Metal Mecánica FIMA, fabricante de Maquinari y Equipos para la Industria Minera, Pesquera, Azucarera e Industria en general, la cual cuenta con el apoyo tecnológico de empresas líderes mundiales en la fabricación de los equipos mencionados, dentro de las estrategias de operaciones, su afán de incrementar sus ventajas competitivas y elevar la productividad en la sección soldadura ha decidido la implementación de un sistema de soldadura automatizada por Robot.

Se ha encargado a un grupo de proyecto formado por miembros de la organización la ejecución del proyecto implementación de un sistema de soldadura automatizada con la aplicación de un Robot para la industria metalmecánica. El presente trabajo será realizado de acuerdo a la metodología del PMBOK (Project Management Body of Knowledge); que es la metodología básica en el desarrollo y ejecución de proyectos utilizada en las empresas e instituciones a nivel internacional; y usado por el Project Management Institute

(Instituto de Gerencia de Proyectos). Es importante notar que muchos de los procesos dentro de la gerencia de proyectos son iterativos por naturaleza, debido fundamentalmente a la existencia y a la necesidad de la elaboración progresiva en un proyecto a través del ciclo de vida.

Se ha previsto un ciclo del proyecto de 12 meses, considerando desde su inicio hasta la puesta en marcha con un periodo de prueba que asegure una operación normal del Robot.

El presente trabajo tiene motivaciones del tipo:

Personal: El deseo de contribuir como persona con el desarrollo de nuestro país, buscando nuevas formas de hacer las cosas e innovando con la incorporación de nuevas tecnologías que permitan encontrar nuevas ventajas competitivas.

Profesional: Como profesional en la Ingeniería me embarga el deseo de aportar con ésta modesta contribución al compromiso que tenemos como protagonistas del desarrollo de nuestro País; en el caso presente de buscar nuevas formas de aplicaciones de la Tecnología e insertarlas en la Industria y establecer las pautas para futuras aplicaciones y encuentren en éste trabajo sólo una de las múltiples alternativas en el camino de la competitividad. La aplicación de

conceptos vertidos en el presente trabajo resultado de la experiencia acumulada y que estoy seguro serán de mucha utilidad para los técnicos o profesionales que tomen lectura del presente trabajo.

Económicas – Técnicas: La búsqueda de una alternativa para competir en el mundo globalizado y que nos permita competir en términos de ventajas técnico económicas, con la rapidez y flexibilidad que exige el mercado

## **CAPITULO II**

### **MARCO DE REFERENCIA Y FASES DEL PROYECTO**

El presente trabajo se realizará en las instalaciones de la empresa metal mecánica FIMA S. A.

#### **2.1 Presentación de la empresa**

Año 1969, Joy Manufacturing Company, la renombrada casa de fabricación de maquinarias norteamericanas, una de cuyas principales líneas de equipos lleva la marca Denver, decide liquidar sus operaciones en el Perú. Como consecuencia de dicha operación, los activos de Denver Equipment Co. (PERÚ) S.A., son adquiridos por Fabricación Industrial de Maquinarias S.A.

Durante la década de los setenta, Fabricación Industrial de Maquinarias S.A. logró constituirse como el principal proveedor de equipos y repuestos para la pequeña y gran minería en el Perú. La firma ha

suministrado maquinarias a casi la totalidad de empresas mineras del Perú y Bolivia.

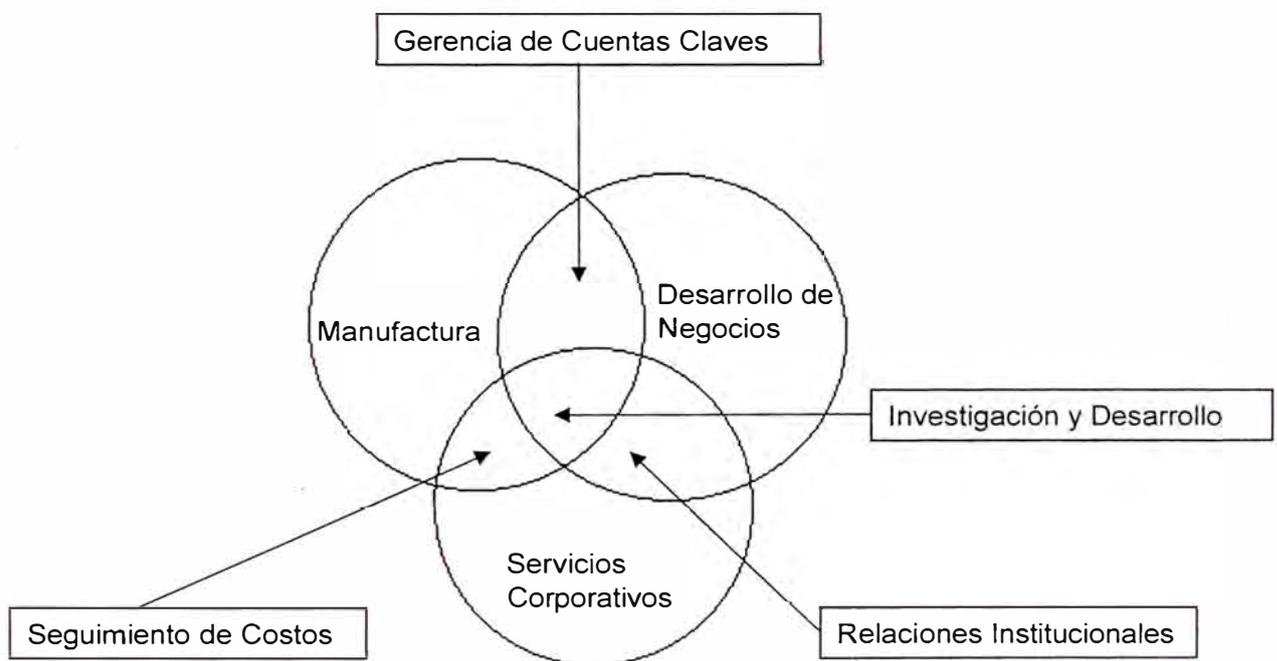
El 01 de diciembre de 1993, se constituye FIMA S.A., como una razón social independiente, creada por fusión de Fabricación Industrial de Maquinarias y JMC (empresa que se mantenía inactiva desde 1984).

En 1991, FIMA incursiona en la fabricación de equipos para la pesca, un sector que se caracterizaba, por contar con tecnología y equipos antiguos. Los resultados en este mercado han sido alentadores, pues la empresa ha logrado un excelente posicionamiento en el sector pesquero.

FIMA, cuenta con tecnología propia, en los ramos de fabricación de maquinaria para minería y pesca. Dicha tecnología ha sido complementada a través de licencias de marcas y diseños de prestigiosas firmas internacionales, actualmente se ha formado Alianzas estratégicas con: Metso Minerals, Atlas Stord, ESCO PERU (Heflin Steel), KOCKS / KI, KCA (Capees, Cassidy & Associates), ESMETAL (EDYCE) que le han permitido mantener una posición de liderazgo con una versatilidad de oferta de productos y de esta manera atender a diversos sectores económicos del Perú.

## Estructura Organizativa

La estructura organizativa esta basada en los procesos lo cual permite una mayor coordinación entre las tres áreas claves del negocio: manufactura, desarrollo de negocios y servicios corporativos, lo cual se muestra en el siguiente cuadro:



### 2.1.1 Productos de la empresa

**2.1.1.1 Mercado de Maquinarias para la Minería.-** El territorio peruano cuenta con una gran diversidad y abundancia de recursos minerales, tales como cobre, oro, plata, zinc, plomo y hierro. En términos de volumen el Perú, es el segundo productor

de zinc, el séptimo productor de cobre y el tercer productor de plata en el mundo.

Es en este sector que FIMA, ofrece una amplia gama de productos para la pequeña, la mediana y la gran minería. Los equipos ofrecidos por FIMA al sector minero pueden clasificarse por tipo de actividad, en equipos de extracción, equipos de concentración y equipos de manipuleo. El listado por línea de productos se muestra a continuación:

Equipos Producidos por FIMA: Sector Minero
<p><u>Actividad Extractiva</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carros mineros</li> <li>• Winches de arrastre e izaje con motores eléctricos o neumáticos.</li> <li>• Palas cargadoras.</li> <li>• Jaulas mineras</li> <li>• Ventiladores</li> <li>• Otros.</li> </ul>
<p><u>Concentración de mineral</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas de flotación</li> <li>• Plantas gravimétricas</li> <li>• Plantas de cianuración – lavado – precipitación</li> <li>• Plantas de chancado</li> <li>• Equipos de trituración, molienda y clasificación</li> <li>• Equipos de flotación, bombeo y agitación</li> <li>• Equipos de espesamiento y filtrado</li> <li>• Otros</li> </ul>
<p><u>Actividad de Manipuleo</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transportadores y alimentadores de faja</li> </ul>

### 2.1.1.2 Mercado de Maquinarias para la Industria Pesquera

A continuación aparecen listados los equipos que la empresa comercializa en el sector pesquero.

Equipos producidos por FIMA: Sector Pesquero
--

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><i>Plantas completas de harina de pescado</i></b></li> <li>• <b><i>Plantas de agua de cola</i></b></li> <li>• Sistemas de desaguado, cocción, secado</li> <li>• Sistemas de transporte neumático</li> <li>• Sistemas de enfriamiento</li> <li>• Sistemas antioxidantes</li> <li>• Sistemas de tratamiento de sanguaza y licores</li> <li>• Sistemas de reducción de impacto ambiental</li> <li>• Sistemas de pesado y ensacado</li> <li>• Estructuras y elementos de interconexión</li> </ul> |
|---|

### 2.1.1.3 Mercados para la Industria Azucarera y

Agroindustria.- En los productos del sector Agroindustria es de peculiar interés las plantas azucareras, para las cuales FIMA suministra lo siguiente:

Equipos producidos por FIMA: Sector Azucarero
---

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><i>Plantas completas para procesamiento de azúcar</i></b></li> <li>• Sistemas de Trapiche</li> <li>• Sistemas de Secado de azúcar</li> <li>• Vacuum Pan</li> <li>• Recibidores tipo U</li> <li>• Mezcladores</li> <li>• Molinos de caña</li> <li>• Sistemas de reducción de impacto ambiental</li> <li>• Sistemas de ensacado</li> <li>• Estructuras y elementos de interconexión</li> </ul> |
|--|

## 2.1.2 INFRAESTRUCTURA

### EQUIPOS DE PRODUCCIÓN PARA EL PROCESO PRODUCTIVO

FIMA es una de las fábricas productoras de bienes de capital mejor equipadas de Latinoamérica, que cuenta con equipos de alta tecnología, especialmente dentro de sus secciones de mecanizado y calderería. Se ha logrado armonizar las tecnologías de máquinas convencionales, con tecnología CNC (control numérico computarizado), apoyados por sistema CAD (diseño asistido por computadoras) y CAM (manufactura asistida por computadora); así como también el apoyo de sistemas como el MRP (planificación para el requerimiento de materiales) y JIT (justo a tiempo).

### FUERZA LABORAL

FIMA, cuenta con el siguiente personal existente en planta:

Obreros	250
Empleados	90
TOTAL	340

## **UBICACIÓN**

FIMA, esta ubicada en la Av. Víctor Andrés Belaunde 852, en el Distrito de Carmen de La Legua Reynoso – Callao. Cuenta con un área total de 64000m<sup>2</sup>, y un área construida de 45000 m<sup>2</sup>.

## **ENTORNO EMPRESARIAL**

El marco referencial en el cual se desarrolla el proyecto esta estrechamente vinculado al marco referencial de la empresa, como se puede apreciar en el gráfico mostrado a continuación se aprecia el escenario en el que se desenvuelve la empresa y los actores del entorno.

**Clientes:** FIMA, cuenta con clientes Nacionales y Extranjeros en ese contexto se hace necesario también además de contar niveles de alta competitividad.

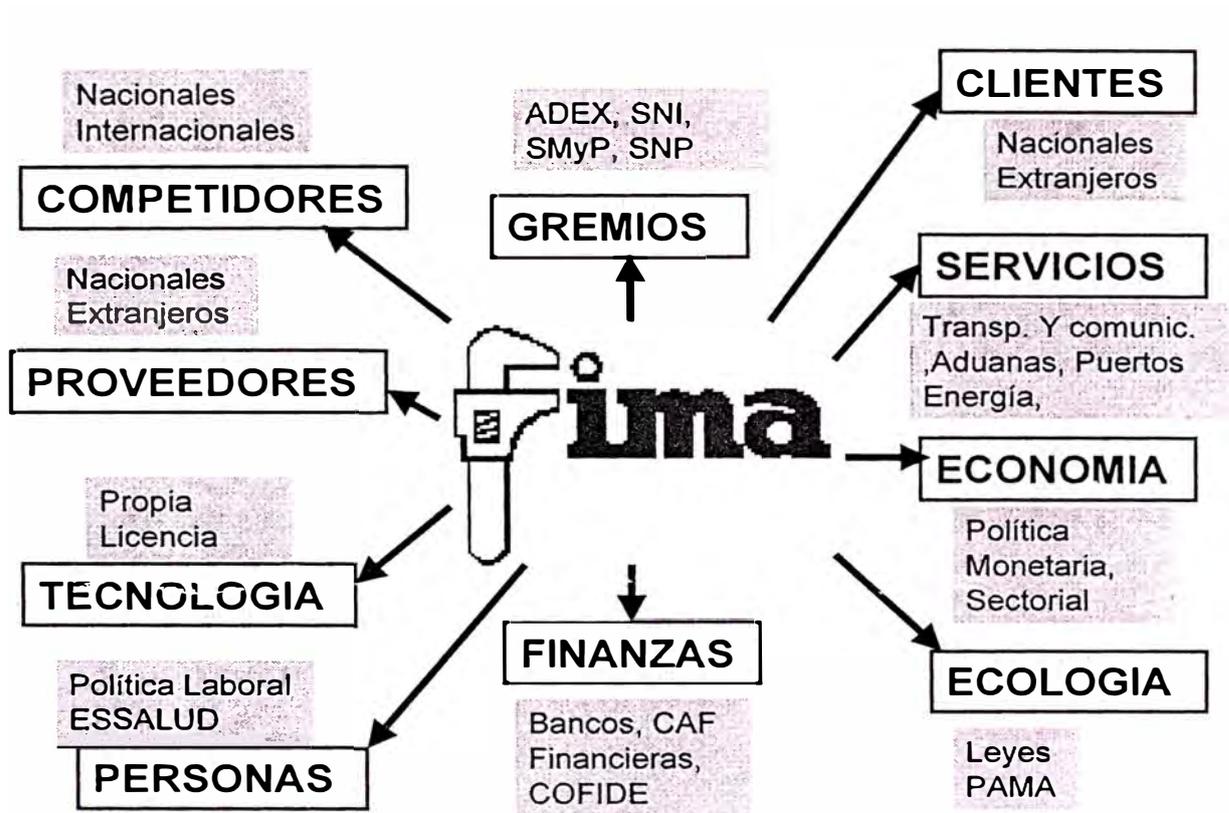
**Servicios:** FIMA requiere en sus actividades operativas de servicios que ofrece el gobierno como por ejemplo: Energía eléctrica, Transportes y Comunicaciones (Carreteras, Puertos, Aeropuertos, Aduanas, Correos).

**Economía:** FIMA es afectada por la política sectorial y Monetaria en lo referente a aspectos cambiarios que también son de influencia en el proyecto debido a que el Robot es importado y el pago en moneda extranjera.

**Ecología:** La empresa esta también inmersa en una ambiente de protección ecológica dentro de sus proyectos y equipos, generando una operación amigable con el Medio Ambiente.

**Finanzas:** FIMA tiene una relación estrecha con las entidades financieras ya sea en los aspectos de financiamiento propio y de clientes. En el caso del proyecto esta ligado al aspecto financiero del mismo, con entidades que fomentan la competitividad, por ejemplo la CAF.

**Personas:** En este aspecto esta estrechamente ligado a la organización, hablamos de las personas, política laboral, seguridad social, en el caso del proyecto esta asociado a los sindicatos y autoridades del ámbito laboral, así como en forma de contraposición con las políticas de fomento del empleo



**Tecnología:** FIMA cuenta con tecnología propia y de compañías líderes mundiales en la fabricación de plantas para la industria minera, pesquera, azucarera y otras, en los aspectos de desarrollo de equipo como de procesos de la organización.

**Proveedores:** FIMA, cuenta con una amplia cartera de proveedores que suministran los materiales, insumos y bienes de capital empleados en el desarrollo del proceso productivo.

**Competidores:** FIMA, compite en el mercado nacional e internacional, exigiendo éste último requerimientos de alta calidad y precios de competencia internacional; así como también el mantenerse en esta competencia exige un permanente desarrollo y competitividad.

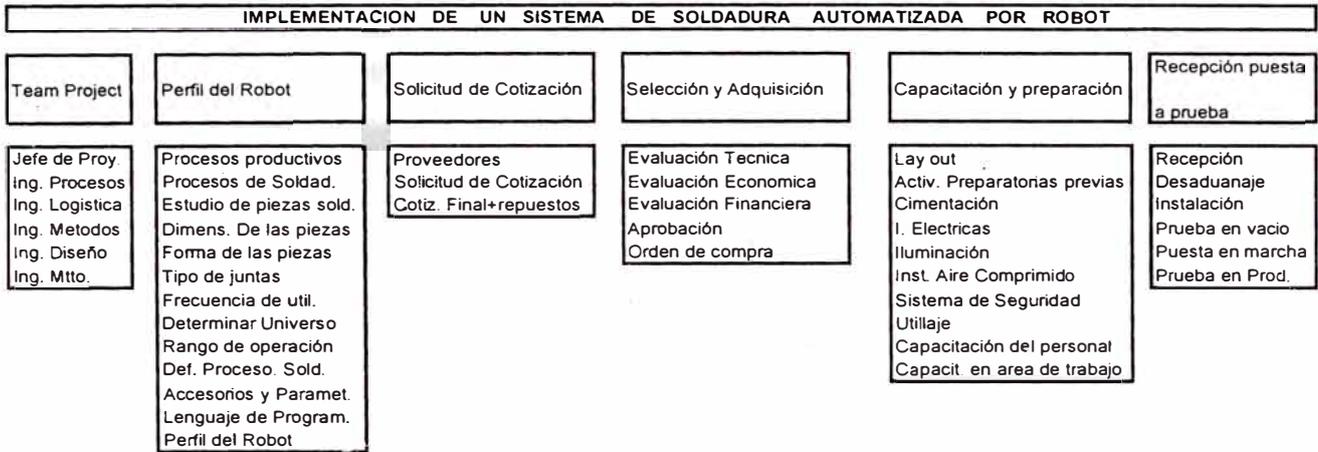
**Gremios:** FIMA esta altamente vinculada a gremios como ADEX en sus aspectos de exportación, SNI en los aspectos representativos del sector industrial y otros gremios.

## **2.2 Alcance del Proyecto**

El proyecto tiene un alcance desde las actividades de inicio, estudio y selección de los procesos y dimensionamiento para determinar las características del Robot, una pre cotización, evaluación técnico económica y financiera, cotización definitiva, las actividades logísticas, capacitación, actividades preparatorias de fabrica, instalación, puesta a prueba y puesta en marcha.

### **Gerencia del Alcance del Proyecto**

En la siguiente página presentamos la plantilla WBS, para las actividades del proyecto y a continuación una metodología sugerida por la AWS.



La AWS en su manual Arc Welding with Robots – Do's and Don't's sugiere una metodología que implica los siguientes pasos:

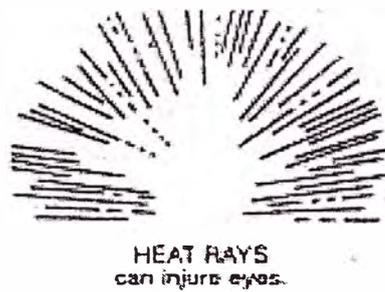
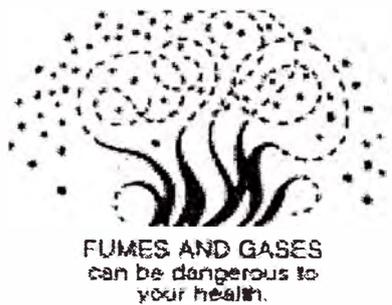
En el manual de la OSHA (Occupational Safety & Health Administration – Technical Manual) en la sección 4: capítulo 4 se trata el tema de Robots Industriales y Seguridad en sistemas Robotizados ver anexo I.

En la norma AWS D16.1M / D16.1:2004 se trata el tema de las especificaciones para seguridad en Robots por soldadura (ver anexo II).

Se enuncia los siguientes:

#### Protección personal:

- Humos y gases: pueden ser peligroso para la salud
- Rayos intensos pueden dañar la vista
- Gases combustibles pueden explotar



### Planificación:

Una evaluación apropiada de la aplicación del robot es crítica para una buena performance. El análisis de las variables de manufactura debe ser verificado antes de definir la inversión.

La automatización por robot genera elementos adicionales que en muchas partes del proceso no estaban evidenciadas previas a la automatización; de allí que es necesario reexaminar cuidadosamente los siguientes aspectos:

- Fabricación de sub-componentes
- Las partes ajustadas y ensambladas
- Parámetros de procesos de soldadura
- Secuencia de soldadura
- Manipuleo de materiales

## **Configuración del sistema de transmisión**

Para ello se debe responder a las siguientes preguntas:

- Tamaño de las partes
- Peso de las partes
- Requerimientos del proceso
- Ratios de producción
- Requerimientos de calidad
- Requerimientos futuros
- Flexibilidad del sistema

## **Diseño para automatización: diseño de partes, herramienta y dispositivos de fijación**

El “Diseño para automatización” en el caso de las aplicaciones de soldadura por robot implica diseño de partes, herramienta, dispositivos de fijación:

- Permitir el acceso de la pistola de soldadura
- Agregar locaciones referenciales sobre la pieza
- Sujeción tan cerca como sea posible en términos prácticos a la zona de soldadura
- Usar subensambles para simplificar al soldadura
- Evitar las soldaduras fuera de posición

- Rediseñar las juntas soldadas para que dificultan el control
- Usar sujeción automática donde sea apropiada
- Usar una referencia dimensional común para localizar y relocalizar las partes

El diseño del tooling (subcomponentes como posicionadores y herramientas) para robots involucra referencias para la calidad del subcomponente y su tolerancia dimensional. La fijación puede ser diseñada para incluir presencia de partes sensibles y requiera un sensor para status de fijación. Los métodos de manipuleo de materiales asociados con la carga y descarga de la fijación pueden ser diferentes de la soldadura manual.

### **Evaluación de la aplicación: Proceso de soldadura**

La selección del proceso de soldadura contribuye significativamente al éxito de un sistema de proceso de soldadura por robot. La selección de procesos debería estar basada en:

- Requerimientos de calidad de la soldadura terminada
- Repetibilidad de la localización de las juntas
- Partes ensambladas y ajustadas
- Distorsión permitida

- Requerimientos de producción
- Tipo de material y espesores

El tamaño de la soldadura, la velocidad deben ser seleccionadas basadas en la posibilidad del robot para proveer un arco creciente y una tasa de deposición determinada. El herramental adecuado y la programación del robot adecuadamente pueden elevar más de tres veces el tiempo de los métodos manuales. El tiempo de ciclo y ratios de producción deben ser diseñados de acuerdo al manipuleo de materiales.

### **Elección del equipo teniendo en cuenta la seguridad**

Se considera los siguientes:

- Evaluación de riesgo: Una evaluación de riesgo implica analizar el peligro potencial al personal en el interior y al exterior del área de trabajo, debe ser evaluado previo a la instalación.
- Guardas de seguridad: Basada en la evaluación del riesgo, selección de las barreras físicas, sistemas de seguridad, dispositivos limitadores mecánicos, accesorios de protección del ambiente de coberturas ultravioletas y sistemas de ventilación.
- Conformidad: El equipo debería estar conforme a las regulaciones locales.

## **Seguridad**

- Movimientos peligrosos
- Chispas y flamas
- Calor
- Ultravioleta
- Humos y gases
- Gases inertes comprimidos
- Peligros eléctricos
- Otros peligros

## **Elección del equipo teniendo en cuenta la automatización**

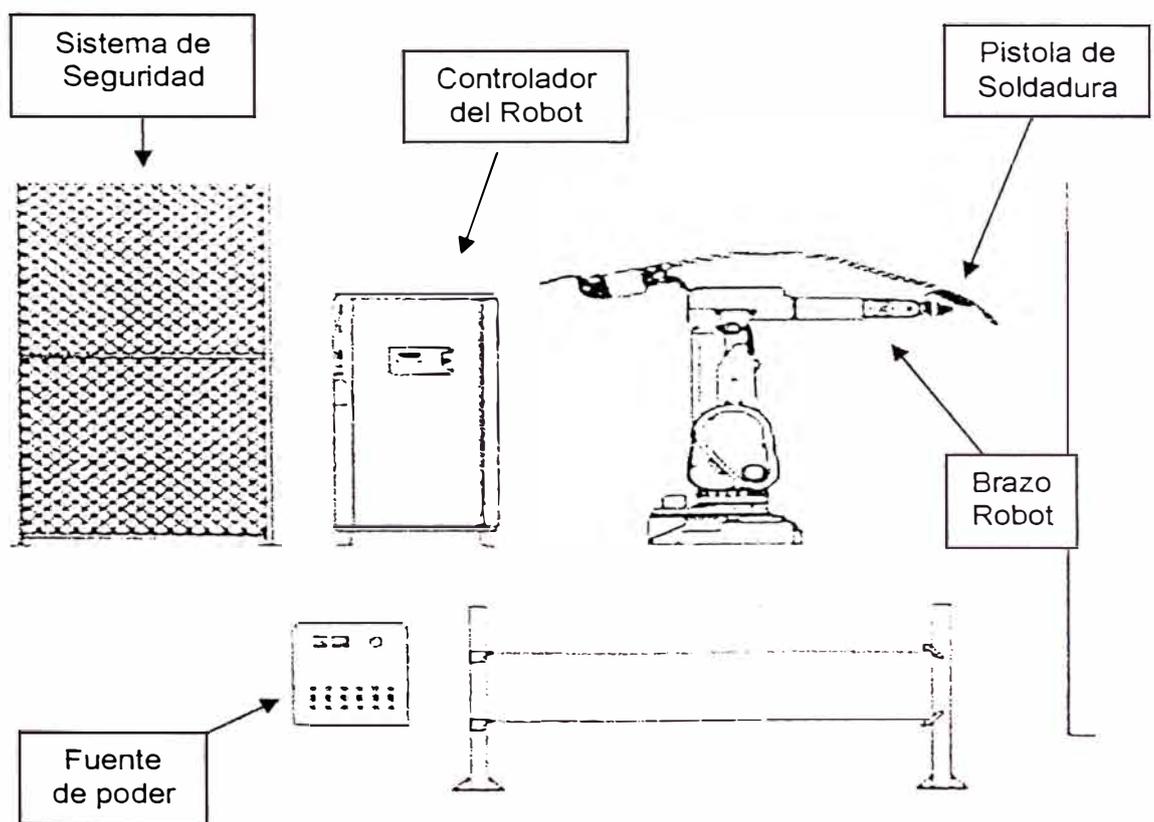
La soldadura robótica tiene diferentes requerimientos debido a:

- Tiempo de arco alto
- Altas tasas de deposición
- Ciclos altos
- Velocidades de movimiento más rápidas
- Movimientos de flexión repetitivos

Debido a las ventajas de la soldadura por robot, los equipos pueden estar sometidos a ciclos pesados que excedan los procedimientos manuales.

## Principio del equipo

- Brazo robot
- Controlador del robot
- Fuente de poder
- Pistola de soldadura (Torch)
- Alimentador de alambre
- Sistema de seguridad



**Equipo Básico**

## **Elección del equipo teniendo en cuenta la automatización – Robot**

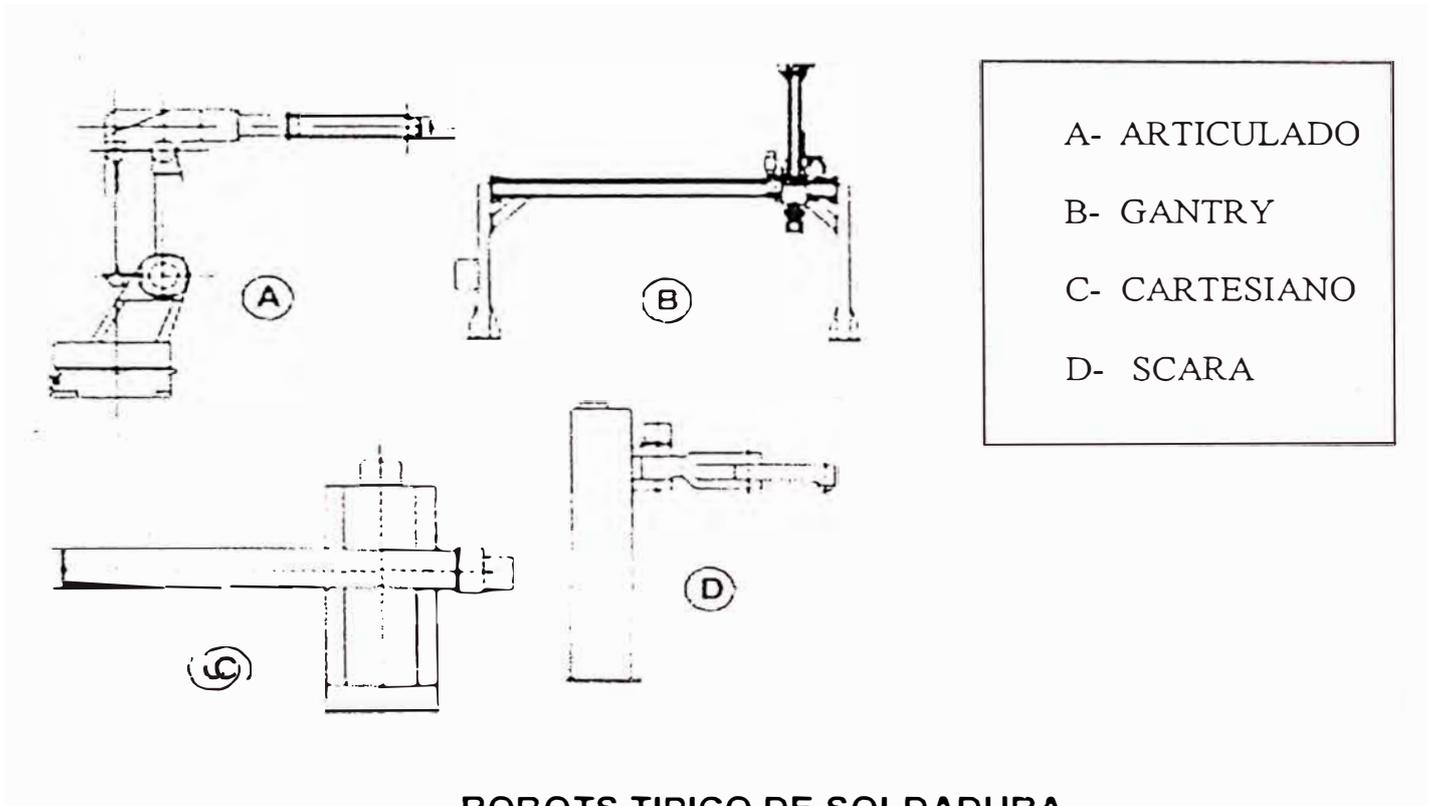
Seleccionar el robot requerido con la flexibilidad de la aplicación de soldadura.

- La repetitibilidad mínima del robot debería ser la mitad del diámetro del alambre.
- Si se elige el sistema de programación off line, se debe considerar la precisión en la comunicación.
- La carga estática debería ser menor que la considerada en ejecución.
- Evitar la soldadura en los extremos del robot con cambios de movimiento.
- El requerimiento de soldadura determinara el número de grados de libertad necesarios.
- Considerar el método y complejidad de la programación.

### **Robots típicos de soldadura**

Se encuentran los siguientes tipos:

- Articulado
- Gantry
- Cartesiano
- Configuración SCARA



**Elección del equipo teniendo en cuenta la automatización – Fuente de poder**

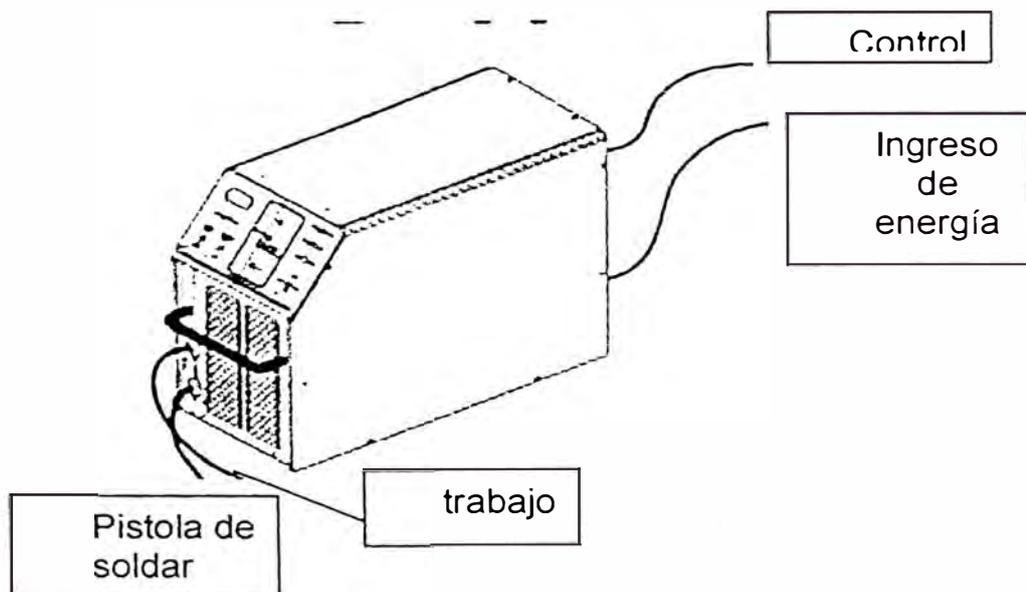
Seleccionar una fuente de poder de acuerdo a las características requeridas por el robot de soldadura

- Tamaño físico de la unidad compatible con el layout
- Capacidad para adaptarse a los diferentes procesos de soldadura
- Facilidad de mantenimiento
- Diseñado para proveer una operación de servicio continuo para la aplicación de soldadura seleccionada

**Para una aplicación de robot de soldadura dada:**

Asegurarse que la fuente de poder pueda suministrar servicio continuo de operación, considerar los siguientes:

- Requerimientos de salida
  - Procesos
  - Servicio continuo
  - Amperios
  - Voltios
- Requerimientos de entrada
  - KVA
- Tamaño físico para la celda de trabajo
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de interfase



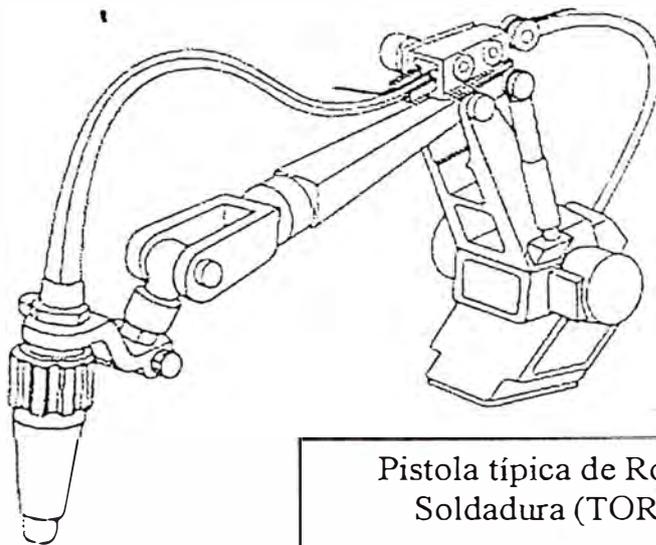
**Asegurarse que la Fuente de Poder pueda suministrar un servicio continuo.**

### Elección del equipo teniendo en cuenta la automatización (Torch de soldadura)

Solo seleccionar los torchs que están diseñados para aplicaciones de robot:

- La construcción de los torch de soldadura deberían proveer un alto grado de estabilidad y precisión dimensional
- Capacidad de enfriamiento que debe ser compatible con los requerimientos del tiempo del arco
- Diseñado para ser intercambiable y de construcción de acuerdo a los requerimientos del ambiente del robot
- Geometría apropiada que facilite el acceso del robot a partes y dispositivos

Torch típica para robot



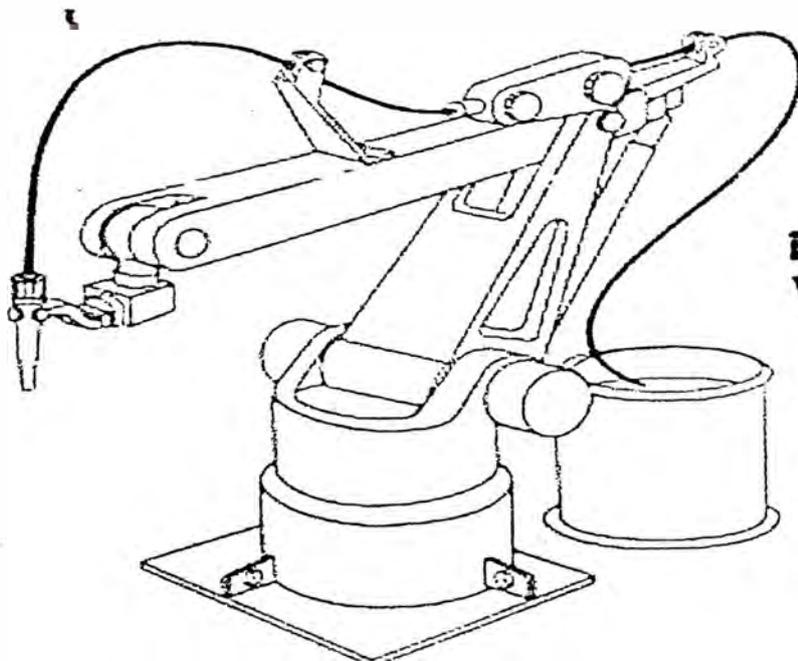
Pistola típica de Robot de Soldadura (TORCH)

## Elección del equipo teniendo en cuenta la automatización –

### Alimentador de alambre

Al seleccionar el alimentador de alambre para soldadura automática se debe considerar los siguientes:

- Compatible con componentes de trabajo en celda: robot, fuente de poder y torch
- El alimentador debe acomodarse frecuentemente a las operaciones on – off
- La velocidad del alimentador debe ser más rápida que las que se emplean en los procesos manuales
- Diseñado para operaciones de procesos continuos



**Partes del sistema de alimentación de alambre robótico**

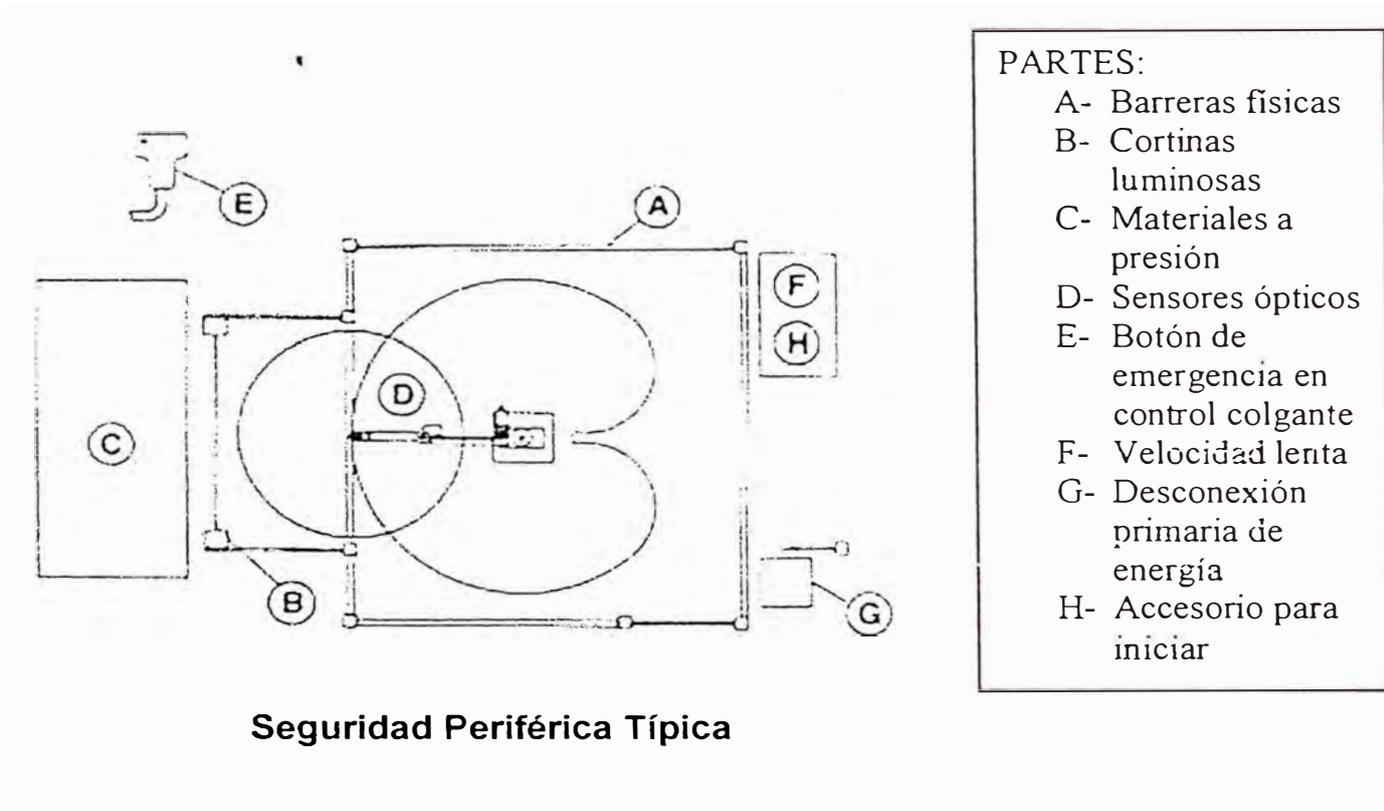
## **Elección del equipo teniendo en cuenta la automatización – Sistema de seguridad**

El equipo debe ser especificado y diseñado utilizando los elementos de seguridad y control apropiados. La seguridad del sistema de robot de soldadura afecta varias personas:

- Operador
- Mantenimiento
- Set-up
- Inspector
- Visitantes

## **Seguridad periférica típica del equipo**

- Barrera física
- Cortinas luminosas
- Tapete de presión
- Sensores ópticos
- Parada de emergencia colgante
- Baja velocidad
- Desconexión de fuente primaria
- Accesorios habilitadores de acciones



### **Benchmark**

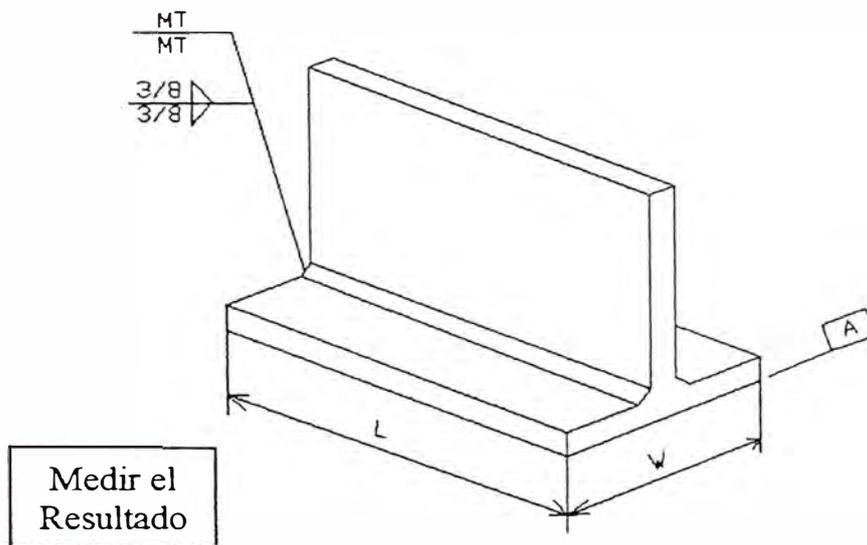
Establecer el límite inferior y superior de una aplicación específica de robot de soldadura por la definición de performance en términos de aceptabilidad de piezas soldadas. Asegurar que el sistema pueda operar entre los requerimientos de soldadura definidos como límites de performance inferior y superior.

### **Criterios para los ensayos de del sistema:**

- Soldadura y calidad de las partes
- Throughput
- Repetibilidad dentro de los límites definidos

- Costos de operación
- Fiabilidad Tiempo promedio entre fallas
- Mantenibilidad

### Ensayo funcional y medición de resultados



### Ensayo Funcional

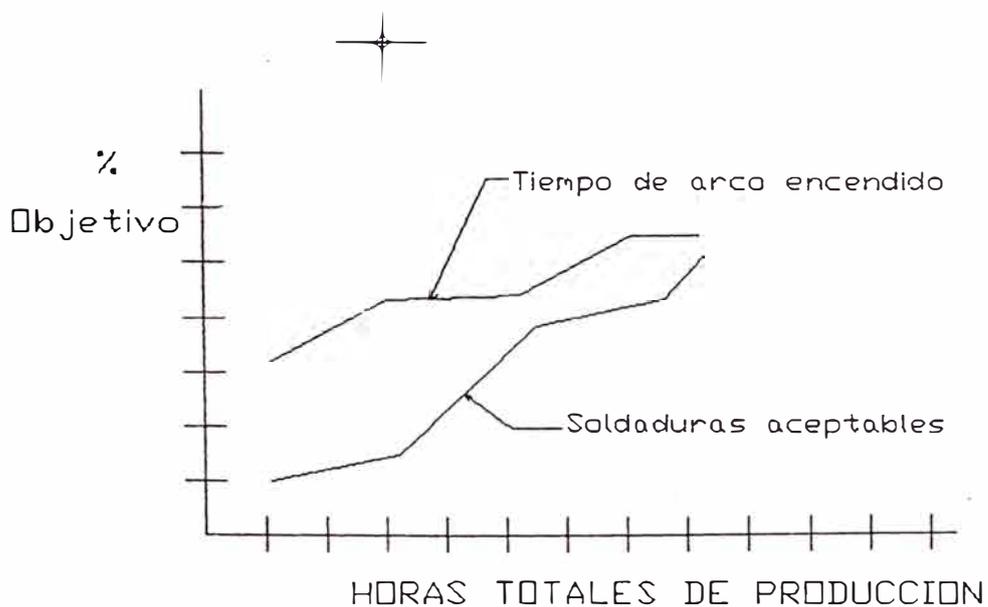
### Obtención de progresos con el sistema de soldadura por robot

Tips para mejorar la performance del robot:

- Minimizar los movimientos ineficientes del robot (ejemplo: reducción del tiempo de no soldadura, orientación del torch y secuencia de clamp)

- Maximizar el tiempo del arco del robot utilizando mejores posiciones y equipo localizador con sujeción automática, donde sea apropiado.
- Usar niveles apropiados en el proceso de monitoreo. Adaptar controles y modificación de parámetros de soldadura para acomodar las ventajas intrínsecas del robot de soldadura y que tengan un impacto positivo en la productividad del sistema.
- La simulación computarizada se puede usar para mejorar la performance.

### Maximización de la productividad



Maximizar la Producción

## **Responsabilidad**

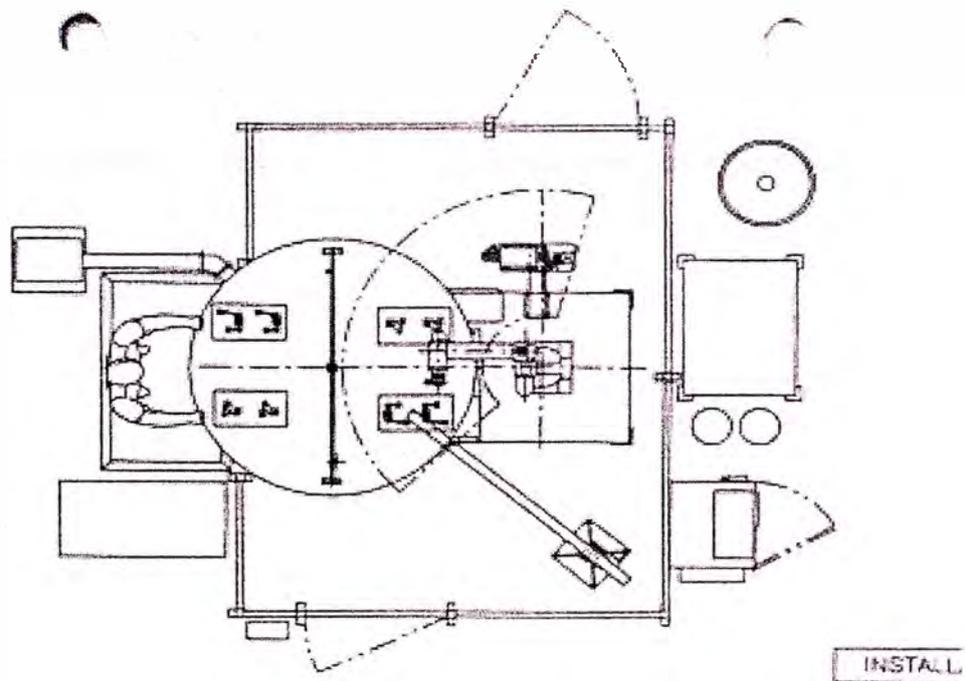
Son varias las consideraciones utilizadas por las compañías fabricantes para la implementación de los sistemas de soldadura por robot. Algunos usuarios prefieren pasar de un sistema de soldadura suministrado por un integrador, mientras que otros usuarios prefieren integrar componentes discretos. Es importante establecer una línea clara de responsabilidad en términos de la funcionabilidad del equipo y pruebas antes de comprar el equipo.

Las áreas específicas de responsabilidad incluidas, pero no limitadas son las siguientes:

- La preparación del lugar e ingeniería preliminar requerida para apoyar la instalación del equipo
- El cronograma de suministro, entrenamiento, instalación y arranque
- Criterios de performance:
  - Ciclo de throughput
  - Periodo de adaptación
  - Tolerancias dimensionales
  - Calidad de la soldadura

- Ensayo de performance: verificar el sistema a través de ensayos específicos
- Documentación: La documentación del arranque real y los ensayos de performance deben ser mantenidos para mejorar a largo plazo los troubleshooting y mantenimiento del sistema.

### Disposición general



### Educación y entrenamiento:

- El entrenamiento del equipo de trabajo debe estar asociado con los productos producidos por el sistema de soldadura robot

- Gerencia
  - Manufactura / Producción
  - Ingeniería
  - Mantenimiento
- El entrenamiento no termina con el tiempo de instalación sino que es un proceso continuo.

### Aprendiendo el sistema



### Tópicos de Calificación de Personal

No olvidarse el escribir

- Secuencia de operación
- Data de producción

- Lógica de programas
- Cronograma de mantenimiento
- Chequeo de calidad
- Recuperación de errores

Existen Sistemas de Diseño de Celdas Robóticas por Simulación y Programación Off-line, en los que se recomiendan 7 pasos que son los siguientes (tomar nota de que la Norma: ANSI / AWS D16.2-94, ANSI / NEMA EW 8, está referida a: Standard for component of Robotic and Automatic Welding Installations, en el caso específico a celdas Robóticas, ver anexo III):

Paso 1: Desarrollo Conceptual

Paso 2: Simulación

Paso 3: Desarrollo del proceso

Paso 4: Simulación de celda de trabajo

Paso 5: Diseño de Sistemas

Paso 6: Verificación del proceso

Paso 7: Puesta en marcha del Sistema

Ambos y otros modelos están contemplados en la metodología del presente trabajo.

### **2.3 Ciclo de Vida del Proyecto**

La vida útil considerada para el proyecto es de 12 meses, desde la puesta en marcha del proyecto hasta la integración del Robot dentro del proceso industrial de la planta.

### **2.4 Fases del Proyecto**

El proyecto consta de las siguientes fases:

#### **Inicio**

- Evaluación de las actividades de aplicación de la Soldadura Automática por Robot
- Definición de la capacidad del Robot
- Especificaciones de Ingeniería

#### **Planificación**

- Plan de tareas
- Asignación de responsables
- Cronograma general
- Presupuesto general

## **Ejecución**

- Ejecución de tareas
- Desviaciones y regulaciones

## **Control**

- Cumplimiento de plazos
- Pruebas del Robot
- Puesta a punto de la operación del Robot

Se presenta el cronograma de actividades por proyecto en la sección 6.

## **2.5 Involucrados en el proyecto**

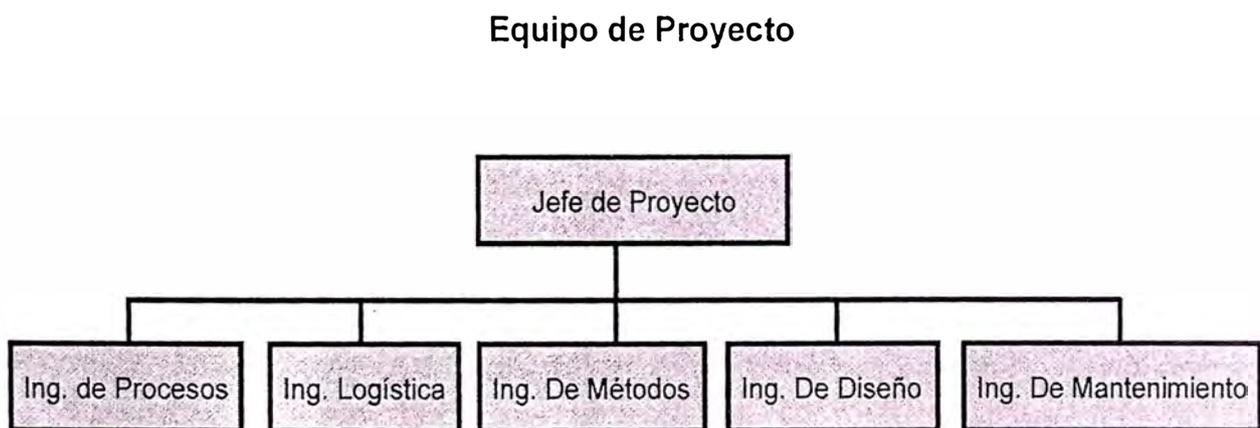
Los Involucrados (stakeholders) principales en el proyecto son los integrantes de la empresa FIMA en general y son los siguientes:

- Gerente del proyecto: Asignado por la empresa FIMA S.A.
- El personal de Ingeniería de Manufactura
- El personal de Ingeniería de diseño
- El personal de Ingeniería de Mantenimiento
- El personal de Logística
- El personal de Finanzas
- Los supervisores de planta

- El personal operativo de planta
- El personal de Recursos Humanos de la empresa
- Los proveedores de Robots e insumos para soldadura y consumibles

## 2.6 Influencias Organizacionales

Equipo de Proyecto Implementación de Soldadura Automática por Robot



*Figura 2.- Equipo del proyecto*

La zona de influencia del proyecto es en toda la estructura de la organización, por ejemplo en:

**Ventas y Marketing:** Es un activo que incrementa la ventaja competitiva, se afianza las actividades de publicidad, visitas, brochure, etc.

**Producción:** Su influencia es directa en cuanto es el área de la empresa en la cual se ubica el activo.

**Ingeniería:** Se influencia desde la concepción de los diseños, orientados a facilitar la operación de Robots.

**Finanzas:** Influenciada por los aspectos financieros relativos a la ejecución y puesta en marcha del proyecto; es quien provee los recursos financieros.

**Administración:** Influenciada por la creación de un sistema administrativo que proporcione operatividad y facilidad en el calculo de costos.

**Logística:** Influenciada activamente en la búsqueda de proveedores, adquisición y puesta en planta del activo.

**Relaciones Industriales:** Influenciada con la capacitación e incorporación de personal y aspectos relativos a la seguridad en la operación del Robot.

## 2.7 Influencias Sociales, Económicas y Ambientales

La incorporación del Sistema Automatizado de Soldadura por Robot, tiene influencias en los siguientes aspectos:

### ***Social:***

- El nivel de los operadores de Soldadura se ve orientado hacia un mayor conocimiento técnico de los procesos y parámetros de soldadura, así como se eleva el nivel del operador.
- En el aspecto laboral dado la coyuntura actual del país, donde se requiere mayor generación de puestos de trabajo, obviamente el impacto se va a dar en tal sentido que puede traer a reflexión la necesidad de su incorporación en términos laborales.

### ***Económico:***

- Se incrementa un activo para la empresa.
- El índice de productividad debe ser tal que permita un rápido retorno de la inversión, según las estadísticas se encuentran en el orden de 1.5 a 3 años, dependiendo de la complejidad y bondades del Robot, así como la aplicación Industrial.
- También en el lado de las ventas se debe mantener una continuidad y por Ingeniería en una adaptación de los actuales

diseños hacía la aplicación de la Soldadura Automatizada por Robot.

***Ambiental:***

- Se instalará en un ambiente dentro de la planta que facilite la evacuación de humos producto del proceso de soldadura, así como una correcta protección del personal que opera en la zona ocupada por el equipo.

## CAPITULO III

### CORE BUSINESS Y PROCESOS DE SOLDADURA DE LA EMPRESA

#### 3.1 Núcleo del Negocio (CORE BUSINESS)

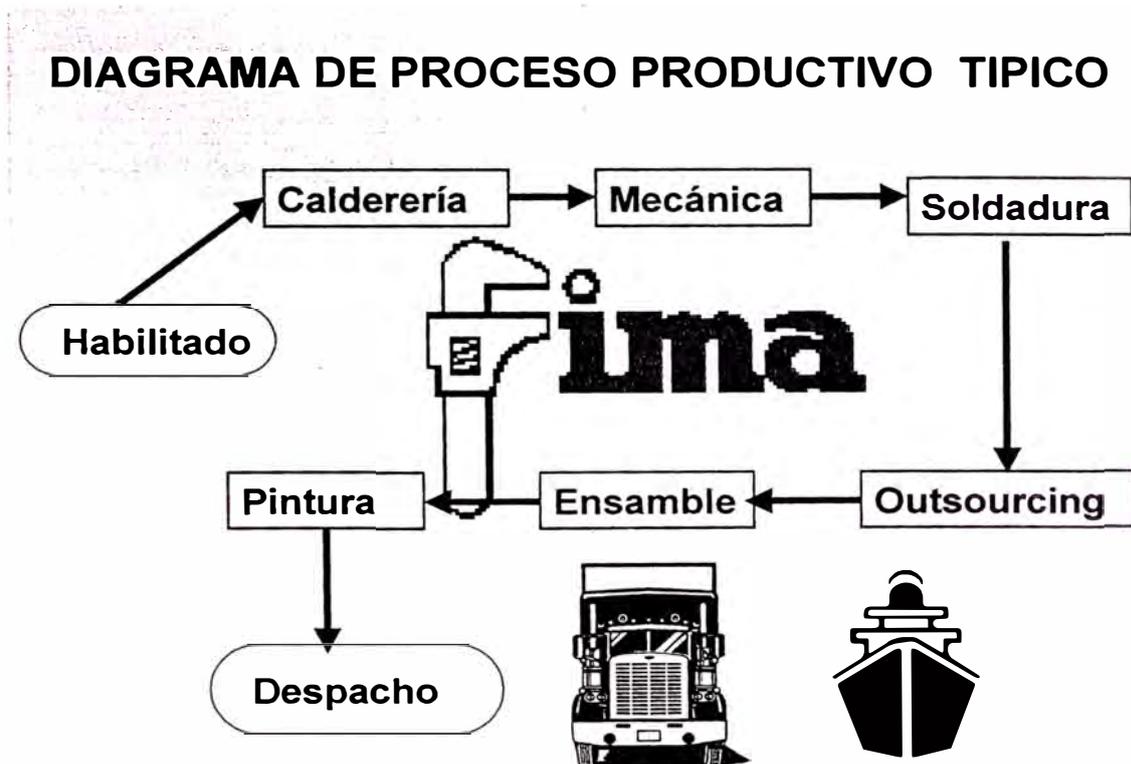
FIMA, por ser una empresa metal mecánica manufacturera del tipo “bajo pedido”, para el proceso productivo esta dividida en tres grandes áreas Mecánica, Calderería y Ensamble, cuyas actividades fundamentales son las siguientes:

**Mecánica:** Esta área esta compuesta por las secciones de mecanizado que implica sección Torno, Fresadoras, Mandrinadoras, Taladros, Cepillos, Rectificadoras, Generadoras de engranajes, Tornos CNC, Centros de mecanizado.

**Calderería:** Esta área esta compuesta por Habilitado de material Cizallas, Oxicorte, Plegadoras, Punzonadoras, Armado de calderería y Soldadura.

**Ensamble:** En esta área se ensamblan las partes y piezas de los equipos, fabricados, tanto en las partes mecánicas y eléctricas. Finalmente son probados en nuestras instalaciones bajo los requerimientos de diseño.

Los procesos de soldadura, se explicaran con mayor profundidad en los siguientes.



### 3.2 Procesos de Soldadura de la empresa

En general la AWS (American Welding Society) define más de 17 procesos para unión de metales por soldadura de uso comercial. Estos procesos se agrupan en 6 categorías:

#### A- Soldadura por arco:

Los procesos de soldadura por arco que son la base de los procesos con los que cuenta la empresa FIMA, serán discutidos a profundidad más adelante.

#### B- Soldadura por Resistencia:

Se realiza mediante un grupo de procesos (soldadura por arco con presión, soldadura por resistencia con salientes, soldadura de costura, soldadura por puntos en rodamiento, soldadura por puntos, soldadura por percusión, soldadura con recalado) en los cuales se genera el calor necesario para soldar, por la resistencia de las partes al paso de una corriente eléctrica. Difiere de los procesos de soldadura por fusión en que requiere además del calor en la aplicación de presión mecánica, para unir las partes por forjado. La presión refina la estructura de los cristales y produce una soldadura con propiedades físicas que en la mayoría de los casos son iguales y a veces superior a las del metal base.

El equipo de soldadura por resistencia se clasifica atendiendo a su funcionamiento eléctrico, como la del tipo de energía directa o como de energía almacenada. Aunque se consigue en el mercado máquinas de soldar tanto monofásicas como trifásicas, la máquina monofásica de energía directa es la de uso más común, por ser la más sencilla y la menos costosa en cuanto a precio de adquisición, instalación y mantenimiento.

La soldadura por arco con presión es un proceso de soldadura a tope por resistencia, en el cual se prensan dos piezas de trabajo mediante los dispositivos adecuados para transmitir la corriente, los que sostienen los extremos de ambas en contacto muy ligero.

En el proceso de soldadura de partes salientes, la corriente y el flujo de calor en un punto determinado o en punto predeterminado por el diseño o la configuración de una o de las dos partes que deban soldarse.

Se emplean salientes esféricos para soldar conjuntos hechos de lámina y placas de acero. Las salientes pueden también acuñarse o forjarse en los extremos o en las caras de los tornillos, tuercas y elementos similares de sujeción.

La soldadura de costura por rodamiento consiste en hacer una serie de soldaduras de puntos a traslape. Tal soldadura es normalmente hermética a gases y líquidos. Se emplean dos electrodos circulares rotatorios (ruedas eléctrodos), o un electrodo rotatorio y uno de tipo barra para transmitir la corriente.

La soldadura por puntos es la forma que más se aplica entre las soldaduras por resistencia, en su aplicación más simple la soldadura por puntos consiste simplemente en prensar dos o más piezas de metal laminado entre dos electrodos de soldar, de cobre o una aleación de cobre y pasar una corriente eléctrica de suficiente intensidad por las piezas, para dar lugar a su soldadura o unión, la secuencia e tiempos para este proceso está dada por: tiempo de compresión, que es el tiempo comprendido entre la aplicación inicial de la presión del electrodo sobre la pieza de trabajo, y la primera aplicación de la corriente al hacer soldaduras de puntos y de costura por soldadura por resistencia y en la soldadura de piezas salientes o juntas con deformación. El tiempo de soldadura: es el tiempo en que pasa la corriente de soldar a través de las partes que se están uniendo, el cual se expresa ordinariamente en ciclos. El tiempo de mantenimiento de la presión: es el tiempo durante el cual se sigue aplicando presión en el punto de soldadura, después de haber

cesado el paso de la corriente de soldar, este tiempo tiene por objeto permitir que se enfríe o endurezca la pequeña región plástica de soldadura.

La soldadura por percusión es un proceso de soldadura por resistencia en el que se obtiene el calor mediante un arco producido por una descarga rápida de energía eléctrica. La fuerza se aplica percusivamente durante o inmediatamente después de la descarga eléctrica. Por el calor del arco se funde una capa de arco de poca profundidad del metal de las superficies de las piezas que están en contacto y a continuación se hace golpear por impacto una de las piezas de trabajo contra la otra, con lo cual se extingue el arco, se expulsa el metal fundido y se completa la soldadura.

#### C- Soldadura por gas combustible:

En este proceso se funden las piezas por el calor de una llama, sin electricidad. La llama se produce por la combustión de un gas combustible con aire u oxígeno. Generalmente se queman estos gases con oxígeno más que con aire, porque el gran contenido de nitrógeno del aire (que no contribuye en nada a la combustión) da por resultado una temperatura baja de llama, inferior a la temperatura de fusión de la mayoría de los metales.

Todos los gases combustibles que se usan en soldadura están compuestos tanto por carbono como por hidrógeno, y generalmente se queman con oxígeno puro. Como consecuencia, la soldadura con gas combustible no puede aplicarse a metales (por ejemplo al Titanio) que puedan ser dañados por estos elementos. Además la combustión de estos combustibles con oxígeno producen bióxido de carbono y agua, compuestos que también pueden ser perjudiciales para ciertos metales. Por tanto el soldador debe estar seguro de que los metales que haya que cortar o de soldar por medio del proceso de gas combustible no reaccionaran con los compuestos resultantes.

La temperatura necesaria en la llama es la que determina ordinariamente que gas combustible ha de usarse en este proceso. La mezcla de oxiacetileno da la temperatura mas elevada 3500 °C, una llama oxihidrógeno da alrededor de 2220 °C; se emplea en reparaciones, uso en talleres automotrices, para mantenimiento, los costos de mantenimiento de equipo son bajos.

#### D- Soldadura del estado sólido:

La soldadura de estado sólido se lleva a cabo mediante varios procesos de soldadura en los que la fusión se produce esencialmente a

temperaturas inferiores al punto de fusión de los metales base que se están uniendo, sin adición de metal de aporte. En estos procesos puede o no utilizarse presión.

Para unir metales en el estado sólido es necesario lograr un contacto mecánico íntimo, mediante la preparación cuidadosa de las superficies a unir. La preparación de la superficie comprende la obtención de una tersura aceptable de la misma y la eliminación de herrumbre, suciedad, aceite y demás contaminantes, así como de toda humedad o gas que hayan podido ser absorbidos. Esto se logra mediante el mecanizado, el tratamiento abrasivo, el esmerilado, el pulido o el ataque químico, seguidos por un desengrasado hecho con alcohol, tricloreto, acetona, detergentes, o por un horneado al vacío.

En este proceso están incluidos los procesos de soldadura con presión aplicada en frío, soldadura por fricción, soldadura por difusión, soldadura por explosión, soldadura ultrasónica.

Soldadura con presión aplicada en frío: Este proceso produce soldaduras sin la aplicación de calor externo sometiendo en cambio los metales por soldar a una presión suficiente para ocasionar su deformación plástica a la temperatura ambiente, éste proceso es óptimo para la unión del

aluminio de alta pureza y del de pureza comercial, también de otros metales no ferrosos, como las aleaciones de aluminio, el cadmio, el plomo, el cobre, el níquel, el zinc y la plata; o las combinaciones de metales no ferrosos de dureza diferente. La presión de soldadura, se puede aplicar por medios manuales o mecánicos, puede ser del tipo de compresión lenta o de impacto, dentro de un margen de 20 000 psi para el aluminio y 160 000 psi para el cobre.

**Soldadura por fricción:** Es un proceso en el cual se produce calor por conversión directa de energía mecánica en energía térmica en las caras de contacto de las piezas de trabajo sin aplicación del calor de fuentes externas. Las soldaduras por fricción se hacen sosteniendo una pieza de trabajo fija en contacto con otra que esta girando bajo una presión constante o de crecimiento gradual. La entrecara (superficie de unión) de las dos piezas alcanza la temperatura de soldadura, y en este momento se retiene la rotación de la pieza móvil, para hacer la unión. La soldadura ocurre bajo el efecto de la presión que se aplica mientras esta la zona calentada al intervalo plástico de temperatura.

**Soldadura por difusión:** En este proceso la soldadura se hace mediante la aplicación de presión a una temperatura elevada, después de que las superficies por unir han sido preparadas adecuadamente. Una vez que se

establece el contacto real de metal con metal, los átomos quedan dentro de los campos de fuerza de atracción de ambas partes y producen una junta de alta resistencia. En este momento la junta parece un lindero entre cristales porque las estructuras especiales de los metales de cada lado de la junta tienen orientaciones diferentes.

**Soldadura por explosión:** En este proceso los metales a unir se sueldan metalúrgicamente mediante un movimiento de alta velocidad de (de tipo de chorro) producido por la detonación controlada de un explosivo, el cuál puede estar en forma líquida, plástica o granulada, se coloca uniformemente sobre uno de los metales que van a unirse y la otra pieza de metal se coloca sobre un yunque, el cual dependiendo del espesor de metal que ha de soldarse, puede consistir en un lecho de arena para los metales gruesos o de acero o concreto armado, para los metales más delgados. Las variables más importantes en este proceso son la velocidad mínima de colisión y en el ángulo de colisión.

**Soldadura Ultrasónica:** Este proceso suelda el metal mediante la aplicación local de energía vibratoria de alta frecuencia (entre 10 000 y 175 000 Hz.) mientras se mantienen las partes juntas bajo presión. Las presiones varían con el tamaño de la máquina de soldar que se utilice. La

fuerza de prensado depende de la potencia requerida para soldar el conjunto.

La potencia puede calcularse mediante la ecuación:  $E = 150 (1.5 H)(1.5 t)$ ; en la cual E es la energía en watt-segundos; H es el número de micro dureza Vickers, y t es el espesor de la lamina que esta en contacto con el sonotrodo que lleva la energía, en pulgadas. Sus aplicaciones más representativas se encuentran en la industria electrónica, en la que se emplea para unir conductores delgados de aluminio o de oro, a transistores, diodos y otros dispositivos semiconductores, o a substratos de cerámica o de vidrio.

e- Soldadura por energía de alta densidad:

Los procesos por energía de alta densidad incluye los procesos de soldadura por haz de electrones y soldadura por rayos láser, estos procesos pueden ser utilizados para una amplia variedad de aplicaciones y materiales; y producir juntas soldadas de alta calidad. El uso comercial de estos procesos es limitado por su alto costo de equipamiento el mismo que requiere características de cada proceso.

Soldadura por haz de electrones: El haz de electrones del proceso de soldadura del mismo nombre se ha comparado a un alambre caliente que

pasa cruzando una barra de mantequilla. A medida que se mueve el alambre en su recorrido, fundida por el, fluye a su paso y se solidifica después de pasar el alambre. Durante la soldadura el haz perfora primero un agujero en el metal, este fluye entonces en torno al agujero, en una forma muy similar a la descrita. Las tres clases de equipo para soldadura con haz de electrones que hay en uso común son de alto vacío, el vacío mediano y el que trabaja sin vacío.

El sistema de alto vacío es el proceso de soldadura con haz de electrones de uso más frecuente. En este sistema se produce el haz de electrones en un medio al alto vacío, por medio de un disparador de electrones, el cual consiste ordinariamente en un cátodo de Tungsteno o Tántalo. Los electrones son emitidos por el cátodo, cuya temperatura sube hasta alrededor de 2500°C o a valores mayores. Los electrones son reunidos, acelerados a alta velocidad, dándole forma de haz por medio de campos eléctricos establecidos entre el cátodo, la rejilla y el ánodo. El haz se colima y enfoca haciéndolo pasar por el campo de una bobina electromagnética de enfoque, o lente magnético. Los haces de electrones pueden ser desviados de su trayectoria normal por medio de bobinas magnéticas de deflexión, situadas generalmente bajo la bobina de enfoque. Los haces son enfocados alrededor de 0.010 a 0.030 pulgadas

de diámetro, y tienen una densidad de potencia de alrededor de  $10^6$  watt por pulgada cuadrada, suficiente para vaporizar cualquier metal.

La soldadura por rayo láser: La soldadura por rayo láser se efectúa enfocando un haz de luz de Xenón a través de un rubí (óxido de aluminio con una pequeña concentración de óxido cromo en solución). Durante la exposición, algunos de los átomos de cromo son excitados hasta un nivel de altas energías, haciendo que el rubí emita una luz roja. Algo de esta luz roja escapa por el extremo del cristal, en forma de un haz, casi perfectamente monocromático y no divergente, de luz roja. Este haz puede ser manipulado por sistemas ópticos, para obtener un calentamiento localizado, dando lugar a la fusión en el punto de contacto en dos piezas de trabajo, para formar una soldadura, otra fuente de calor que rivaliza con el rayo láser en entrega de energía ( $\text{w/cm}^2$ ) es el haz de electrones.

Como ocurre en la soldadura con haz de electrones, no hay necesidad de que haya contacto mecánico de ningún tipo con la pieza de trabajo, y tampoco se requiere que el material de trabajo sea conductor de la electricidad.

Se han hecho soldaduras en forma satisfactoria con la intervención de diferentes metales y juntas aplicando el proceso del láser.

Entre ellas uniones de metales y similares y diferentes, inclusive materiales tales como, cobre, níquel, tántalo, acero inoxidable, Dumet, Kobar, aluminio, tungsteno, titanio, columbio, zirconio y superaleaciones. Las soldaduras corresponden generalmente a las categorías de alambre con alambre, lámina a lámina, alambre a lámina, tubo a lámina y soldadura de espárragos.

f- Soldering and brazing: se usa para unir una amplia variedad de aleaciones donde la fusión del metal base debe ser evitada para preservar las propiedades. El rango de temperaturas puede ser de 280°C para el latón y de 1220°C para aleaciones a base de níquel y aplicaciones de superaleaciones para turbinas a gas. El calentamiento puede ser efectuado por una antorcha de gas combustible, inducción eléctrica, resistencia eléctrica, hornos de vacío, atmósfera inerte o reducida. El costo del equipo es bajo para el proceso de gas combustible y alto para el método de horno a vacío. El estañado requiere la adición de un metal de relleno el cual puede ser diferente o similar a la composición del metal base.

## **Procesos de soldadura por arco:**

### **SMAW (Shielded Metal Arc Welding) – ELECTRODO REVESTIDO:**

En el año 1904 tiene lugar en Suecia un hecho de trascendencia para el desarrollo de la soldadura. Oscar Kjellberg descubre el electrodo recubierto y aunque la era industrial de la unión soldada por arco eléctrico empieza en Europa a comienzos de la década de los 50, ya se realizaron uniones de este tipo a principios del siglo pasado.

La soldadura por arco manual con electrodos revestidos, también llamado MMA (Manual Metal Arc), es un proceso en que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

Es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura por arco, debido fundamentalmente a su versatilidad, aparte de que el equipo necesario para su ejecución es más sencillo, transportable y barato que el de los demás.

Así, la soldadura manual puede ser utilizada en cualquier posición, tanto en locales cerrados como en exterior, se puede aplicar en cualquier localización que pueda ser alcanzada por un electrodo, incluso con restricciones de espacio, que no permiten la utilización de otros equipos;

por otra parte, al no requerir ni tuberías de gases ni conducciones de agua de refrigeración, puede ser empleada en lugares relativamente alejados de la unidad generadora.

Por otra parte, la soldadura manual es aplicable a casi todos los tipos de aceros: al carbono, débilmente aleados, inoxidable, resistentes al calor, etc., y a gran número de metales y sus aleaciones, de cobre y zinc, principalmente.

Asimismo, la soldadura manual es utilizable en todas las posiciones y para todos los perfiles: a tope, en ángulo y a solape, en horizontal, en vertical y sobre cabeza.

No obstante, factores como la productividad y la mayor uniformidad de las soldaduras obtenidas para determinadas, aunque numerosas, aplicaciones, hace que otros procedimientos vayan desplazando a la soldadura manual.

### **Principios del proceso de soldadura por arco:**

En esencia el procedimiento consiste en el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado que requiere un generador de corriente adecuada dotado de dos terminales, uno de los conectados por medio de un cable a un

portaelectrodo, en cuya pinza se sujeta un electrodo revestido; el otro terminal se conecta, a su vez, a través de un cable de retorno y una pinza de masa, a la pieza. El circuito se cierra a través del arco, que salta en el extremo del electrodo y el punto de soldeo en la pieza.

El proceso se inicia con el cebado del arco, operación consistente en tocar, por brevísimos instantes, la pieza con el extremo libre del electrodo, cerrándose durante ese corto tiempo el circuito. El paso de corriente genera, por efecto Joule, el calentamiento del punto de contacto y de las zonas inmediatas, particularmente del extremo del electrodo. La temperatura alcanzada por este puede llegar a la de incandescencia, a pesar del corto tiempo del contacto, siendo suficiente para que, una vez separado el extremo del electrodo de la pieza, el metal del extremo libre del mismo produzca una fuerte emisión de electrones que se aceleran por la tensión chocan con los electrones de otros átomos del medio gaseoso a los que expulsa de sus orbitas, lo cual genera una atmósfera ionizada en su entorno que permite el paso de corriente a través del aire, con lo que, a los electrones emitidos por el electrodo incandescente se suma el torrente de electrones conducido por esta, que se proyectan sobre el ánodo, provocando su fusión parcial y produciéndose así el salto del arco.

El arco eleva extraordinariamente la temperatura, muy por encima de la de fusión del metal – temperaturas del orden de 5000° C son normales en cualquier arco – de forma que, tanto el extremo del electrodo como la zona afectada por el arco en el metal base, se funden. Del extremo del electrodo se desprenden pequeñas gotas de metal fundido, que se proyectan sobre el metal de base también fundido, mezclándose con el y formando lo que se denomina baño de fusión.

A medida que el electrodo se va consumiendo con este proceso, se hace avanzar el baño fundido a lo largo de la unión a soldar, al tiempo que la difusión del calor a través del metal base no fundido hace descender la temperatura por debajo del punto de fusión del metal, por lo que al parte del baño fundido que deja de estar en contacto directo con el arco se va solidificando, siguiendo a éste en su desplazamiento formando lo que denominamos el metal soldado.

Cuando la parte útil del electrodo se ha consumido se interrumpe el arco solidificándose la última porción de baño fundido y obteniéndose así un cordón de soldadura correspondiente a un electrodo. La parte final del electrodo o punta, no utilizable se desecha, sustituyéndola por un nuevo electrodo, con lo que se reanuda y se repite el ciclo antes descrito, la

sucesión de cordones, hasta la terminación de la unión a soldar constituyen la soldadura propiamente dicha.

### **El proceso de soldadura por arco sumergido**

#### **SAW (Submerged Arc Welding)**

Consiste en la fusión de un electrodo continuo, protegido por la escoria generada por un fundente (flux), granulado o en polvo, con el que se alimenta el arco por separado.

El sistema es totalmente mecanizado y permite obtener grandes rendimientos en producción.

El arco eléctrico se establece entre el electrodo metálico y la pieza a soldar. Como electrodos, pueden utilizarse uno o varios alambres o hilos simultáneamente o bien flejes o bandas.

El flux protege el arco y el baño de fusión de la atmósfera circundante, de tal manera que ambos permanecen invisibles durante el proceso. Parte del flux se funde con un papel similar al recubrimiento en los electrodos revestidos: protege el arco, lo estabiliza, genera una escoria de viscosidad y tensión superficial adecuadas e incluso permite añadir elementos de

aleación o compensar la pérdida de ellos. El resto de flux, no fundido, puede recuperarse y reciclarse en el proceso.

Este proceso es bastante versátil y se utiliza para unir metales férreos y sus aleaciones. También se emplea para revestir materiales bajo el procedimiento overlay (recargue); bajo este proceso normalmente se sueldan aceros:

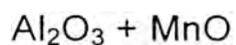
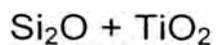
- Al carbono hasta 0.30 % de C
- Al carbono de baja aleación tratados térmicamente: recocidos, normalizados, normalizados y revenidos o templados y revenidos
- Al cromo - molibdeno
- Inoxidables austeníticos.

Los electrodos se suministran en forma de alambre sólido o compuesto a partir de hilo hueco con el flux en su interior, y en forma de fleje o banda especiales para depósitos por recargue. Normalmente se presentan arrollados en carretes de 10 a 500 Kg. de peso mientras que el fleje se usa en bobinas.

Los Fundentes: son mezclas de compuestos minerales. Entre ellos se encuentran  $\text{SO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO}$ ,

ZrO<sub>2</sub>, y CaF<sub>2</sub>. Estas sustancias cumplen con objetivos diversos como escorificación, viscosidad, desoxidación, ionización, etc.

Como ocurre con los electrodos revestidos para soldadura manual, el fabricante del fundente se reserva la composición química completa del mismo, todo lo más ofrece porcentajes parciales de elementos agrupados por familias que ejercen una acción similar.



Existen fluxes fundidos, en los que la materia prima triturada y calcinada se mezcla en seco y se funde posteriormente en horno eléctrico o en cubilote a una temperatura entre 1500°C y 1700°C. Después de la fusión y de cualquier adición final, la carga es colada y enfriada. El resultado es un producto, con apariencia cristalina, que es triturado, secado, cribado para clasificación según tamaño y posteriormente envasado. Sus ventajas son:

- Buena homogeneidad química
- Fácil eliminación de los finos, sin que afecte al composición del flux
- Normalmente no giroscópicos, lo que simplifica su manejo y almacenamiento, al mismo tiempo elimina problemas de soldadura.

Permite el reciclado sin cambios significativos en la composición de las partículas

Adecuados para altas velocidades de soldeo

Tiene limitaciones en cuanto a la intensidad máxima de utilización a efectos de estabilidad de elementos del flux, que es aproximadamente 800 A. Al no ser higroscópicos, es suficiente tratarlos a unos 200°C para eliminar la posible humedad.

También existen fluxes Cohesionados (son materias primas calcinadas, pulverizadas, mezcladas en seco y cohesionadas con silicato potasico, silicato sódico o una mezcla de ambos), fluxes aglomerados (con proceso de fabricación similar a los cohesionados, excepto que se utiliza un aglomerante cerámico en lugar de silicato), fluxes mezclados mecánicamente (se mezclan dos o mas fluxes fundidos, cohesionados o aglomerados en la proporción necesaria para conseguir los requerimientos deseados)

### **Soldadura por arco bajo gas de protección con electrodo consumible**

GMAW (Gas Metal Arc Welding) MIG MAG

Es un proceso relativamente reciente pues comenzó a emplearse en 1948 en la soldadura de Al y Mg utilizando un gas protector inerte y en el año 1951 en la soldadura de aceros al carbono.

La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en que el arco se establece entre un electrodo de hilo continuo y la pieza a soldar estando protegida la atmósfera circundante por un gas inerte, proceso MIG (Metal Inert Gas), o por un gas activo, proceso MAG (Metal Active Gas).

El proceso puede ser:

- Semiautomático. La tensión del arco, velocidad de alimentación del alambre, intensidad de soldadura y caudal de gas se regulan previamente. El avance de la pistola de soldar se realiza manualmente.
- Automático. Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regula previamente y se aplica en forma automática.
- Robotizado. En la actualidad el GMAW es el único proceso de soldadura por arco que se ha robotizado a nivel industrial. En este caso, todos los parámetros de soldadura, así como las coordenadas de localización de la junta a soldar, se programan

mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la realiza un robot al ejecutar la programación.

### **Soldadura por arco bajo gas de protección con electrodo no consumible (GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) TIG )**

El procedimiento de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible, también llamado TIG, utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que salta entre un electrodo no consumible y la pieza a soldar, mientras un gas inerte protege el baño de fusión. El material de aportación cuando es necesario, se aplica a través de varillas similar a la soldadura oxiacetilénica.

Aunque se trata de un proceso esencialmente manual, se ha automatizado para algunas fabricaciones en serie, como tubería de pequeño espesor soldada longitudinal o helicoidalmente y para la fijación de tubos a placas.

Su aplicación manual exige una gran habilidad por parte del soldador, por lo que estos operarios son altamente calificados. Puede emplearse en todo tipo de uniones o posiciones y en los materiales más diversos: acero al carbono, inoxidable, metales no ferrosos, etc.

## **LOS PROCESO DE SOLDADURA EN FIMA**

La empresa FIMA, cuenta en planta con los siguientes procesos de soldadura:

### **Soldadura manual por electrodo revestido.**

#### **SMAW (Shield Metal Arc Welding):**

El nombre interno de este proceso en FIMA es: Soldadura Manual por electrodo de varillas cuya identificación como centro de trabajo y centro de costos es: SME; se emplea para trabajos de producción donde la zona a soldar no es fácilmente accesible, también se emplean en trabajos de mantenimiento o reparaciones de partes y piezas.

Su utilización ha ido disminuyendo gradualmente con la incorporación de procesos de soldadura semiautomática y automática con mejores ratios de productividad, actualmente se emplea en un 10% del uso en planta.

### **Soldadura por arco bajo gas de protección con electrodo consumible.**

#### **GMAW (Gas Metal Arc Welding) MIG MAG**

El nombre interno de este proceso en FIMA es: Soldadura Manual por Alambre cuya identificación como centro de trabajo y centro de costos es: SMA; se emplea para trabajos de producción cuando el material y proceso

lo permite, podemos decir que es el proceso por excelencia de uso intensivo en la empresa.

Su utilización ha ido incrementándose desde su incorporación en 1988, ha ido desplazando gradualmente al proceso de soldadura SME, actualmente se emplea en un 65% del uso en planta.

### **Soldadura por arco sumergido**

#### **SAW (Submerged Arc Welding):**

El nombre interno de este proceso en FIMA es: Soldadura por Arco Sumergido, cuya identificación como centro de trabajo y centro de costos es: SAS; se emplea para trabajos de producción en los casos en que la cantidad de material a depositar es alta o cuando las juntas soldadas son largas.

Su utilización incorporada en la empresa desde 1990, ha ido ganado espacio debido básicamente al desarrollo tecnológico y la experiencia ganada en este proceso, actualmente su utilización es de un 35%, teniendo cubierto la mayoría de juntas con planchas gruesas.

### **Soldadura por arco bajo gas de protección con electrodo no consumible ( GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) TIG)**

En FIMA se cuenta con dos variantes del proceso TIG, la primera es, para el caso de soldadura por proceso manual se considera dentro del grupo de la soldadura SMA, con esta denominación para efectos de centro de trabajo y centro de costos y para el caso de soldadura automatizada tipo orbital (soldadura de tubos de paredes delgadas a placas portatubos en forma automatizada); se denomina internamente como SORB (soldadura orbital).

El proceso TIG se emplea en FIMA, para casos en que se requiere soldadura de alta calidad, como por ejemplo: tuberías de alta presión, en estos casos por ejemplo el pase de raíz se efectúa con proceso TIG; para el caso de planchas delgadas de acero inoxidable donde el grado de acabado de las juntas es adecuado para aplicaciones sanitarias, procesamiento de alimentos, etc.; para el caso de tubos de paredes delgadas a placas portatubos se emplea por su alta productividad y calidad de las costuras alcanzadas; y en aplicaciones para aceros especiales.

La elección entre uno y otro proceso de soldadura en caso existan alternativas se hace a través de una evaluación económica, teniendo

como punto de partida los rendimientos alcanzados en cada proceso y los costos que implican.

A continuación mostramos la evolución de los procesos de soldadura en FIMA S.A.

**Cuadro de evolución y distribución porcentual de los Procesos de Soldadura en FIMA**

Soldadura Manual 100 %	Soldadura mecanizada 10%	Soldadura Mecanizada 35%
	Soldadura Semiautomática 20%	
	Soldadura Manual 70 %	Soldadura Semiautomática 65%
		Soldadura Manual 10%
1970 - 1990	1990 - 2000	2000 - 2006

**Hitos importantes:**

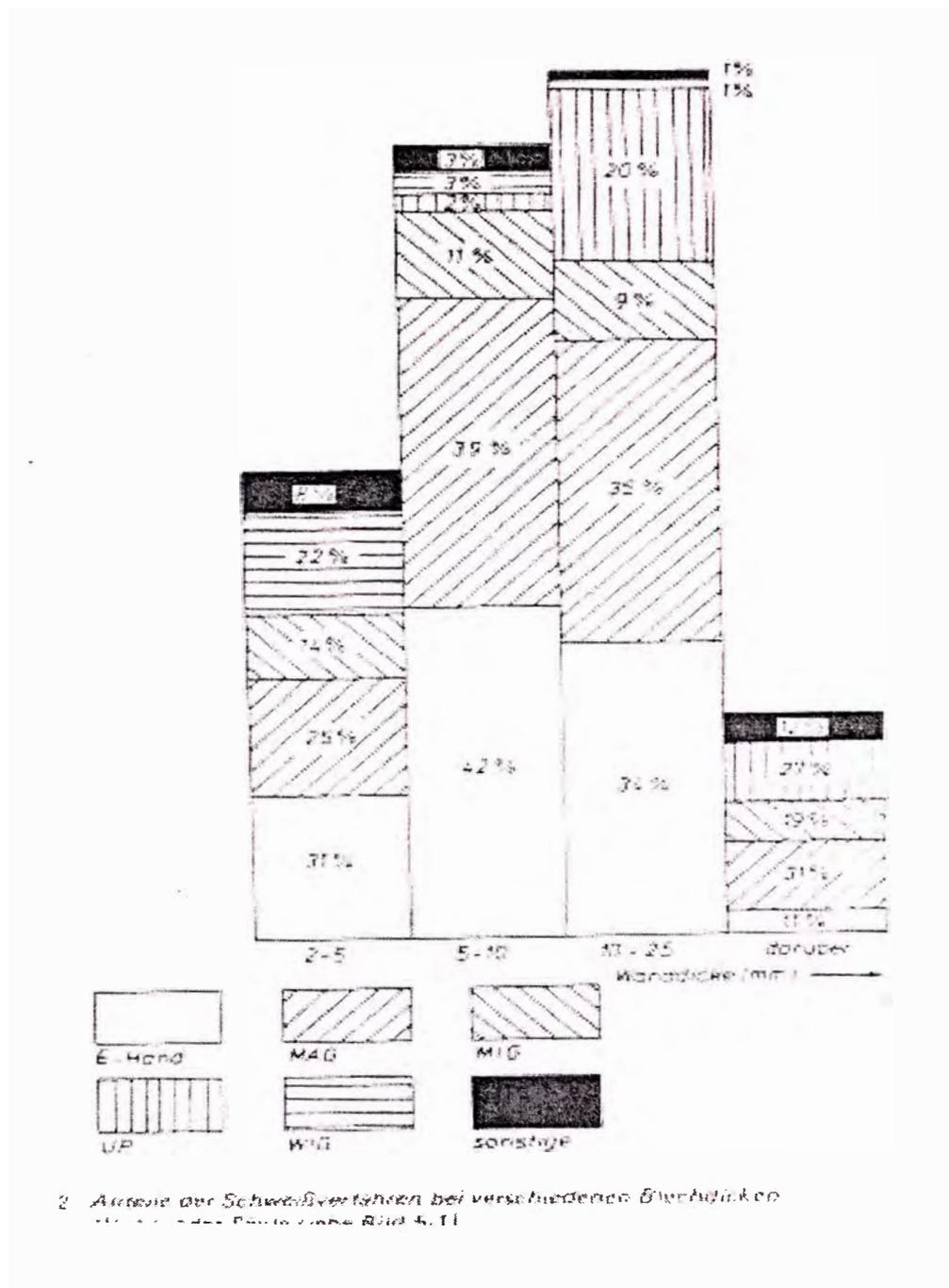
1970: inicio de operaciones

1988: inserción de las primeras máquinas con proceso MIG / MAG

1989: inserción de las primeras máquinas con proceso de arco sumergido

**Proyección**

2008: Robot en la línea de soldadura operando



2. Artweise der Schweißverfahren bei verschiedenen Blechdicken  
 (aus dem Buch von Bild 5.11)

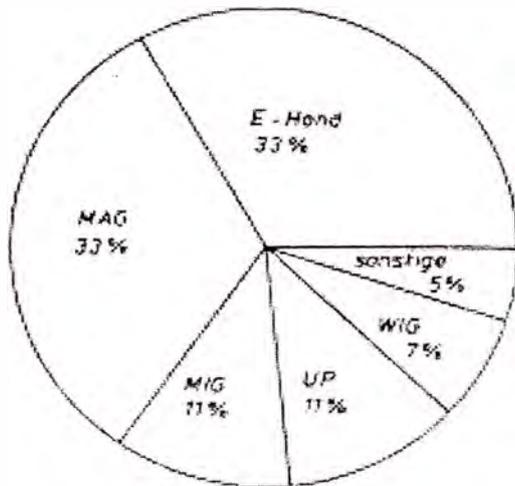


Bild 5-3 Verteilung der Anwendung der Schweißverfahren

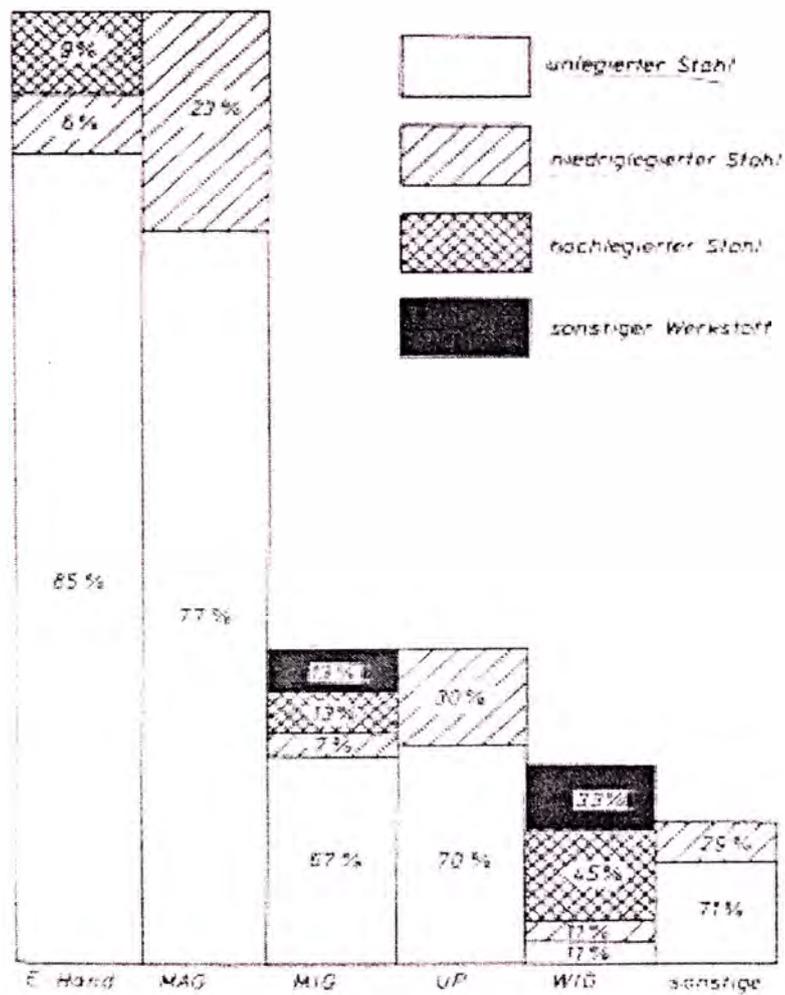


Bild 5-4 Verteilung der Anwendung der Schweißverfahren auf die Werkstoffgruppen

En los diferentes trabajos que realiza FIMA son necesarios varios procesos de soldaduras, dependiendo del tipo de material para un producto específico, los tipos mas comunes de materiales con los que se trabaja (considerando la mayoría de los productos FIMA) son los siguientes:

<b>Material ASTM</b>	<b>Grados</b>	<b>Descripción</b>
A 36		Acero al carbono estructural.
A 283	A B C D	Acero al carbono, resistencia baja e intermedia.
A 284	A B C D	Acero al carbono-silicio para piezas de máquinas y construcción.
A 285	A B C	Acero al carbono para recipientes a presión.

Para los materiales mencionados FIMA, cuenta en planta con los siguientes procesos

### 3.3 El Proceso de Soldadura MIG/MAG

Es un proceso relativamente reciente pues comenzó a emplearse en 1948 en la soldadura de Al y Mg utilizando un gas protector inerte y en el año 1951 en la soldadura de aceros al carbono.

El elevado precio de los gases inertes condujo rápidamente a estudiar la posibilidad de utilizar gases activos, puros o mezclados con aquellos

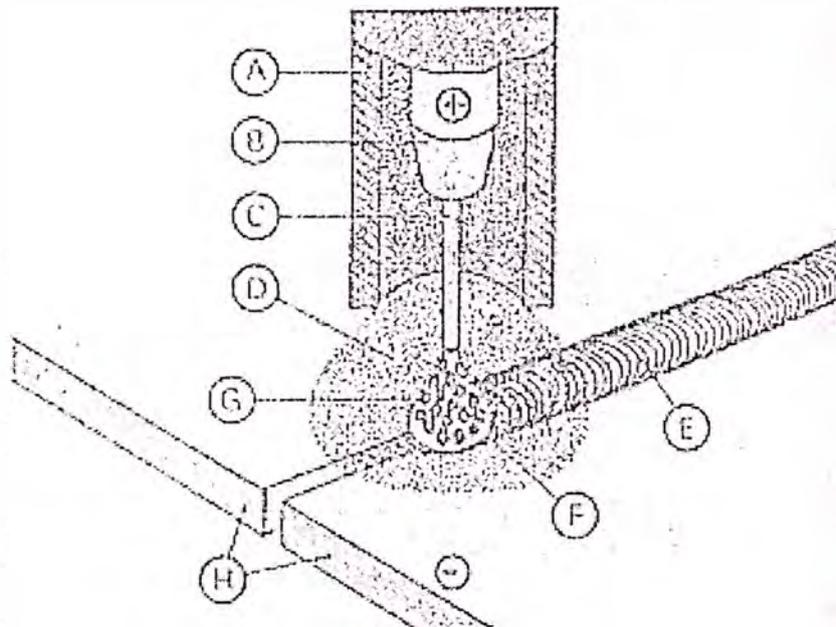
#### Principios del proceso:

Descripción: La soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible es un proceso en que el arco se establece entre un electrodo

de hilo continuo y la pieza a soldar estando protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte, proceso MIG. Metal Inert Gas, o por un gas activo, proceso MAG. Metal Active Gas.

En la figura se muestra esquemáticamente, los principios de este proceso GMAW.

- A: Conductión del gas
- B: Tubo de contacto
- C: Metal de aportación
- D: Gas de protección
- E: Cordon de soldadura
- F: Metal fundido
- G: Arco
- H: Metal base



El proceso puede ser:

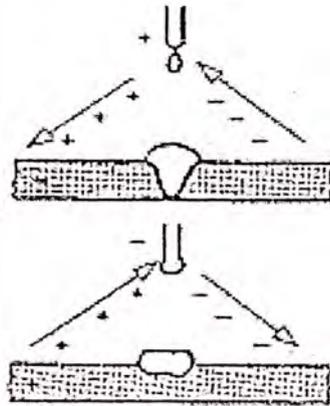
- Semiautomático. La tensión de arco, velocidad de alimentación del hilo, intensidad de soldadura y caudal de gas se regulan previamente. El arrastre de la pistola de soldadura se realiza manualmente.

- Automático. Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente y se aplican en forma automática.
- Robotizado. En la actualidad el GMAW es el único proceso de soldadura por arco que se ha robotizado a nivel industrial. En este caso, todos los parámetros de soldeo, así como las coordenadas de localización de la junta a soldar, se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la realiza un robot al ejecutar la programación.

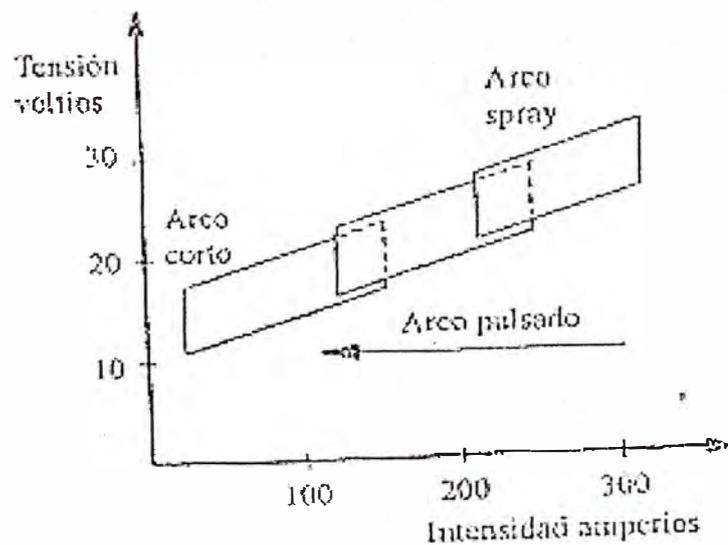
### **Influencia de los Distintos Parámetros:**

El comportamiento del arco, la forma de transferencia del metal a través del mismo, la penetración, forma del cordón, etc., están condicionados por la conjunción de una serie entre los que destacan:

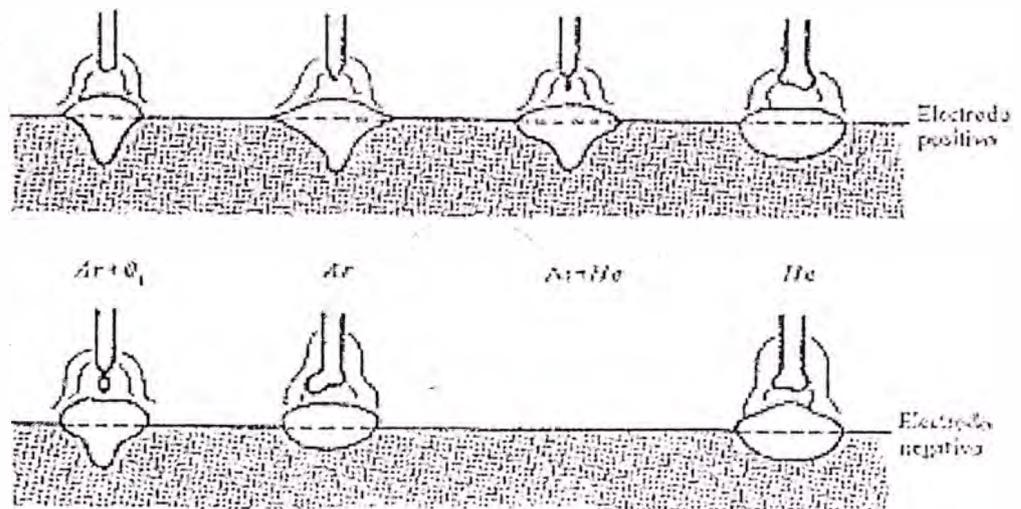
- Polaridad. Afecta a la forma de transferencia, penetración, velocidad de fusión del hilo, etc. Normalmente, se trabaja en polaridad inversa. En la figura se indica la influencia de la polaridad en la penetración.



- Tensión de arco. A diferencia de lo que ocurre en el soldeo manual, este parámetro puede regularse a voluntad desde el propio generador y resulta determinante en la forma de transporte. En la figura pueden verse las regiones del plano tensión – intensidad para que la transferencia de metal de aporte se realice por arco corto o por arco spray, que se describen más adelante.



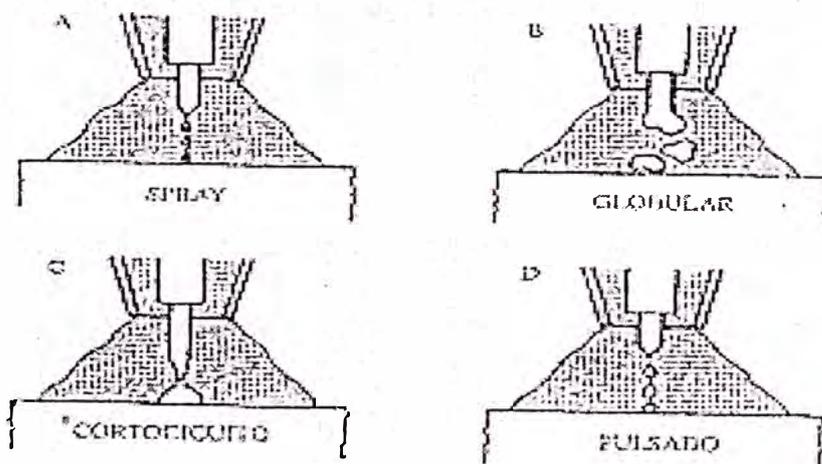
- Velocidad de alimentación del hilo. En esta técnica no se regula previamente la intensidad de soldadura, sino que ésta por el fenómeno de autorregulación resulta a la velocidad impuesta al hilo.
- Naturaleza del gas. Presenta una notable influencia sobre la transferencia del metal, penetración, aspecto del cordón, proyecciones, etc. En la figura se muestran la forma de los cordones y las penetraciones típicas de este proceso en función del tipo de gas.



### Modalidades del transporte.

Como ya se ha mencionado, la polaridad, la tensión, intensidad de soldadura y naturaleza del gas, condicionan notablemente el comportamiento del arco y dan lugar a muy distintas formas de transferencia del metal.

En la figura se esquematizan las distintas formas de transferencia, las cuales se describen seguidamente



#### Arco "Spray"

La transferencia de metal en este caso se realiza a través de gotas muy finas. El arco es estable y la pulverización de metal se lleva a cabo de forma ininterrumpida y similar a como se indica en la zona (A) de la figura anterior.

Se caracteriza por un cono de proyección muy luminoso y por un zumbido característico.

Para que un arco se comporte de esta forma es necesario que:

- El hilo se encuentre conectado al polo positivo (polaridad inversa)
- El gas de protección debe ser argón, mezcla de argón con algo de  $O_2$  o de argón con  $CO_2$
- Existía una elevada densidad de corriente
- La tensión de arco sea relativamente alta.

### Arco pulsado

Una variante del sistema de transferencia spray es el arco pulsado, empleado por primera vez en 1965. Este tipo de arco se produce gracias a un equipo de soldadura, combinado con un generador de frecuencias que opere con 50 – 100 Hz. Se superponen dos corrientes, una ininterrumpida y de débil intensidad llamada de base cuyo destino es proporcionar al hilo la energía calorífica necesaria para su fusión. La otra corriente es constituida por una sucesión de pulsaciones a la misma frecuencia. Cada pulsación, eleva la intensidad a 200 A y provoca la proyección de una gota de metal fundido. Esto no ocurre más que en el momento de la pulsación, que es cuando la densidad de corriente es la suficiente para que exista transferencia.

Cuando se suelda con corriente continua pulsada es posible operar con arco spray con menores valores de intensidad que con corriente normal. Como consecuencia de lo anterior, la energía aportada a la pieza durante la soldadura es menor.

### Arco globular

Cuando se opera con este tipo de arco, ver figura, zona (B), el hilo se va fundiendo por su extremo a través de gotas gruesas, de un diámetro hasta tres veces mayor que el del electrodo. Al mismo tiempo, se puede observar que la gota al desprenderse oscila de un lado hacia el otro. Como podemos deducir, la transferencia del metal es dificultosa.

El arco es inestable, de poca penetración y produce numerosas proyecciones, por lo que no es recomendable su empleo.

El arco suele comportarse de esta forma cuando:

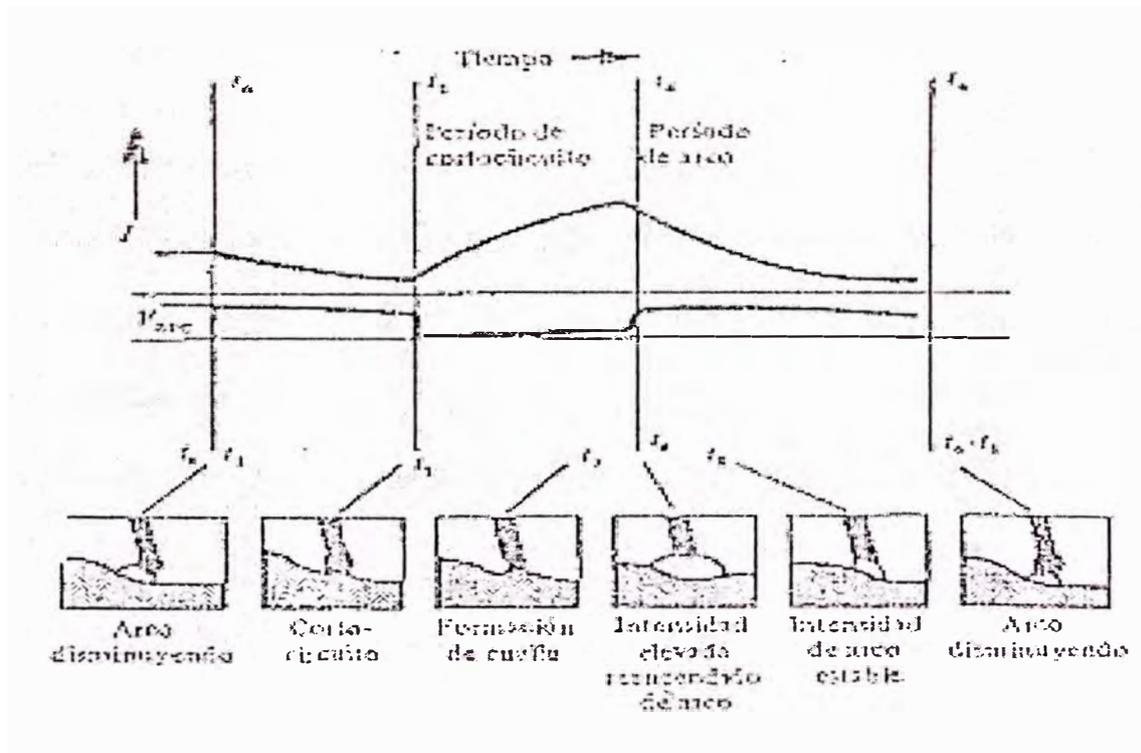
El hilo se encuentra conectado al polo negativo (polaridad directa)

La densidad de corriente es inferior que en el arco spray.

### Arco corto o cortocircuito

En esta forma de transferencia, descubierta en 1956 y que muestra la siguiente figura, el extremo del hilo se funde formando una gota que se va alargando hasta el momento en que toca el metal de base, y a causa de la

tensión superficial se corta la unión con el hilo. En el momento de establecer contacto con el metal de base se produce un cortocircuito, aumenta mucho la intensidad y como consecuencia, las fuerzas axiales rompen el cuello de la gota y simultáneamente se reanuda el arco.



Para que un arco se comporte de esta forma, es necesario que:

- El hilo se encuentre conectado al polo positivo (polaridad inversa);
- La densidad de corriente sea baja;
- El gas de protección sea  $CO_2$  o mezclas Argón /  $CO_2$ ;
- La tensión de arco sea relativamente baja.

Con este tipo de arco se sueldan piezas de reducidos espesores, porque la energía aportada es pequeña en relación con el arco spray. Es ideal para soldaduras en vertical, en cornisa y bajo techo, porque el baño de fusión es reducido y fácil de controlar.

### Productos de Aporte

#### Hilos

En la soldadura MIG/MAG, el electrodo consiste en un hilo macizo o tubular continuo de diámetro que oscila normalmente entre 0,8 a 1,6 mm. Los diámetros comerciales son 0,8, 1,0, 1,2, 1,6, mm. En ciertos casos de soldeo con fuerte intensidad, se emplea hilo de 2,4 mm de diámetro.

Se presenta arrollado, al azar o por capas, en bobinas de 15 Kg., aunque en instalaciones automatizadas pueden llegarse a emplear carretes de 100 Kg. o mayores.

El hilo suele estar recubierto de cobre para favorecer el contacto eléctrico con la boquilla, disminuir rozamientos y protegerlo de la oxidación.

En general, la composición del hilo macizo suele ser similar a la del material de base. No obstante, para su elección hay que tener en cuenta

la naturaleza del gas protector, por lo que se debe seleccionar la pareja hilo-gas. Por ejemplo, cuando se suelda con CO<sub>2</sub> existe el riesgo de formación de poros. Con objeto de evitarlos conviene que el hilo posea una cierta cantidad de elementos desoxidantes, como Si y Mn, que reaccionan con el O<sub>2</sub> procedente de la disociación del CO<sub>2</sub> y producen SiO<sub>2</sub> y MnO, que se eliminan en forma de escoria muy ligera.

Si utilizamos hilo macizo continuo en la posición vertical ascendente el material se descuelga por gravedad, a causa del tamaño del baño de fusión. El inconveniente se atenúa con el uso del arco corto, pero con el inconveniente de que los espesores que se pueden soldar son sensiblemente menores.

Una solución al problema la constituye el proceso de soldeo FCAW-Flux Core Arc Welding-, cuyo material de aporte, los hilos tubulares, se muestran en la figura adjunta en diversas secciones junto al sistema de fabricación a partir de fleje metálico.

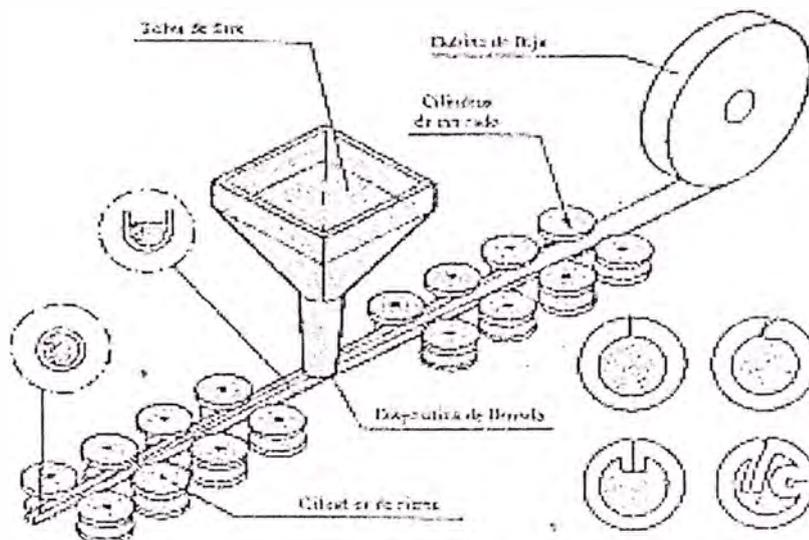
En estos hilos el flux se encuentra protegido por el propio metal de aporte lo que, de partida, les confiere una reducida concentración de hidrógeno.

Los diámetros mas frecuentes que ofrece el mercado son: 1,2 - 1,4 - 1,6  
- 2,4 mm

Los gases de protección mas usuales son el CO<sub>2</sub>, y mezclas A-CO<sub>2</sub>  
(80% - 20%).

La longitud libre de hilo o stick-out oscila entre 10 y 20 mm

Las pistolas pueden refrigerarse con agua y poseen dispositivos que aspiran los gases de soldeo.



## Clasificación

Al igual que los electrodos manuales se clasifican en rutilos y básicos. Además, existen otros dos tipos: gran rendimiento y autoprotegidos.

## Rutilos

El hilo se conecta normalmente al polo positivo. La penetración se ajusta con facilidad y el cordón tiene un aspecto suave y uniforme. La cascarilla se elimina fácilmente. En ocasiones se añade Ni al flux para mejorar la tenacidad.

La tasa de deposición oscila entre 3 y 5 kg /h en pasadas de raíz y relleno, respectivamente.

## Aplicaciones

Soldadura de aceros al carbono y de medianas características mecánicas, a las que no se exija una elevada tenacidad.

## Básicos

El hilo se conecta normalmente al polo negativo. El Flux contiene C, Mn y además Ni y Mo. Estos últimos mejoran la tenacidad y las características mecánicas de la unión. El metal depositado contiene muy poco hidrógeno y ofrece unas excelentes características mecánicas.

### Aplicaciones

Soldadura de aceros a la que se exija una elevada tenacidad y de piezas de grandes espesores sometidas a fuertes embridamientos

### Gran rendimiento

El hilo se conecta indistintamente a polo positivo o al negativo, aunque los mejores acabados se consiguen con polaridad negativa. Se pueden usar también con corriente alterna.

El relleno de estos hilos, metal cored, es polvo metálico con pequeñas cantidades de sustancias estabilizadoras del arco. Prácticamente no depositan escorias y se pueden utilizar en cualquier posición.

### Aplicaciones

De todos los hilos tubulares son los más parecidos al hilo macizo en cuanto a calidad y características del metal depositado.

### Auto protegidos

En este tipo de hilo tubular no es preciso gas protector por lo que la pistola resulta más ligera, al liberarse del lastre que supone la alimentación gaseosa. La razón es que el propio flux contiene polvo

metálico y fundente con sustancias que generan una barrera de gas que protege el baño. De ahí, su nombre de auto protegidos o self shielded.

### Aplicaciones

El empleo de estos hilos resulta útil cuando el acopio o el transporte de gas son difíciles y, en general, en el soldeo al aire libre.

### Gases de Protección:

La naturaleza del gas de protección es muy importante puesto que influye notablemente en:

- La cantidad de energía aportada;
- El tipo de transferencia;
- La penetración;
- La velocidad de soldeo;
- El aspecto del cordón;
- La probabilidad de proyecciones y mordeduras.

### Soldadura MIG

Emplea como gas protector un gas inerte, que es muy estable y no reacciona en el arco. De los seis gases inertes: argón, helio, neón, criptón, xenón, y radón, el argón es el que mas se emplea en Europa y el Helio, en Estados Unidos. El helio y el argón se comportan de forma muy

diferente en el soldeo MIG. El argón se ioniza fácilmente, de manera que la tensión del arco bajo argón es sensiblemente inferior que bajo helio.

El argón puro solo se utiliza en la soldadura de Al, Cu, Ni y Ti. Si se aplica al acero, produce mordeduras y cordones de contorno irregular.

Por la forma del cordón, provoca faltas de penetración en la raíz de la junta.

#### Argón + O<sub>2</sub>

El oxígeno actúa sobre la tensión superficial de la gota, mejorando la capacidad de "mojado".

La adición de oxígeno mejora la penetración, ensanchando la parte inferior del cordón. También disminuye la tendencia a producir mordeduras. Se considera que la adición de hasta un 5% de O<sub>2</sub> no modifica el carácter de inerte para utilizar esta mezcla en soldadura MIG.

#### Helio

Produce cordones más anchos y con una penetración menor cuando se suelda con argón.

En Europa, el helio es escaso y resulta caro, por lo que ha sido desplazado por el argón,

### Soldadura MAG

Emplea como gas protector un gas activo, o sea, que interviene en el arco de forma más o menos decisiva.

### CO<sub>2</sub>

Es un gas incoloro, inodoro y de sabor picante, una vez y media mas pesado que el aire. Se obtiene industrialmente por la combustión del carbón o compuestos del carbono, en exceso de oxígeno o de aire.

Características: Es un gas activo, de carácter oxidante, que a la elevada temperatura del arco tiene tendencia a disociarse de acuerdo con la siguiente reacción:



El oxígeno resultante de la disociación es particularmente activo. Se combina con el O<sub>2</sub>

Del acero dando de nuevo CO. Se produce así un empobrecimiento en carbono si no se utiliza un hilo con suficiente contenido de elementos

desoxidantes como Si y Mn y la cantidad adecuada de C. Si la densidad de corriente es elevada provoca una mayor disociación del  $O_2$  convirtiéndole en más activo todavía.

El carácter oxidante de la atmósfera de  $CO_2$  obliga a utilizar hilos de aporte ricos en elementos desoxidantes. No se debe utilizar en la soldadura de aceros al Cr - Mo por el riesgo de oxidación del cromo tanto del metal de base como del aportado en el hilo, ni en la de los aceros inoxidable austeníticos, pues favorecería la generación de carburos de cromo con la consiguiente pérdida de resistencia a la corrosión como tendremos ocasión de comprobar.

Con  $CO_2 < 99,0 \%$  es inevitable la porosidad. Las soldaduras solo estarán exentas de poros si la pureza del  $CO_2$  es superior a 99.85% y el nitrógeno y el hidrógeno son inferiores cada uno a 0,05%.

Es un gas mucho más barato que el argón, que se disocia en CO y  $O_2$  a las altas temperaturas propias del arco.

Entre sus ventajas se encuentra la de conseguir penetraciones más profundas y anchas en el fondo del cordón, lo que mejora su contorno, y también la de reducir el riesgo de mordeduras y faltas de fusión.

El inconveniente está en que produce arcos relativamente enérgicos, que suelen provocar proyecciones.

Aplicaciones en soldadura y técnicas afines: Es el único gas que puede utilizarse individualmente como atmósfera protectora en la soldadura de acero al carbono. Su ventaja principal consiste en su poder de penetración y en resultar mucho más barato que el A. El mayor inconveniente es que origina un arco eléctrico poco estable que conduce a cordones menos lisos y con mayor cantidad de proyecciones.

Su elevada conductividad térmica en relación con el A producirá en sus mezclas con este gas un incremento en la penetración.

#### Argón + CO<sub>2</sub>

Cuando se trata de soldar chapas de acero delgadas se utilizan mezclas de argón con CO<sub>2</sub> en proporciones de CO<sub>2</sub> que van del 15 al 25%.

Con esta mezcla se consigue:

- Mejor visibilidad del baño;
- Arco más suave con menos turbulencias;
- Baño de fusión más frío;
- Mejor aspecto del cordón;
- Menos proyecciones;

- Mas fácil regulación;

El único inconveniente de la mezcla es de tipo económico. Sin embargo, hay que comparar la incidencia del valor del gas en el coste final de la soldadura y por otra parte, la mejora del factor de marcha y a la obtención de mejores características mecánicas en la unión soldada.

### Oxigeno

Es un gas diatómico, incoloro, inodoro e insípido, que se encuentra presente en la atmósfera en la proporción del 21% en volumen. Se obtiene industrialmente por destilación fraccionada del aire líquido. También por electrolisis del agua, aunque en mucha menor escala pues su precio va íntimamente ligado al de la energía eléctrica.

Seguridad industrial: Es un gas muy activo, de carácter oxidante, que combina directamente con muchos elementos produciendo reacciones exotérmicas. El P, Na y Mg se inflaman espontáneamente en el aire. Recordemos que el Fe arde en atmósfera de oxigeno puro lo que constituye el fundamento del oxicorte, ya estudiado. Es el gas comburente por excelencia.

Características: A la temperatura del arco se disocia, de acuerdo con la siguiente reacción:



Parece un contrasentido que el oxígeno se utilice como gas de protección cuando una de las funciones de este último es precisamente aislar al baño del oxígeno de la atmósfera. Se ha comprobado, no obstante, que utilizado en pequeñas proporciones mejora sensiblemente la fluidez del baño, facilitando el mojado e incrementando la velocidad de soldeo.

Por una parte, los elementos desoxidantes incorporados en el hilo como el Si y el Mn neutralizan el efecto y por otra es muy pequeño el tiempo durante el cual es posible la reacción del oxígeno con el acero.

Aplicaciones en soldadura y técnicas afines: Mezclando con A aumenta la estabilidad del arco en soldadura MAG y la velocidad de transferencia del material. También mejora la forma y penetración del cordón.

Se emplea en siderurgia, soldadura oxiacetilénica, oxicorte y en las técnicas de buccodescompresión en cámaras hiperbáricas.

## Hidrógeno

Es un gas diatómico, incoloro, inodoro e insípido. En estado combinado es uno de los constituyentes más abundantes de los compuestos químicos. Pesa unas 14 veces menos que el aire, siendo por tanto su poder ascensional muy elevado.

Características: Es un gas combustible activo, de carácter reductor. Posee la estructura más simple de todos los átomos.

Aplicaciones en soldadura y técnicas afines: Se utiliza en soldadura, en el soplete oxhídrico y para producir atmósferas reductoras.

Mezclado con A ó He aumenta la velocidad de soldadura y corte.

## Nitrógeno

Es un gas diatómico incoloro, inodoro e insípido, que se encuentra presente en la atmósfera en la proporción del 78% en volumen. Se obtiene industrialmente por la destilación fraccionada del aire líquido.

Seguridad industrial: Es algo más ligero que el aire y aunque no es tóxico, podría provocar la asfixia por falta de oxígeno en lugares en donde hubiese desplazado al aire.

Características: No es combustible ni mantiene la combustión. El nitrógeno es el elemento más inactivo que se conoce, a excepción de los gases nobles. A 3500°C solo un 5% de las moléculas de N<sub>2</sub> están disociadas en sus átomos.

Es pues un gas inerte en su estado molecular. Sin embargo, a las elevadas temperaturas propias del arco eléctrico se disocia y se convierte en activo formando nitruro de hierro que reduce la ductilidad del acero.

Aplicaciones en soldadura y técnicas afines: Se ha intentado sustituir el He por N<sub>2</sub> en algunas aplicaciones de soldadura, pero proporciona menos calor y más humos.

Su uso se encuentra muy extendido en técnicas de corte. En soldadura, y por las razones antes apuntadas, se utiliza relativamente poco.

### Especificaciones

Las especificaciones actuales para hilos macizos de la American Welding Society a que obedecen son:

Electrodos macizos para aceros al carbono	AWS – A5. 18
Electrodos macizos para aceros de baja aleación	AWS - A5 .28
Electrodos macizos para aceros inoxidables	AWS – A 5. 9

Para los hilos tubulares rellenos de flux las especificaciones son:

Electrodos tubulares para aceros al carbono	AWS – A5 . 20
Electrodos tubulares para aceros de baja aleación	AWS – A5. 29
Electrodos tubulares para aceros inoxidable	AWS – A5. 22

#### Electrodos macizos para aceros al carbono

Estos hilos se clasifican en base a su composición química y las propiedades mecánicas del metal depositado.

#### Electros macizos para aceros de baja aleación

Estos hilos se clasifican de acuerdo con su composición química y las propiedades mecánicas del metal depositado. Incluye las clases siguientes:

- Clase B - Aceros al cromo-molibdeno.
- Clase Ni - Aceros al níquel.
- Clase D - Aceros al manganeso – molibdeno
- Clase S - Aceros de baja aleación no incluidos en las anteriores.

Electrodos macizos para aceros inoxidable.- Estos hilos se clasifican de acuerdo con su composición química y propiedades mecánicas e incluye

aceros en los que el Cr excede del 4% y el Ni no supera el 50% de la aleación.

### Electrodos tubulares para acero al carbono

Estos hilos se clasifican en base a los criterios siguientes:

- Tipo de corriente.
- Posición de soldeo
- Idoneidad para ser utilizado en soldadura de una o múltiples pasadas.
- Idoneidad para ser utilizado, o no, con gas de protección CO<sub>2</sub>
- Características mecánicas del metal depositado, sin tratamiento térmico posterior a la soldadura.

### Electrodos tubulares para aceros de baja aleación

Estos hilos se clasifican en base a los mismos criterios que los anteriores, más el de composición química que los divide en las clases siguientes:

- Clase A - Aceros al carbono-molibdeno.
- Clase B - Aceros al cromo-molibdeno.
- Clase Ni - Aceros al níquel.
- Clase D - Aceros al manganeso-molibdeno.

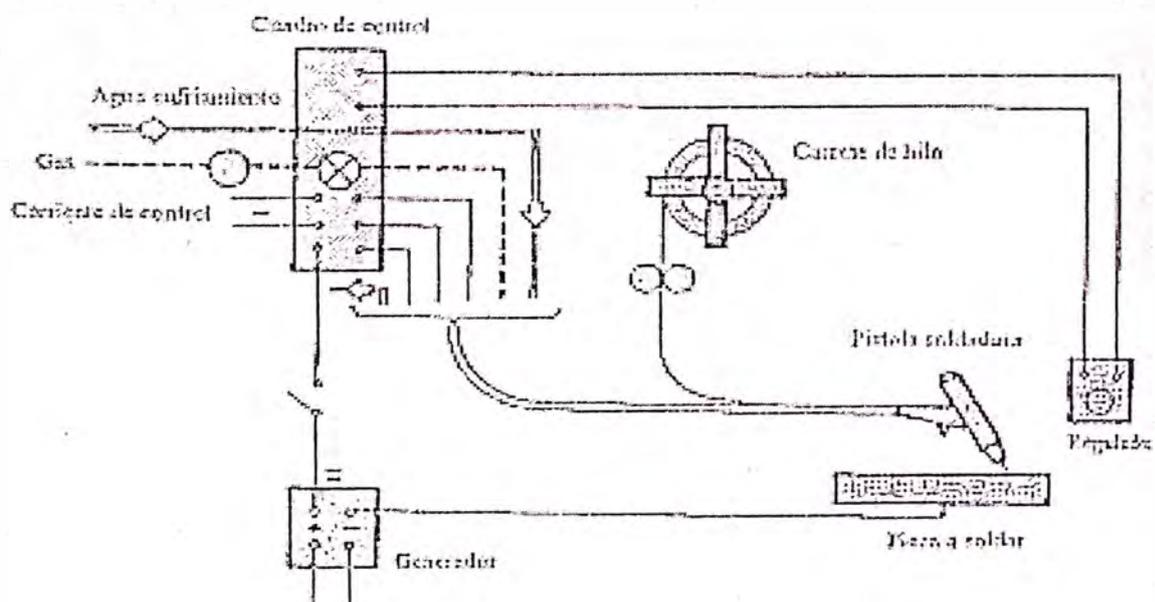
Clase K - Aceros de baja aleación, no incluidos en las clases anteriores.

### Electrodos tubulares para aceros inoxidables

Estos hilos se clasifican en base a la composición química del metal depositado y al tipo de gas de protección utilizado durante la soldadura. Esta especificación incluye acero en los que el Cr excede del 4% y el Ni no supera el 50% de la aleación.

### Instalación

En la figura se muestra el esquema de una instalación para soldadura GMAW, que consta de los siguientes elementos básicos:



Generador de corriente continua, elevado factor de marcha y en esta técnica, a diferencia de los utilizados en soldadura manual, se recurre a un equipo de potencial constante.

Unidad de alimentación del hilo. Puede ser independiente o integrada en el propio generador. Consiste en un pequeño motor que empuja el hilo continuamente; como complemento, pueden utilizarse pistolas las cuales llevan incorporado un reducido motor de accionamiento eléctrico o neumático que tira del hilo. Este sistema, conocido por “push-pull” se suele emplear cuando hay que soldar a gran distancia.

Circuito de gas protector.

Circuito de refrigeración, eventualmente.

Pistola de soldadura.

Conjunto de válvulas y órganos de reglaje y control.

### Ventajas y Limitaciones del Proceso

Este proceso de soldeo se caracteriza por:

- Ausencia de escoria;
- Alimentación automática del hilo;
- La gran densidad de corriente que admite;
- Gran flexibilidad de regulación.

De estas características se derivan, entre otras, las siguientes ventajas:

- Reduce tiempo y coste de las operaciones :
- Porque el hilo continuo evita pérdidas de material y los tiempos de cambio de electrodo, con ventaja sobre el SMAW.

En el SMAW el peso de puntas de electrodo no utilizadas, las proyecciones y el metal volatilizado representan unas pérdidas del orden del 20 % mientras que en MIG/MAG no sobrepasan el 5%.

- No requiere una pericia especial en el operario:
- Porque el soldador solo debe vigilar la posición de la pistola y mantener la velocidad de avance, comprobando que la alimentación del hilo y del gas protector, son las correctas.
- Alto rendimiento de soldeo con buena calidad :
- Porque admite elevadas densidades de corriente al ser muy pequeña la longitud del hilo bajo tensión: de 40 a 50 mm como máximo. En GMAW, la densidad de corriente es de 180 a 250 A/mm<sup>2</sup> se sección de hilo, mientras que, SMAW se limita a 20-25 A/mm<sup>2</sup>. Como consecuencia de la alta velocidad de avance, disminuye la anchura de la ZAT hay menos tendencia al aumento

de tamaño de grano, menos probabilidad de transformaciones en el metal de base y menos deformaciones;

- Porque los arcos escoria, permitiendo la visión del baño y el control de los defectos, con ventaja sobre los procesos SMAW y SAW.
- Buena seguridad e higiene :
- Porque los arcos funcionan con bajas tensiones y no producen emisiones de humos o polvos, procedentes de los revestimientos aunque se recomienda una buena ventilación si se suelda bajo CO<sub>2</sub>;
- Evita impurezas en el baño fundido :
- Porque el gas protector impide que el O<sub>2</sub> , el N<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub> de la atmósfera ser introduzcan en el baño fundido;
- Porque un hilo homogéneo, libre de impurezas y sin humedad adherida, es capaz de proporcionar un metal aportado con un contenido en hidrógeno = < 5 ml/100g, calificado como de “muy débil”

- Versátil:
- Porque es un proceso aplicable, tanto a materiales férreos y porque permite el soldeo en distintas posiciones y espesores.

Entre las limitaciones podemos citar:

- Necesidad de soldar en ambientes tranquilos pues, en caso contrario, pierde eficacia la protección gaseosa;
- Aunque su movilidad es aceptable, resulta inferior que en el proceso SMAW;
- La gama de materiales de aporte es limitada por las dificultades de trefilado de algunos aceros;
- Si no se aplica correctamente presenta una cierta tendencia a provocar faltas de fusión;
- El defecto de porosidad es frecuente en este proceso de soldeo, sobre todo si la técnica de aplicación no es correcta.

### Analogías y diferencia entre MIG y MAG

Seguidamente se exponen en forma de cuadro extractado las analogías y diferencia entre MIG y MAG.

Criterio	Procedimiento MIG	Procedimiento MAG
Gas de protección.	Normalmente Argón.	CO <sub>2</sub> o mezclas.
Generador.	De potencial constante o de Característica descendente.	De potencial constante.
Tipo de transporte.	(Gran capacidad). Solo arco spray.	Arco Spray o arco corto. (Depende del reglaje).
Metales a soldar.	Acero inox., cobre y	Solo aceros ordinarios.
Espesores a soldar.	Aluminio.	Todos.
Posiciones de soldeo.	Medios y gruesos.	Todas.
Regulación.	Solo fáciles.	Exige precisión
Visibilidad.	Poco sensible.	Regular.
Proyecciones.	Buena.	Abundantes
Limpieza bordes	Raras.	Admite piezas oxidadas
Humos.	Exige mucha limpieza. Poco molestos.	Pueden ser nocivos.

### **Últimos Avances en la Soldadura MIG**

La soldadura MIG, a pesar de que en la década de los 60 fue introducida como el proceso universal que sustituiría a los electrodos, si bien ha tenido éxito en aplicaciones específicas no ha logrado imponerse tal y como se esperaba. La incorporación de la pulsación para un mejor control del aporte térmico, que permite soldar en posición, cuenta con el profundo inconveniente de tener que fijar, aparte de los parámetros típicos de la soldadura MIG convencional, los que nos definen los pulsos, es decir, intensidad de fondo, intensidad de pico, anchura de pulso y frecuencia de los mismos, datos que no solo dependen del material sino también del gas de protección utilizado.

Las fuentes de energía han evolucionado permitiendo un mejor control de los parámetros de la pulsación y del proceso. Así, en Inglaterra, el Welding Institute demostró que era posible relacionar los parámetros del pulso y la velocidad de alimentación del hilo consiguiendo una transferencia de una única gota de metal de aporte por pulso manteniéndose el arco encendido el resto del tiempo llegando a un equilibrio entre fusión y alimentación. El resultado es un arco muy controlado en todo el rango de utilización con transferencia spray pulsada prácticamente sin proyecciones, obteniéndose soldaduras con penetración en todas las posiciones. Estos equipos se llaman sinérgicos,

porque los parámetros pulsados cambian progresivamente con la variación de la velocidad de alimentación del hilo y todos al mismo tiempo.

**Las ventajas de este proceso son:**

- La fuente de energía y el alimentador de electrodo no tienen que estar próximos, pudiéndose operar a distancia todos los controles. Normalmente, estas máquinas poseen un mando que permite realizar un ajuste fino de todos los parámetros con un solo botón para conseguir la estabilidad.
- Se puede soldar en todas las posiciones, gracias al perfecto control del aporte y la amplia gama de intensidades que puede utilizarse.
- El operario puede trabajar muy cerca del alimentador de hilo evitando problemas en la alimentación y mejorando la movilidad.
- Se consigue mantener una gran estabilidad y altura de arco, lo que permite un menor tiempo de aprendizaje del operario para conseguir soldaduras de calidad.

- Gracias al control del aporte térmico, se puede soldar con hilos de mayor diámetro que los que utilizaríamos con el proceso MIG convencional, lo que conlleva ahorros de costos de producción.

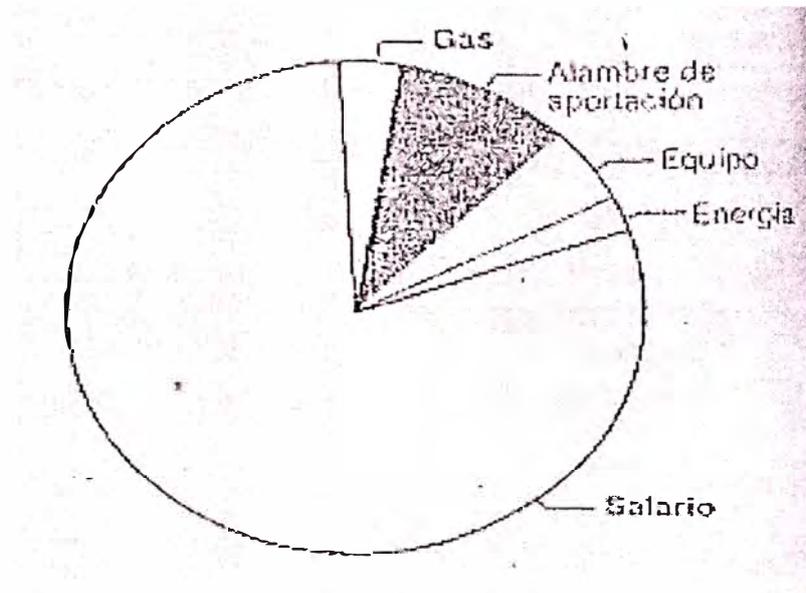
No cabe duda que la sinergia ha devuelto la esperanza en el empleo de los equipos MIG en la fabricación, aunque nuevamente será el tiempo el que nos indique si realmente es el proceso sustitutivo de otros, que tanto encarecen el producto por su gran dependencia de la mano de obra.

## Aplicaciones

### Selección del Gas de Protección

El usuario puede ensayar diversos tipos de gas y mezclas de gases con diferentes proporciones de cada uno de ellos, hasta conseguir el mejor resultado de acuerdo con los equipos del soldeo e hilos de aporte disponibles en el taller y la calificación de su personal.

La estructura de coste de la soldadura terminada es aproximadamente la que muestra la figura, por lo que el coste del gas puede llegar a ser irrelevante frente a otros factores, en especial el de la mano de obra.



### **Defectos Típicos del Proceso GMAW y sus causas**

El gas tiene por misión proteger el electrodo de alambre en fase de fisión y el baño de soldadura, del acceso de aire.

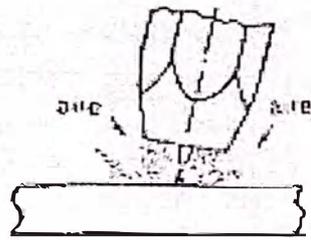
Cualquier fallo en la operatoria de soldeo puede conducir a los siguientes defectos:

Poros por canal  
incorrecto de gas:

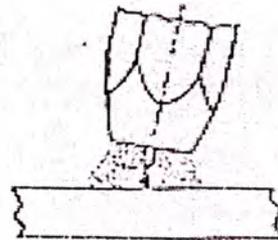
Arco corto: 30 l/min.  
Arco spray: 30 l/min

10 l/min  
15 l/min

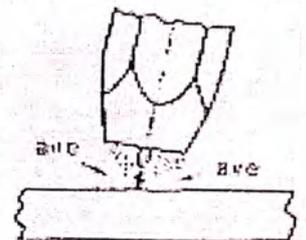
5 l/min  
8 l/min



mal

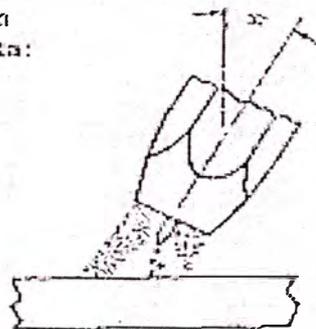


bien

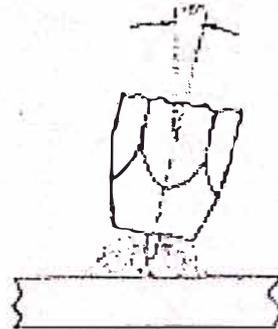


mal

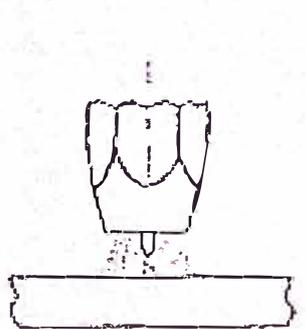
Poros debidos a man-  
tener la pistola en  
posición incorrecta:



mal



bien



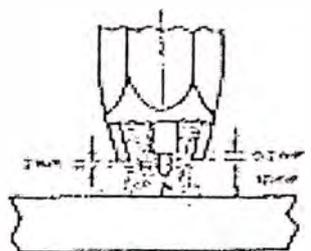
bien

Poros por ajuste incor-  
recto del tubo de  
contacto

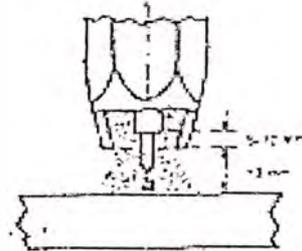
arco corto

arco spray

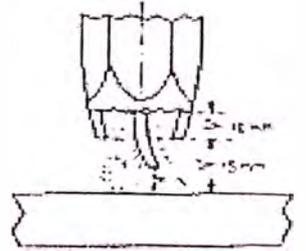
arco spray



correcto para pasada  
de raíz y en posiciones  
forzadas

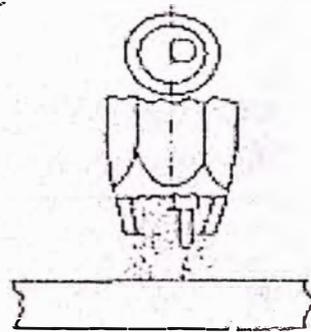


correcto para posición  
de llenado y posición  
normal

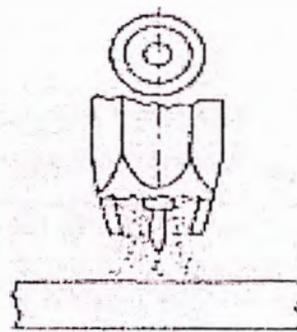


incorrecto

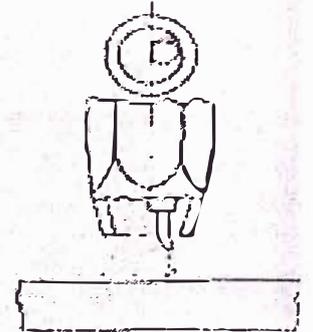
Poros producidos por tubo de contacto excéntrico



mal

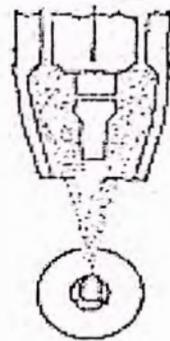


bien



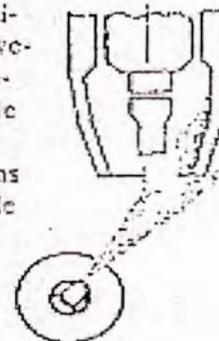
Si bien el tubo de contacto es excéntrico, la flexión del alambre es demasiado fuerte.

Poros debidos a obstrucción en salidas de gas:



Salida de gas obstruida: La niebla pulverizada no debe llegar a las salidas de gas, para que no queden depositadas allí salpicaduras de soldadura.

boquilla

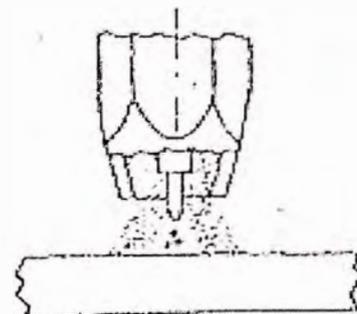


Salida libre de gas: El aerosol solamente evita que se depositen salpicaduras de soldadura en el borde del soplete, facilitando la limpieza.

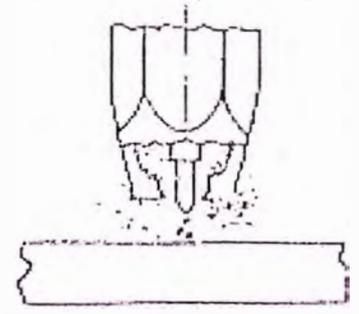
boquilla

Poros producidos por salpicaduras en la boquilla del gas de protección.

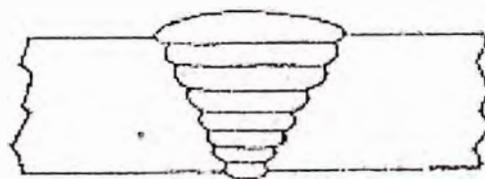
correcto: corriente laminar.



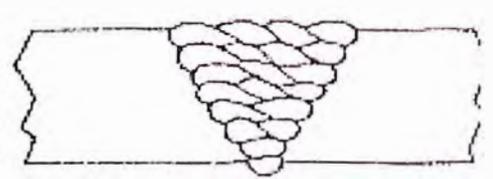
incorrecto: corriente estrechada y en remolinos.



Poros y defectos de unión debidos a formación incorrecta de soldadura (capas de llenado en chapas gruesas):



Incorrecto: cordón de soldadura anchos



Correcto: cordón de soldadura continuo

### Gases de Protección para Soldadura MIG y MAG de aceros

Material	Modalidad de transporte	Posición	Espesor, mm	
			< 5	>= 5
Aceros al Carbono	Spray	sobremesa cornisa	No recomendado	98A - 2O <sub>2</sub> 92A - 8CO <sub>2</sub>
	Spray pulsado	todas	98A - 2O <sub>2</sub> 92A - 8CO <sub>2</sub> (para varilla 0,6mm)	92A - 8CO <sub>2</sub>
	Cortocircuito	todas	75A - 25CO <sub>2</sub> 98A - 2O <sub>2</sub>	75A - 25CO <sub>2</sub> Dioxido de Carbono
Aceros de baja aleación	Spray	sobremesa cornisa	No recomendado	98A - 2O <sub>2</sub> 92A - 8CO <sub>2</sub>
	Spray pulsado	todas	92A - 8CO <sub>2</sub>	98A - 2O <sub>2</sub> 92A - 8CO <sub>2</sub>
	Cortocircuito	todas	75A - 25CO <sub>2</sub> 98A - 2O <sub>2</sub>	75A - 25CO <sub>2</sub>
Aceros inoxidable	Spray	sobremesa cornisa	No recomendado	98A - 2O <sub>2</sub> 92A - 8CO <sub>2</sub>
	Spray pulsado	todas	98A - 2O <sub>2</sub>	98A - 2CO <sub>2</sub>
	Cortocircuito	todas	90He - 7,5A - 2,5CO <sub>2</sub>	75A - 25CO <sub>2</sub> Dioxido de Carbono

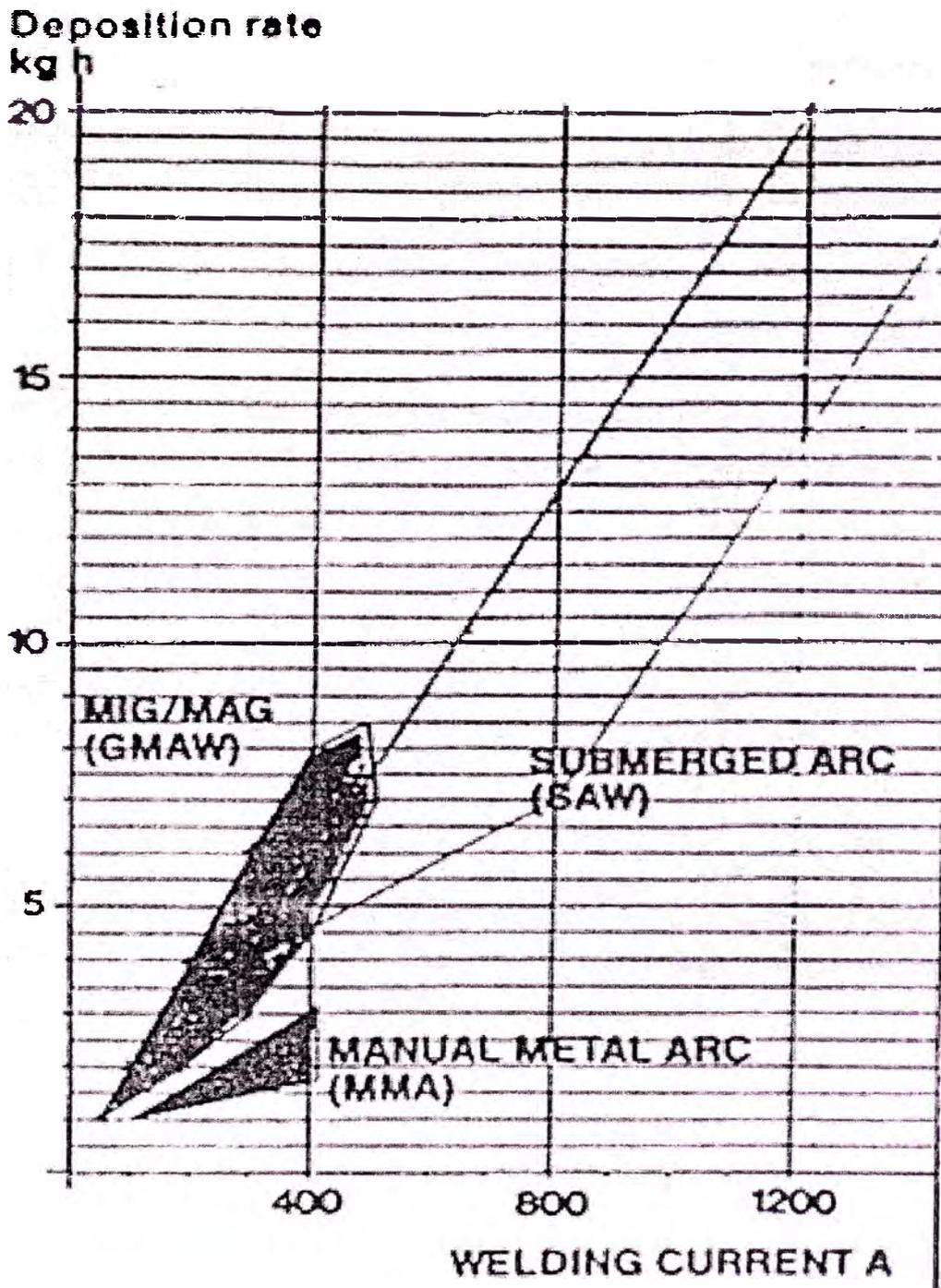
### 3.4 Productividad del Proceso de Soldadura

Los procesos de soldadura presentan tienen aplicaciones diversas dentro de un mismo material, esto es debido fundamentalmente por los espesores, su tasa de deposición y en consecuencia los valores de costos por material depositado.

La tasa de deposición es la relación (Kg. o lb.) de material depositado por unidad de tiempo de arco; el r afo del peso de material depositado entre el material empleado para depositar se denomina eficiencia de deposición

Una hora de soldadura incluye además del tiempo del arco, periodos no usados por el soldador, como operaciones anteriores (limpieza, ensamble, fijación, apuntalado, etc.) y posteriores como (remoción de escorias, chiporroteo, enderezar si es necesario, etc.) y otros periodos o actividades asociadas (provisión de herramientas o materiales).

En la soldadura manual es común que el tiempo del arco se encuentre entre  $1/3$  y  $1/2$  del tiempo del trabajo; lo cual es una de las razones para el potencial de soldadura robótica; que incrementa la tasa de deposición, reduce las otras distracciones que usualmente reducen los tiempos del arco.



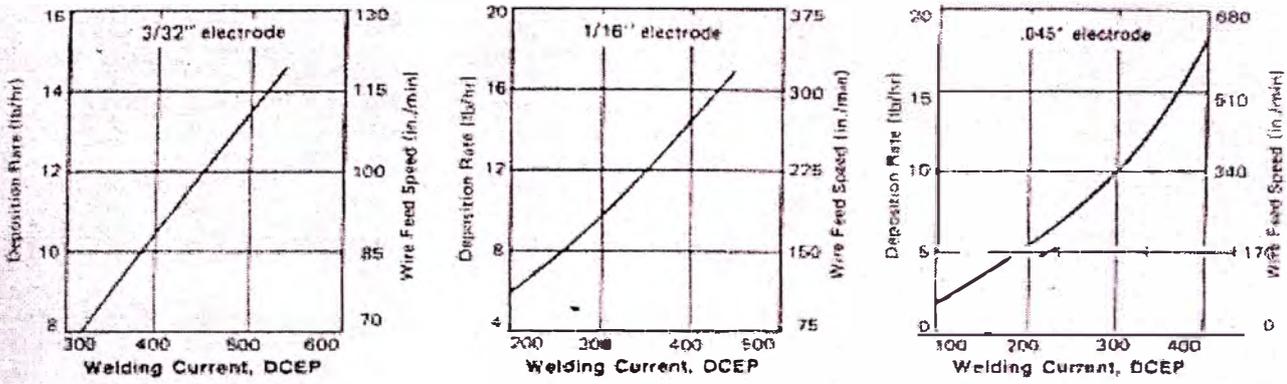


Fig. 6-85. Deposition rates of 3/32, 1/16, and 3/64-in. E70S-2 electrodes with argon-5% oxygen shielding gas.

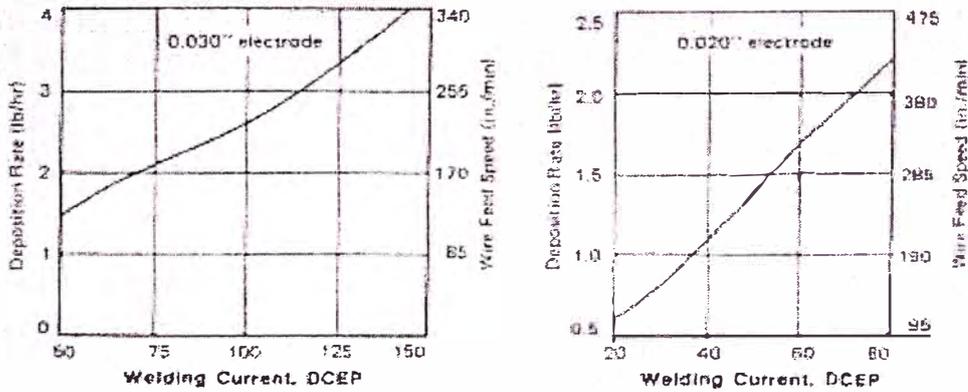


Fig. 6-86. Deposition rate of 0.030 and 0.020-in. E70S-2 electrodes with argon-25% CO<sub>2</sub> shielding gas, short-circuiting type transfer.

### 3.5 Parámetros de Soldadura

Se presentan en las siguientes tablas los parámetros y rendimientos de soldadura MIG MAG, para los procesos mas usados en FIMA.

Proceso de Soldadura MAG  
Tipo de junta a tope

Material base: Acero de Construcción no aleado  
Material de aporte: Alambre electrodo SG2 DIN 8559 / EN 440  
Gas de Protección: DIN 32526 - M21 / EN 439  
Posición de Soldadura Horizontal

Espesor de Plancha mm	Preparación de costura				Electrodo Ø mmm	Parámetros				Nro de pasadas	Consumo		
	tipo	angulo de luz	Pasadas de abertura R: Raiz M: Media A: Acabado	(:)		Tensión V	Amperaje A	Alimentación de alambre	flujo de gas l/min		Material de aporte g/m	Gas de protección l/m	Tiempo principal min/m
5	V	2	50	R A	1,0	18,5 21	125 200	4,3 8,0	12	2	221	78	6,5
6	V	2	50	R A	1,0	18,5 21	125 205	4,3 8,3	12	2	249	78	6,5
8	V	2	50	R M A	1,2	18 27,5	135 270	3,1 8,1	10.....15	3	374	100	8,3
10	V	2,5	50	R M A	1,2	18,5 28	135 290	3,2 9,0	10.....15	3	541	134	10,6
12	V	2,5	50	R 2M A	1,2	18,5 28	135 290	3,2 9,0	10.....15	4	791	168	12,7



## **CAPITULO IV**

### **ESTUDIO DE PIEZAS SOLDADAS**

Al decidir sobre tecnologías a emplear nos vemos tentados a asumir que la mejor decisión es la mayor automatización posible. La automatización supone una gran inversión en activos productivos lo que conduce al consiguiente incremento de los costos fijos; también puede suponer un aumento de los costos de mantenimiento y una disminución de la flexibilidad de los recursos. Sin embargo en los casos en que la repetitibilidad sea lo suficientemente alta, los beneficios de la automatización sobrepasarán sus inconvenientes. Entre estos beneficios se encuentran la mayor productividad de la mano de obra, una consistente calidad superior, ciclos de fabricación más cortos, aumento de la capacidad, reducción de los inventarios, mayores ventas y al posibilidad de repartir los costos fijos entre un mayor numero de artículos.

Las piezas y partes de los diseños tienen son similares por lo que la repetitibilidad es un factor permanente en los diseños FIMA, de igual manera la similitud de los procesos; de allí que el enfoque de la Tecnología de Grupos

juega un rol importante en la determinación de la automatización de un proceso de bajo costo en FIMA .

**La Tecnología de Grupos**, es una técnica que agrupa en familias o en grupos, piezas o productos que reúnen características similares, asignando posteriormente grupos de máquinas para la producción de cada uno de aquellas. Las familias se pueden crear en base al tamaño, la forma, las rutas de proceso, etc.; el objetivo es encontrar un producto con necesidades de fabricación similares y minimizar el cambio de máquinas o los lanzamientos. El siguiente paso consiste en organizar las máquinas herramientas necesarias para procesar los procesos básicos en áreas llamadas células; mas que agrupar por su semejanza maquinas similares, lo que se pretende es agrupar aquellas que permitan crear una pequeña línea de fabricación o de ensamblaje. De esta manera, las máquinas de cada célula requieren tan solo ajustes menores para adaptarse a las necesidades de los diferentes lotes de cada familia, simplificando considerablemente los cambios de estas para los productos. Al simplificar también las rutas de fabricación, las células basadas en la Tecnología de Grupos reducen el tiempo que cada lote de pedido pasan en el taller; las colas de articulo a ser procesados son disminuidas considerablemente e incluso eliminadas en algunos casos. Es importante notar que en el caso de FIMA la búsqueda permanente de la programación de la producción es afrontar los cuellos de botella para conducir la producción fluida

dentro del sistema; el empleo cada vez de conceptos como el “throughput”, planta balanceada, manufactura sincronizada y otros afianzan sus ventajas competitivas.

La Tecnología de Grupos permite obtener economías en el diseño y en la fabricación. Así en el diseño de nuevos productos se puede aprovechar la existencia de semejanzas o elementos comunes con los de otros ya existentes, consiguiendo importantes ventajas en eficiencia, calidad y tiempo necesario para completar el ciclo de diseño. Del mismo modo, al agrupar artículos para su fabricación pueden configurarse células o centros de trabajo idóneos para la realización de todas las operaciones fabriles requeridas por cada familia de productos , con mínimas pérdidas por preparación y cambios de maquinas es especialmente apta para entornos productivos de fabricación por lotes, en los que se produce un volumen relativamente pequeño de una variedad relativamente amplia de productos; en dicho contexto no puede justificarse la realización de inversiones cuantiosas en equipos universales encaminadas a la búsqueda de métodos que permitan obtener reducciones en costos.

En el caso del presente trabajo se han agrupado las piezas por similitud en el diseño y en formas geométricas asociadas a procesos similares; y en base a su repetitibilidad como configuraciones soldadas, las cuales se muestran en los gráficos siguientes:

#### 4.1 Dimensiones de las piezas y frecuencia de utilización de las piezas soldadas

Dado que el robot de soldadura que se piensa instalar estará ubicado dentro del taller, se considerará el tamaño bajo el criterio de piezas transportables hacia el taller de soldadura. Se ha determinado que la frecuencia de las piezas trabajadas en el taller tienen las siguientes frecuencias en sus dimensiones:

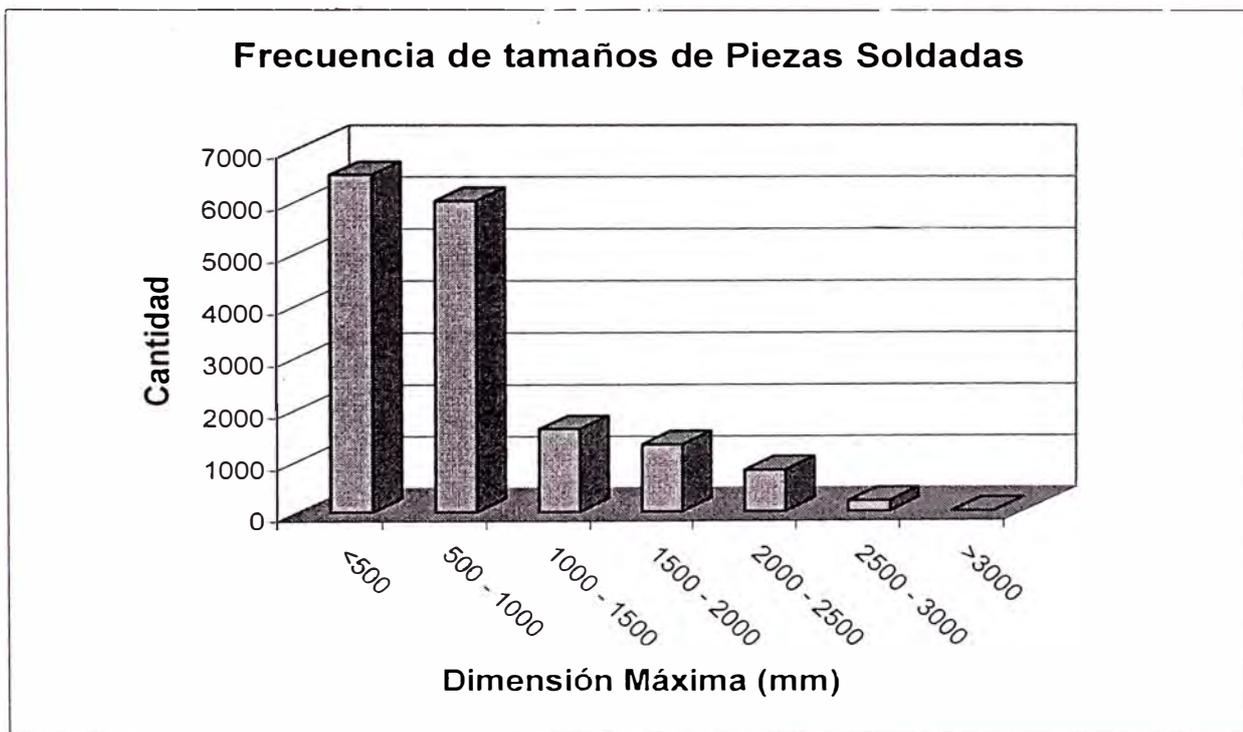


Tabla 1.- Frecuencia de tamaños de Piezas Soldadas

## 4.2 Formas de las Piezas

Las formas de las piezas más fabricadas se observan en las siguientes páginas. El cuadro de estudio de las piezas soldadas, es uno de los factores a considerar para la elección del robot de soldadura, ya que aquí se define las posiciones de soldadura que serán exigidas en el perfil del robot.

## 4.3 Tipos de Juntas.

Las juntas típicas usadas en los procesos de soldadura son las siguientes:

- Soldadura a tope
- Soldadura en esquina
- Soldadura de filete
- Soldadura en junta de borde
- Soldadura en junta traslapada
- Soldadura en V

La preparación de las juntas también es un factor a tomar en cuenta:

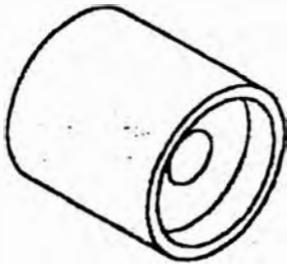
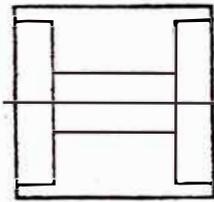
- Bisel simple
- Bisel a 60°

#### **4.4 Determinación del Universo de piezas soldadas en la empresa**

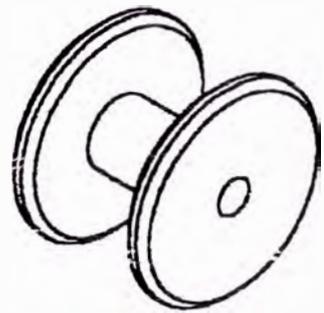
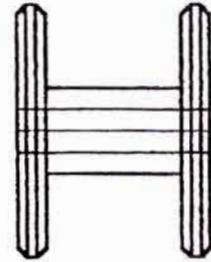
Podemos apreciar en los gráficos siguientes los productos de mayor rotación. La mayor cantidad de piezas soldadas en la empresa se encuentra en el rango entre 0 y 2000 mm de longitud máxima (la mayor de las dimensiones principales de una pieza, que puede ser diámetro, largo, radio, etc.). Este será entonces la longitud o envergadura en referencia a efectos de determinar las dimensiones del robot.

# PRODUCTOS DE ALTA DEMANDA

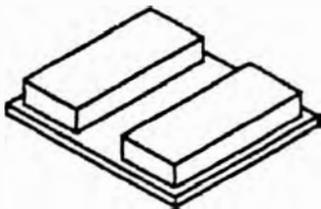
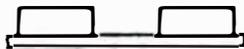
## POLEAS



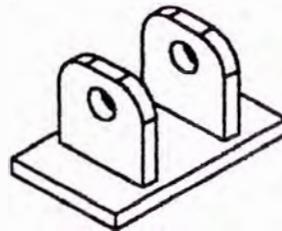
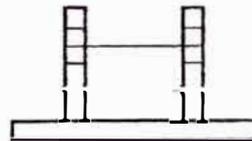
## WINCHES



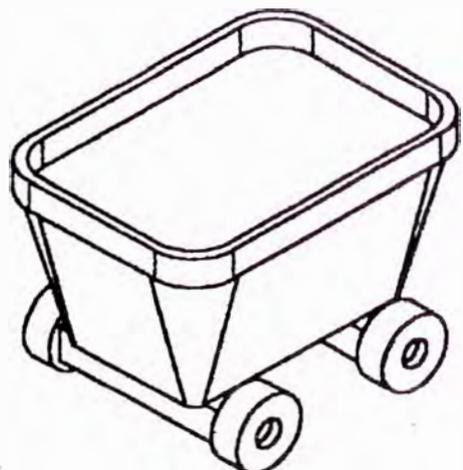
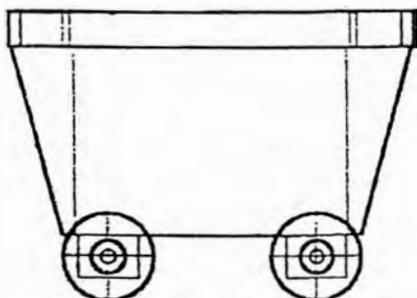
## BASTIDORES



## JAUAS MINERAS

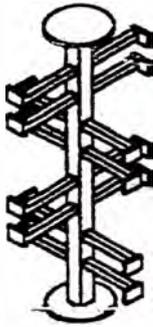
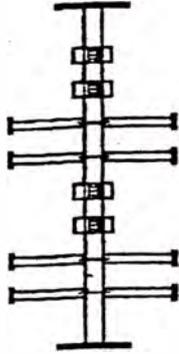


## CARRROS MINEROS

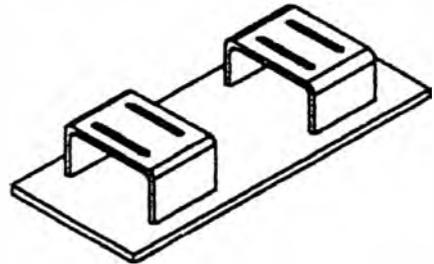
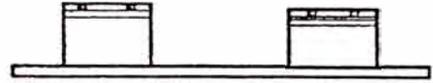


# PRODUCTOS DE MAYOR DEMANDA

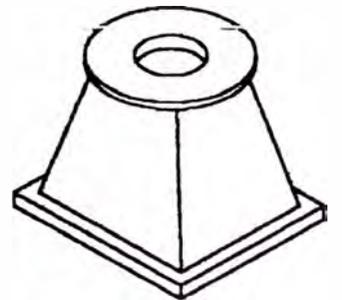
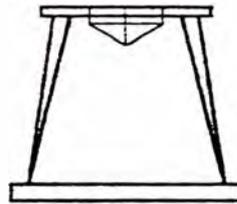
ESPESADORES



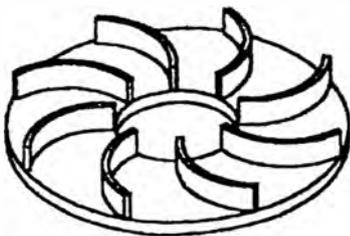
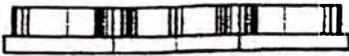
BASE DE TRANSMISION  
MOTOR-EQUIPO



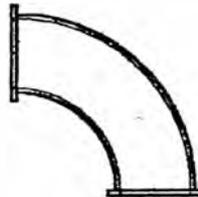
TRANSICIONES PARA PLANTA DE  
AGUA DE COLA



IMPULSORES DE BOMBAS



CODOS, ACCESORIOS

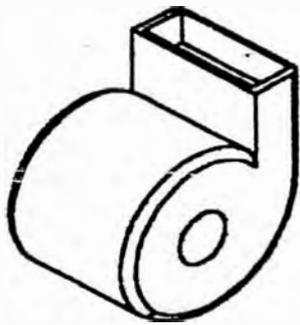
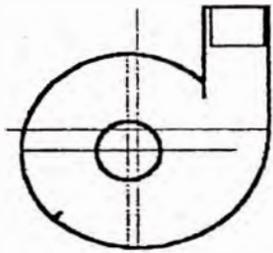


BRAZOS CRISTALIZADORES

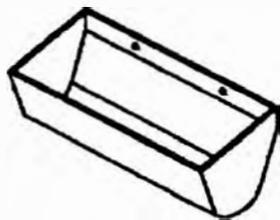
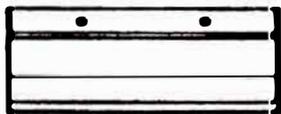


# PRODUCTOS DE ALTA DEMANDA

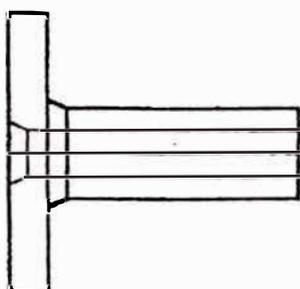
## CARCAZAS



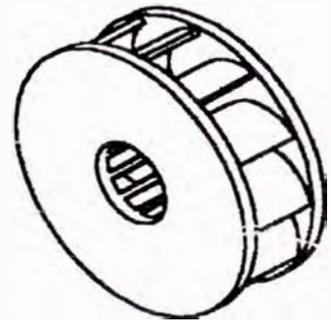
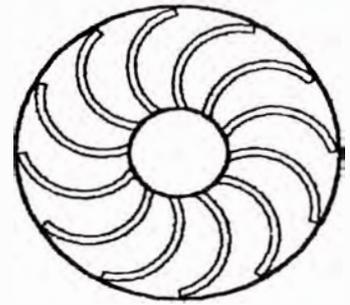
## CANGILONES



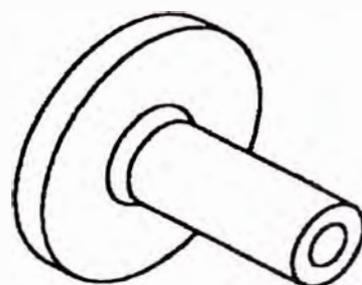
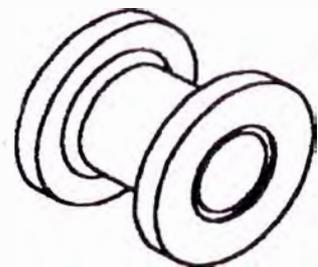
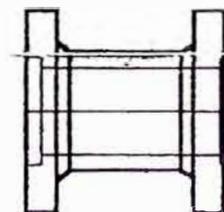
## EJES



## RODETES

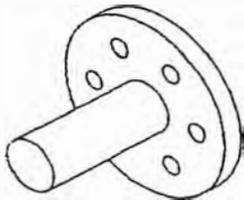
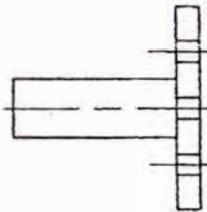


## CARRETES

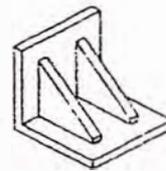
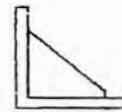


# PRODUCTOS DE ALTA DEMANDA

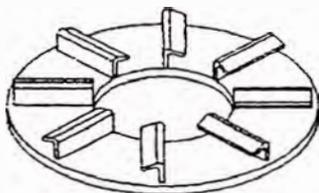
## CONEXIONES



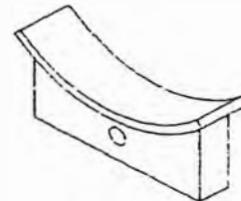
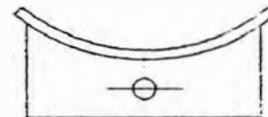
## SILLETAS, BASES



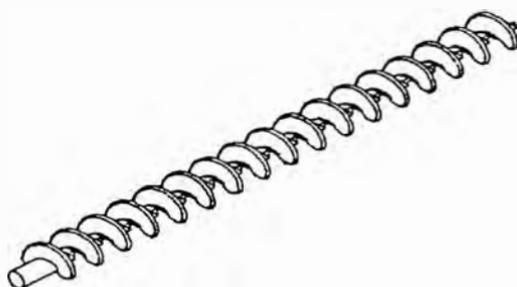
## PLACA CORONA



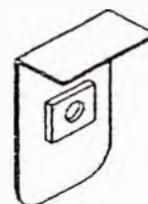
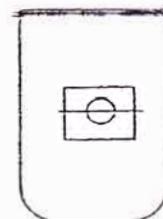
## SOPORTES



## EJES HELICOIDALES



## TAPAS



## CAPITULO V

### SELECCIÓN DEL ROBOT DE SOLDADURA

Para la determinación del Robot de Soldadura, se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- **Diseño de Piezas**
  - **Posiciones de Soldadura requeridas** – Si se necesita rotar la pieza, puede necesitarse un posicionador. Esto tiene un costo pero también ahorra dinero si una pieza debe voltearse varias veces en una operación manual.
  - **Diseño de la Junta Soldada** – Por ejemplo – la soldadura de filete es mejor que la soldadura a tope para la automatización.
  - **Acceso de la punta soldante** – ¿La punta de soldadura llega al área a soldar? Algunas veces se necesita una punta a medida (costo/ tiempo/ repuestos).

- **Proceso de Manufactura utilizado para producir las piezas a soldar** - ¿Cuál es la repetitibilidad de las piezas a soldar? (estampados, corte láser vs. corte con llama, etc.).
- **Tipo de material / soldabilidad** – Algunos materiales son más difíciles de soldar y se necesita una mayor habilidad. Algunos materiales no son soldables por métodos convencionales. ¿Se necesita un control adaptativo?
- **Secuencias de soldado (construcción de piezas o control de distorsión)** - Considere si las partes requieren de algún tipo de secuencia de soldadura para controlar la distorsión. Con la automatización la secuencia y la cantidad de soldadura depositada será consistente pero los cambios en el material o en el proceso de conformado cambian las características de distorsión. Algunos diseños de piezas tienen partes componentes que tapan otras soldaduras. Muchas soldaduras en particular se hacen de forma manual cuando el operario carga las partes, o necesitan que se interrumpa el ciclo, se agreguen piezas, y se empiece nuevamente.
- **Diseño de la fijación de la soldadura/ costo** – ¿Existen fijaciones manuales? Si es así, ¿se aplican a la automatización? ¿Cuánto costarán las nuevas herramientas?

- **Partes apuntaladas vs. partes sueltas** – Para soldaduras grandes y soldaduras que usan el diseño “ranura y fijación”, se puede reducir las fijaciones apuntalando manualmente las partes antes de enviarlas a la celda automatizada. Esto también puede hacerse para balancear el trabajo de un operario con el tiempo de ciclo de automatización. Es más eficiente tener ambos tiempos de ciclo balanceados.
  
- **Requerimientos de la Producción**
  - **Volumen de la Producción** - ¿Cuál es la cantidad de unidades por unidad de tiempo? Esto ayuda a determinar cuántos arcos se necesitan y cuál será la utilización del equipo.
  - **Número de ensambles diferentes que se quiere automatizar en una sola celda** – Mientras mayor sea el número de piezas que se agregue a una celda de trabajo, más complejo se volverán los sistemas de herramientas y control. ¿Pueden los operarios mantener todo en orden? ¿Qué nivel de detalles “a prueba de tontos” se necesitan? “Herramental Inteligente”.
  - **¿Con qué frecuencia se cambia el sistema para operar piezas diferentes?** – Esto puede afectar grandemente el diseño de las herramientas y el costo. Algunas aplicaciones pueden tener

fijadores dedicados mientras otros pueden tener un fijador con detalles movibles.

- **Ambiente de Fabricación**

- **Cantidad de Espacio de Fabricación** - ¿Cuánto espacio de tiene? Espacio vertical, pasadizos, columnas, paredes, iluminación, etc.
- **Flujo de material en Planta** - ¿Se necesitan tecles? ¿Se necesita una estación para cargar/ descargar las piezas? ¿Cuánto espacio ocupan las piezas simples (componentes)?. ¿Hay espacio para poner los pallets en una sola estación o es mejor dos estaciones? ¿Se va a operar piezas derechas en una estación y piezas izquierdas en otra? ¿Las piezas derechas son diferentes a las izquierdas?
- **Ambiente (humos)** - ¿Hay detectores de humo con extracción de humo para programación y mantenimiento?
- **Consideraciones de Seguridad (exposición a peligros)** – ¿La operación manual es peligrosa? Por ejemplo los humos producidos al soldar material galvanizado. Esto puede ser una razón por sí sola para automatizar. Espolones, radiación de soldadura.

- **Trabajadores**

- **Disponibilidad del Operario/ Soldador -**
- **Habilidad de los trabajadores** – Es posible que haya mucho trabajo disponible pero no tengan la habilidad para soldar necesaria. Pueden cargar/ descargar las piezas, pero no pueden solucionar problemas. Esto puede conducir al concepto de celda de trabajo a más controles de auto diagnóstico que a pantallas de interfase de operador programable.

- **Consideraciones de Competitividad**

- **Tiempos principales** – Con la automatización se puede reducir el tiempo principal para fabricar el producto.
- **Calidad consistente**
- **Costo de los ensambles** – Con la automatización se puede reducir el trabajo, los desperdicios, consumibles de soldadura (alambre, gas, etc.), el proceso puede ser controlado y más consistente. Con mayor control se puede reducir la cantidad de soldadura excesiva que se hace con los métodos manuales.
- **Tiempo de ciclo necesario** – Se producen más piezas en menos tiempo.

**Regulaciones tipo ISO** – El control de Procesos puede ser más fácil de lograr con la automatización.

Otra forma recomendada es mediante un checklist para la decisión (Justifying the Cost of a Robotic Welding System), lo que se detalla en el Anexo IV.

## 5.1 El Robot

El robot industrial nace de la unión de una estructura mecánica articulada con un sistema electrónico de control mediante la integración de una computadora.

Esto permite la programación y control de los movimientos del robot y la memorización de las diversas secuencias de trabajo, proporcionándole una gran flexibilidad y posibilita su adaptación a diversas tareas y medios de trabajo. Siendo un dispositivo multifuncional, el robot industrial se diseña en función de diversos movimientos posibles de ejecución según los grados de libertad, su campo de trabajo, el comportamiento estático y dinámico.

La capacidad del robot industrial para reconfigurar su ciclo de trabajo, unido a la versatilidad y variedad de sus elementos terminales en pinzas, garras herramientas, etc. le permite adaptarse fácilmente a la evolución o cambio de los procesos de producción, facilitando su reconversión.

El robot tiene diferencias significativas en relación con las máquinas a Control Numérico y es básicamente en el tema de las complejidades en

sus movimientos y la simultaneidad de movimiento en varios ejes; además del espacio de trabajo es difícil de predeterminar porque escapa del ámbito de la máquina.

## **5.2 Robótica Industrial**

La robótica es muy probablemente, una consecuencia lógica de la evolución industrial. Desde la aparición de los primeros mecanismos, el interés del hombre ha sido siempre grande en imitar artificialmente sus propias habilidades.

Una de las referencias más antiguas es la de Hefesto el forjador divino que era el dios griego del fuego. En la iliada se describe que forjó unas figuras femeninas con oro (ninguna sustancia de inferior calidad serviría). Estas muchachas podían moverse, hablar y pensar, y le ayudaban en su trabajo.

Durante la edad media aparecieron un sin fin de artefactos que eran capaces de simular grotescamente alguna habilidad. Su único objeto era la diversión y el entretenimiento.

## **EVOLUCIÓN DE LA ROBOTICA INDUSTRIAL**

La Robótica tiene su origen en la inquietud que a lo largo de los tiempos ha existido en el hombre por crear reproducciones de si mismo y otros seres vivos.

El impulso definitivo al nacimiento de la robótica tal como se conoce en la actualidad vino dado por las limitaciones de la automatización clásica, basada en el diseño de maquinas especiales que optimizan la fabricación en serie de un solo producto. Estas limitaciones son: elevado costo inicial, solo justificable en el caso de producción de series del mismo producto, y difícil adaptación a cambios en el esquema productivo. De este modo a mediados del siglo xx, surge la automatización flexible, en la que se persigue obtener “la maquina universal” como contraposición a la maquina especial. La máquina universal deberá ser de bajo coste, debido a que no se trata de una maquina a medida y fácil de adaptar a cualquier proceso de fabricación. Este concepto de maquina universal es el que dio lugar a los robot industriales actuales.

Otro de los factores decisivos en la evolución de la robótica ha sido la necesidad de utilizar manipuladores en tornos a trabajos hostiles para el hombre. De hecho, los telemanipuladores desarrollados a finales de los cuarenta para el manejo de materiales radiactivos fueron determinantes

para el posterior desarrollo de los primeros robots industriales. Uno de los pioneros en la construcción de estos sistemas fue el ingeniero R. C. Goertz, de Aragonne National Laboratories, quien en 1954 desarrolló el primer telemanipulador con servo bilateral, sustituyendo la transmisión mecánica por otra eléctrica.

A mediados de los cincuenta, la idea de dotar de autonomía a brazos manipuladores fue desarrollada principalmente por el ingeniero norteamericano George C. Devol, quien trabajó desde 1954 en un dispositivo que denominó "transferencia programada de artículos", finalmente registrado como patente USA 2.988.237 en 1961. Se trataba de un manipulador cuya tarea podía ser ejecutada siguiendo una secuencia de pasos de movimiento previamente registradas en un programa.

En 1956, G. C. Devol y J. Engelberger, emprendieron juntos el camino hacia la robotización de procesos, haciendo un estudio de mercado (dentro el sector automotriz) ese mismo año. Su vinculación desembocó en la fundación, en 1960, de Unimation (Universal Automation), instalando su primera máquina en General Motors, en un proceso de fundición en molde en 1961.

El desarrollo de la microelectrónica, los avances en la tecnología de los ordenadores, la disponibilidad de servomecanismos electromecánicos e hidromecánicos fiables y el desarrollo de la teoría del control y de las máquinas a control numérico, entre otros han sido factores claves en la evolución de la robótica. Gracias a estos avances, los robots de principios de los ochenta resultaron comparativamente más fiables, más precisos, incluso más flexibles, debido a las nuevas capacidades de programación.

El abaratamiento de los costos de los robots, junto con las mejoras citadas, allanaron el camino a la implantación de la robótica, que requería grandes inversiones hasta entonces difícilmente justificables, salvo en casos en los que las tareas resultaran demasiado arriesgadas o pesadas para el hombre.

Existen diferentes motivos para la aparición de la robótica, de entre los cuales pueden destacar: Productividad, Calidad, Control de Producción, Escasez de profesionales, mejora de las condiciones de trabajo y economía. Todos estos factores pueden también mejorarse, y muy notablemente, con el empleo de máquinas específicas, pero frente a éstas existe otro factor que determina claramente la filosofía de la robótica industrial: la FLEXIBILIDAD.

La FLEXIBILIDAD es la característica por la cual un robot es capaz de realizar tareas diferentes con unos costos de preparación y adecuación de la máquina a la nueva tarea razonablemente satisfactoria. Es este el motivo por el cual no se debe comparar a un robot con una máquina de producción específica, sino que éste debe ser comparado con su competidor real: el operario

La CALIDAD, por el contrario es un factor menos claro. Si el proceso a ejecutarse depende de un gran número de factores externos no controlables (caso de soldadura: irregularidades, inestabilidad de arco suciedad, etc.) hacen del operario un elemento insustituible, aunque de muy baja productividad

Evidentemente el CONTROL DE LA PRODUCCION se puede efectuar ventajosamente sobre cualquier medio mecánico que sobre factores humanos. Los sistemas robotizados permiten fácilmente la variación en el ritmo productivo y además se pueden dedicar a una u otra pieza sin más que utilizar instrucciones sencillas, en definitiva son un medio automático que permite efectuar la producción deseada tanto en cantidad como en calidad, lo cual nos acerca a los conceptos de fabricación de "Just in Time".

## CONFIGURACIONES TÍPICAS DE LAS ARTICULACIONES

Las articulaciones son los elementos de unión entre los ejes del robot y es en ellas donde se genera el movimiento mismo. El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro o de una combinación de los dos tipos de movimiento. Se distinguen varios tipos de articulaciones: prismática, de rotación, cilíndrica, esférica, etc.

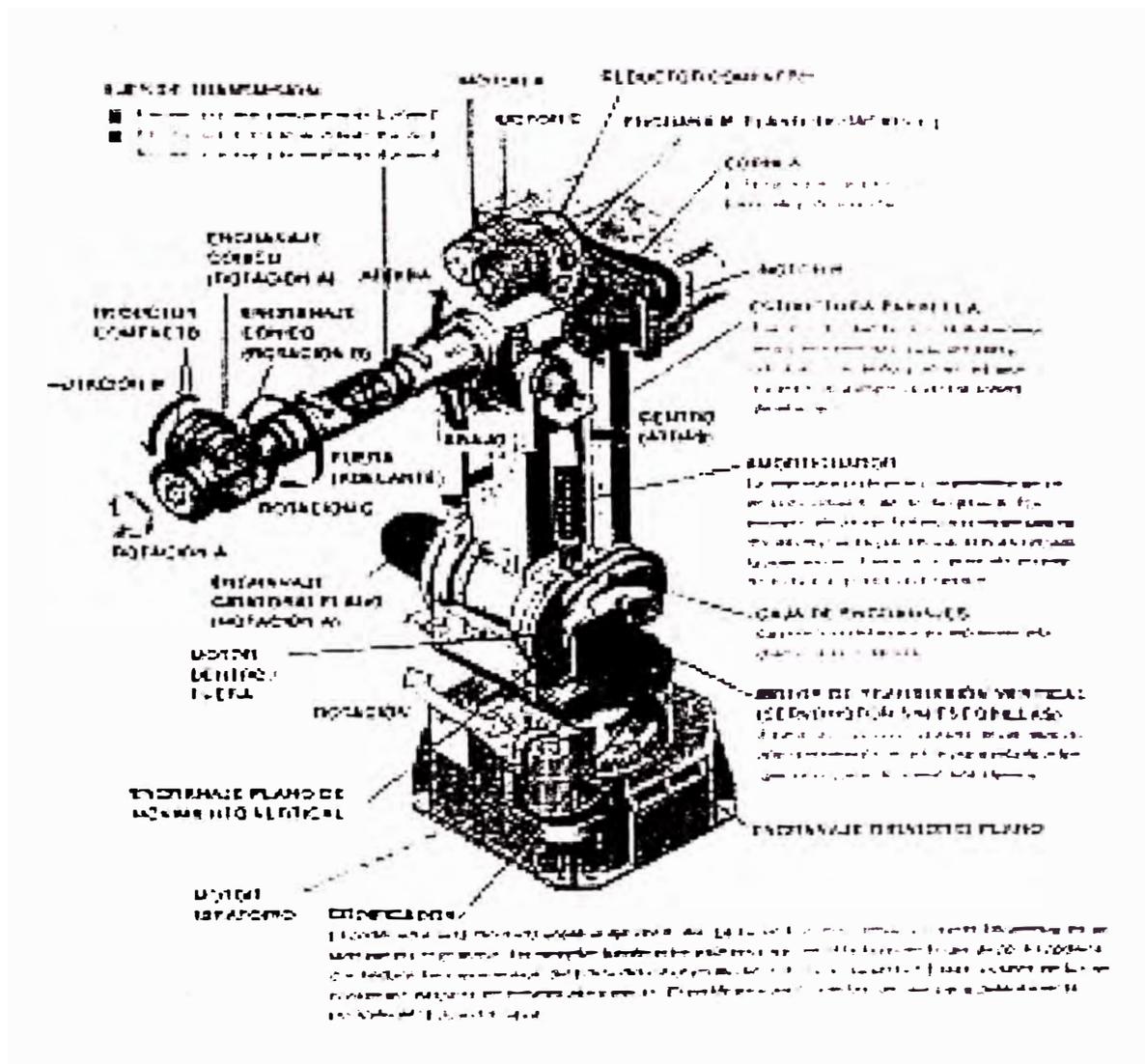
Los tipos de rotación y prismática (o lineal) son los que se utilizan mayoritariamente en los robots industriales. Las articulaciones prismáticas ofrecen un cálculo sencillo para su posicionamiento, alta precisión y gran robustez; y las de rotación son más fáciles de construir y poseen envolventes de trabajo mayores con menor espacio en planta.

A cada movimiento que es capaz de realizar un tipo de movimiento se le denomina grado de libertad (GDL).



En la figura se indica cual es el número de grados de libertad de cada articulación. Puesto que en el caso de las articulaciones de rotación y

prismáticas el GDL es uno, en los robots industriales el número de GDL del robot suele coincidir con el número de sus articulaciones. Estrictamente el GDL de un manipulador es el número de movimientos independientes que puede realizar. Considerando un espacio 3D, el máximo GDL es seis, tres desplazamientos y tres giros, de ahí que en la mayor parte de los robots industriales tengan seis articulaciones.



A pesar de que en la práctica es necesario tener estos seis GDL para tener total libertad en el posicionado y orientación en el extremo del robot existen robots con menos de seis articulaciones, puesto que puede ser suficiente para llevar a cabo las tareas que han de realizar. Por el contrario también se da la situación en la que se encuentran robots con mas articulaciones, con la intención de facilitar el sortear obstáculos o ampliar el campo de trabajo del robot. En estos casos se dice que el robot es redundante.

Los ejes se dividen comúnmente en dos grupos:

- Ejes principales (1, 2 y 3), mayoritariamente responsables de la posición del objeto.
- Ejes de la muñeca (del 4 en adelante), como los responsables de la orientación.

El empleo de las combinaciones de los diferentes tipos de articulaciones en los primeros tres ejes del robot da lugar a lo que se denomina configuración del robot.

El tipo de configuración determina entre otras características, el campo de trabajo del robot, es decir, el volumen de espacio en el que el robot puede

posicionar su muñeca. El campo de trabajo se obtiene al trazar las envolventes de las posiciones alcanzadas por la muñeca del robot como combinación de los movimientos en las articulaciones de sus ejes principales.

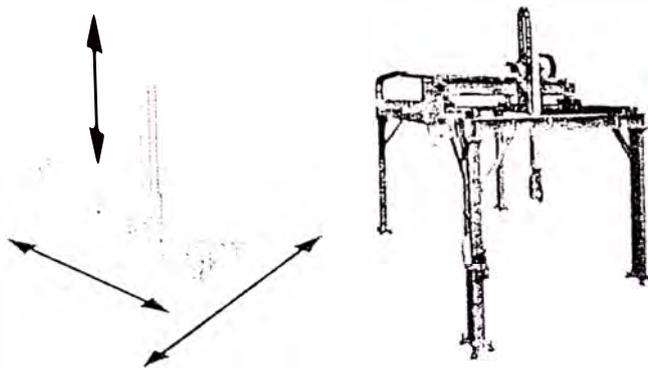
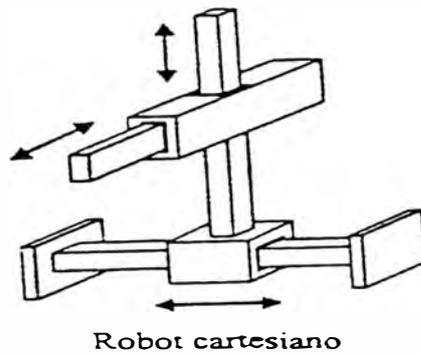
Debido a la amplia gama de tamaños, formas y configuraciones físicas, la gran mayoría de los robots comercialmente disponibles en la actualidad tienen una de las cuatro configuraciones básicas:

#### ***A.- Configuraciones de coordenadas cartesianas***

Posee tres movimientos lineales (articulación prismática o lineal), perpendiculares entre sí, su nombre proviene de las coordenadas cartesianas; adecuadas para describir la posición y movimiento de brazo. Los robots cartesianos a veces reciben el nombre de XYZ, donde las letras representan a los tres ejes de movimiento.

Esta configuración da lugar a robots de alta precisión, con precisión, velocidad y capacidad de carga constante en todo su alcance, gran capacidad de carga, amplia zona de trabajo y simplificación del sistema de control. En comparación con las configuraciones que incluyen articulaciones de rotación, presentan una mala relación entre su volumen de trabajo y el espacio que ocupan en planta.

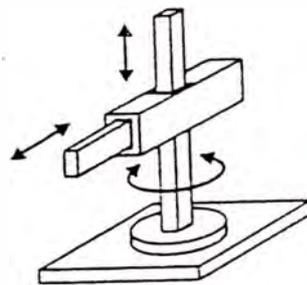
Se usan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión y en los casos en que la zona de trabajo sea básicamente un plano.



### ***B.- Configuración cilíndrica***

Sustituye un movimiento lineal por uno rotacional sobre su base, obteniéndose un medio de trabajo en forma de cilindro.

Su eje rotacional hace que este robot presente unas mejoras maniobrabilidad y velocidad que el robot cartesiano. Su sistema de control es bastante sencillo. Encuentra su aplicación en instalaciones sin obstáculos, en las que las maquinas se distribuyan radialmente y el acceso al punto deseado se realice horizontalmente.



Robot cilíndrico

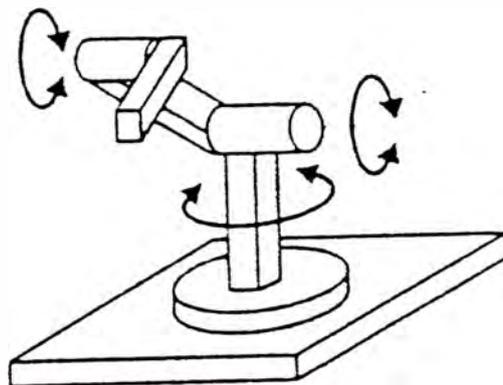
### ***C.- Configuración Polar o Esférica***

Utiliza coordenadas polares para especificar cualquier posición en términos de una rotación sobre su base, un ángulo de elevación y una extensión lineal del brazo.

***D.- Configuración angular o antropomórfica***

Esta formado por tres ejes rotacionales, como se muestra en la figura, con el primer eje perpendicular al suelo y los otros perpendiculares a éste y paralelos entre sí.

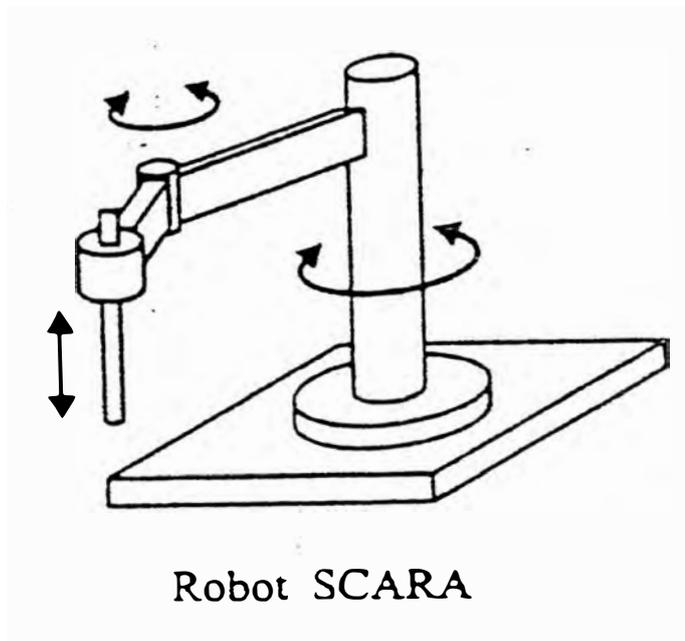
Los robots con configuración angular presentan una gran maniobrabilidad y accesibilidad a zonas con obstáculos, ocupan poco espacio en relación a su alcance, son robots muy rápidos, que permiten trayectorias muy complejas. Estas características son las que hacen la mayor parte de los robots industriales presenten esta configuración de sus tres ejes principales.



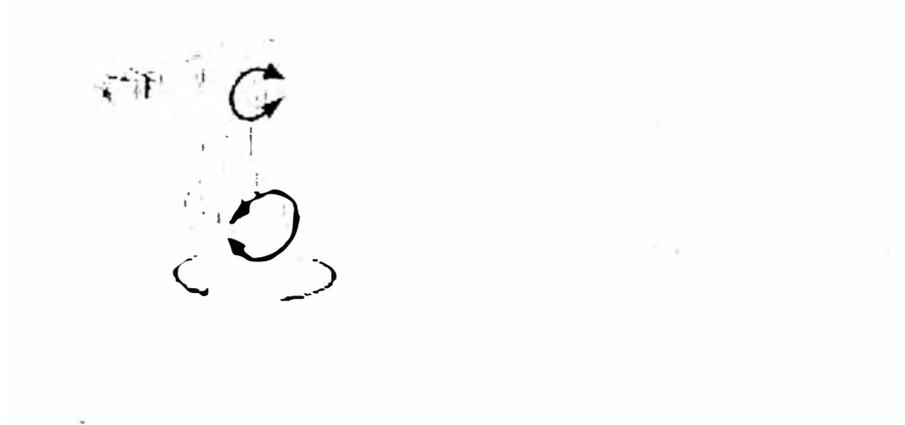
Robot angular o antropomórfico

### **E.- Robot SCARA**

Se trata de dos ejes rotacionales paralelos y un eje lineal también paralelo a ambos, de desplazamiento vertical.



Este tipo de configuración produce robots muy rápidos y de alta precisión. Generalmente encuentran aplicación en operaciones de ensamblado o empaquetado, que requieran movimientos simples para inserción o toma de piezas.



### ***F.- Configuraciones de la muñeca***

La muñeca está formada por las articulaciones del robot, que tienen como misión orientar el objeto en el espacio. Uno de los extremos de la muñeca va unido al brazo, y en el extremo opuesto se fija la herramienta de trabajo del robot. La muñeca consta de hasta tres ejes, dotados con articulaciones de rotación. Una configuración básica es la formada por articulaciones de rotación que producen giros sobre tres ejes perpendiculares que se cortan en un punto.

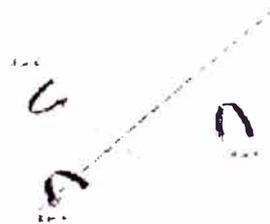


Figura 2.12. Muñeca «en línea». (Cortesía de ROBOTIKER)

Otra configuración de muñeca bastante frecuente presenta un eje oblicuo entre los ejes 4 y 6, facilitando el recorrido continuo de trayectorias sinuosas

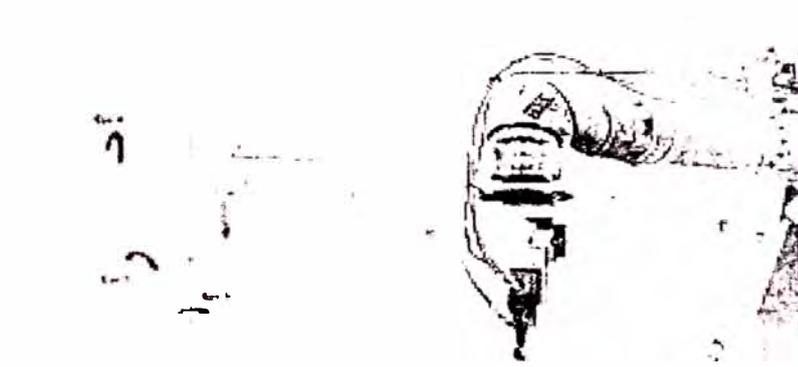
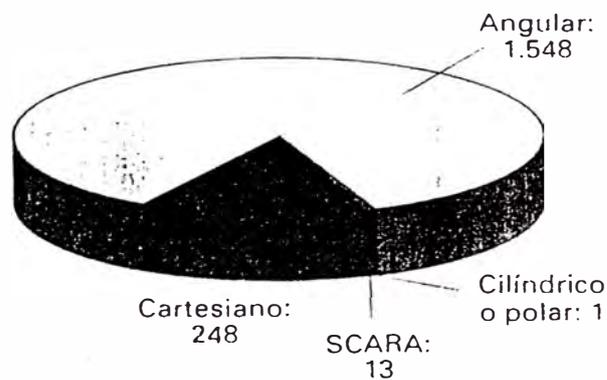


Figura 2.13. Muñeca «icónica». (Cortesía de KUKA.)



11. Distribución de robots en España configuración. (Fuente AER.)

En algunos modelos de robot, los fabricantes ofrecen el mismo brazo con distintas opciones de muñeca, que se seleccionarán de acuerdo con la aplicación a la que se quiere destinar el robot.

### **5.3 Campos de Aplicación**

Antiguamente se pensaba en el uso del robot para labores simples, ayudando al hombre en el trabajo en actividades repetitivas, peligrosas, riesgosas o pesadas, pero debido a la evolución rápida de las tecnologías; ahora la aplicación dada a los robots es muy diversa: Va desde la automatización de grandes industrias hasta el de la investigación.

En el campo industrial, los robots generalmente trabajan con otras maquinas – herramientas, como los transportadores, maquinas de control numérico dispositivos de fijación, etc.

De esta forma se integran células de trabajo, donde los robots pueden realizar operaciones de carga y descarga.

Otras operaciones de manejo de materiales realizadas para robots incluyen empaques en tarimas o pallets.

Las células de trabajo se aplican además en las operaciones de procesamiento incluyendo diferentes tipos de soldadura de puntos o soldadura de arco, así como en pintura y otros.

Se usan también en la aplicación de diversos tipos de resinas, por ejemplo para el pegado del vidrio delantero de un automóvil; las células

de trabajo sirven para ensamblar, remachar estampar, cortar por chorro de agua y en sistemas de medición.

Los Robots móviles pueden ser utilizados en ambientes hostiles para el ser humano, en actividades de gran peligro para las personas como la ubicación de barcos hundidos la búsqueda de depósitos minerales submarinos, la exploración de volcanes activos y en investigaciones especiales.

En algunas fabricas europeas y asiáticas, donde se produce en serie, se ha reemplazado la mano de obra humana por la de robots, elevando la producción y reduciendo los costos.

## **CLASIFICACIÓN**

La *Federación Internacional de la Robótica* (IFR) estableció en 1988 una clasificación de las aplicaciones de la robótica en el sector manufacturero. La tabla siguiente pretende englobar la mayor parte de los procesos robotizados en la actualidad aunque, como se ha indicado anteriormente, se pueden encontrar aplicaciones particulares que no aparecen de manera explicita en esta clasificación.

### **Clasificación de las aplicaciones industriales de la robótica**

<b>110</b>	<b>M</b>	<b>Manipulación en fundición</b>
	111	Moldes
	119	Otros
<b>130</b>	<b>M</b>	<b>Manipulación en moldeos de plásticos</b>
<b>140</b>	<b>M</b>	<b>Manipulación en tratamientos térmicos</b>
<b>150</b>	<b>M</b>	<b>Manipulación en la forja y estampación</b>
<b>160</b>	<b>S</b>	<b>Soldadura</b>
	161	Al arco
	162	Por puntos
	163	Por Gas
	164	Por láser
	169	Otros
<b>170</b>	<b>A</b>	<b>Aplicación de materiales</b>
	171	Pintura
	172	Adhesivos
	179	Otros
<b>180</b>	<b>M</b>	<b>Mecanización</b>
	181	Carga y descarga de máquinas
	182	Corte mecánico, rectificado, desbarbado y pulido
	189	Otros
<b>190</b>	<b>O</b>	<b>Otros procesos</b>
	191	Láser
	192	Chorro de agua
	199	Otros
<b>200</b>	<b>M</b>	<b>Montaje</b>
	201	Montaje mecánico
	202	Inserción
	203	Unión por adhesivos
	204	Unión por soldadura
	205	Manipulación para montaje
	209	Otros
<b>210</b>	<b>P</b>	<b>Paletización</b>
<b>220</b>	<b>I</b>	<b>Inserción</b>
<b>230</b>	<b>M</b>	<b>Manipulación de materiales</b>
<b>240</b>	<b>F</b>	<b>Formación, enseñanza e investigación</b>
<b>900</b>	<b>O</b>	<b>Otros</b>

#### **5.4 Características de los Robots de Soldadura**

La estructura mecánica de los robots poli articulados utilizados para aplicaciones de soldadura, con un determinado grado de inteligencia, destinados a la producción, poseen con articulaciones angulares ligeras y mecanismos de transmisión elaborados de fundición de hierro o de otros materiales dependiendo del trabajo a realizar.

Las articulaciones se accionan mediante motores de corriente continua, el rotor tiene acoplado un tacómetro para medir la velocidad, unido al robot mediante una aleación de acero; se utiliza un sensor óptico y de posición; los motores mueven la estructura mecánica a través de moto reductores, la alimentación de cada motor se realiza con un regulador de velocidad utilizando la señal del tacómetro para estabilizar su comportamiento.

Todos los robots presentan características en función al trabajo a realizar como: los ejes de movimiento (incluyendo el tipo de movimiento, número de ejes y parámetros de viraje, etc.), capacidad de carga, suministros de energía requerida, propiedades dinámicas, sujetadores terminales y sistemas de programación de control.

### **Accesibilidad**

Esta directamente relacionada con el número de grados de libertad. Es claro que cuanto mayor sea el número de grados de libertad, se tiene mayor accesibilidad. El problema es la dificultad que presenta tener más grados de libertad. Esta dificultad es relevante en el caso de manipuladores redundantes con un gran número de grados de libertad.

### **Capacidad de carga y requisitos de Energía**

Los robots pueden diseñarse según la necesidad y diseño propio, para manipular piezas en miniatura, como en la fabricación electrónica, hasta cargas industriales pesadas.

Gran parte de los robots son impulsados eléctricamente por servomotores, particularmente motores magnéticos permanentes y de etapas. Los impulsores neumáticos e hidráulicos son menos frecuentes.

La capacidad de carga del robot a seleccionar para una determinada tarea viene condicionada por el tamaño, la configuración y el sistema de accionamiento del propio robot. Por otra parte al evaluar la carga a manipular por el robot debe considerarse el peso de las piezas a manipular y el propio peso de la herramienta o pinza que emplee el robot colocada sobre el muñeca (en muchas ocasiones superior al de los propios objetos). Se debe tener en cuenta además de la carga, el momento que la pieza a transportar genera en el extremo del robot. Para ello el fabricante puede proporcionar un cuadro en el que se indica la disminución de la posible carga a transportar para no disminuir prestaciones a medida que el centro de gravedad de la misma se aleja del centro de la muñeca.

El dato que normalmente se proporciona en la hoja de características del robot corresponde a la carga nominal que este puede transportar sin que por ello disminuyan sus prestaciones dinámicas, y siempre considerando la configuración del robot mas desfavorable. Sin embargo es posible aumentar esta carga hasta un cierto límite, siempre y cuando se pueda admitir una desviación en la velocidad de los movimientos del robot incluso en su precisión.

Los valores más frecuentes de capacidades de carga varían entre 5 – 50 Kg., aunque se pueden encontrar robots que transporten más de media tonelada.

La velocidad a la que puede moverse un robot y la carga que transporta, están inversamente relacionados. Tanto es así que en muchas ocasiones los datos proporcionados en catalogo sobre la velocidad de movimiento del robot se dan para diferentes valores de la carga a transportar. De igual forma y como es lógico, también suele existir una relación de orden inverso entre el error de posicionamiento y la velocidad del robot.

La velocidad de un movimiento de un robot puede darse por la velocidad de cada una de las articulaciones o por la velocidad media de su extremo, siendo esta ultima más útil para el usuario pero más imprecisa. El valor de

la velocidad nominal de movimiento de un robot es un dato relevante para el cálculo de los tiempos del ciclo, sobre todo en robots destinados a tareas de manipulación o ensamblaje. No obstante, hay que considerar que el dato proporcionado normalmente corresponde a la velocidad nominal en régimen permanente. Para alcanzar este régimen es preciso que el movimiento del robot sea suficientemente largo. En otro caso los tiempos de arranque y parada son proporcionalmente más significativos que el correspondiente a la velocidad nominal.

En la práctica la mayoría de los casos los movimientos del robot son rápidos y cortos, con lo que la velocidad nominal es alcanzada en contadas ocasiones. Por este motivo la medida del tiempo de ciclo no puede ser obtenida a partir de la velocidad, siendo esta una valoración cualitativa del mismo. En vez de este dato, algunos robots indican el tiempo empleado en realizar un movimiento típico (un pick & place, por ejemplo).

Los valores habituales de velocidad en el extremo oscilan entre 1 y 4 m/s con carga máxima.

### **Rapidez de respuesta**

Esta característica es importante para la productividad del robot, lo cual es de particular interés en robótica industrial. La rapidez de respuesta suele considerarse en el control de articulaciones y por los tirones y oscilaciones no amortiguadas que se producen debido a los comportamientos dinámicos que no se consideren en forma apropiada en el control. En este punto conviene recordar que, a velocidad elevada, es imprescindible tener en cuenta los términos de fuerzas centrífugas y de Coriolis en el modelo dinámico del robot.

### **Propiedades Dinámicas de los Robots**

Las propiedades dinámicas incluyen: estabilidad, resolución, repetitibilidad, conformidad. Considerando estos factores, el diseño de un robot es complejo, debido a la relación entre sus propiedades.

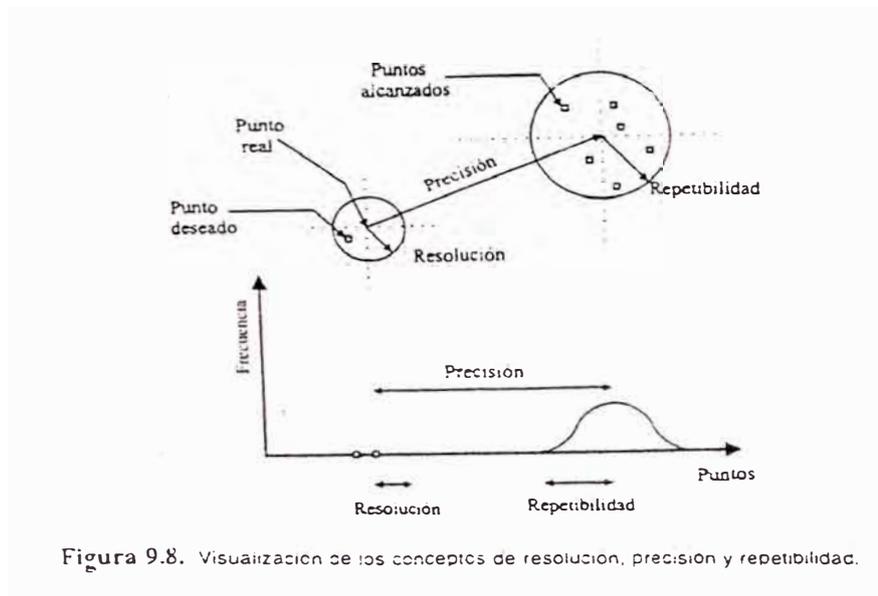
Las velocidades lineales y angulares vienen dadas por los pares y fuerzas que se aplican a la estructura mecánica y dependen también de las magnitudes de las masas y su distribución. Las relaciones involucradas constituyen el modelo dinámico del manipulador. La identificación del modelo dinámico de un robot es en general difícil. Asimismo la consideración de dicho modelo complica el desarrollo e implantación del

sistema de control. Por ello muchos sistemas de control de robots han sido diseñados utilizando fundamentalmente el modelo cinemático. Los resultados son aceptables cuando los movimientos del robot son suaves no produciéndose aceleraciones significativas. Sin embargo cuando es necesario realizar movimientos rápidos involucrándose aceleraciones y masas importantes, la consideración del modelo resulta imprescindible.

En el estudio del comportamiento dinámico de los robots es necesario involucrar conceptos relacionados con las distribuciones de masas, inercias y tensor de inercias fundamentalmente, no resultan fácilmente calculables en robots reales, ya que no se puede asumir que los eslabones presentan una forma y masa distribuida uniformemente. En ocasiones si que gran parte de las masas se encuentra concentrada junto a las articulaciones, por lo que se pueden modelar como puntos de masa junto a ellas. Otras veces los eslabones se modelan como conos, para indicar que la masa se encuentra mayormente junto a la articulación. Sin embargo todo ello provoca que en la práctica en mayor o menor medida, el modelo dinámico no resulte del todo preciso, y sea necesario por tanto disponer de métodos de identificación que permitan determinar los valores más precisos para estos parámetros. Además la identificación debe hacerse on-line, ya que la dinámica del robot cambia cuando coge un objeto o realiza alguna tarea.

## ***Estabilidad***

Esta característica está asociada con la oscilación en el movimiento de la herramienta. Mientras este movimiento es menor, la operación del robot obviamente será más estable.



## ***Resolución***

La resolución se define como el incremento más pequeño de movimiento ejecutable por un robot. Su valor está limitado por la resolución de los captadores de posición y convertidores, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU, y por los elementos

motrices, si estos son discretos (motores paso a paso, sistemas neumáticos todo o nada, etc.).

Por lo tanto la exactitud de un sistema de robótica puede variar desde milímetros para un simple robot hasta micras para un ensamblador de precisión o manipulador de partes pequeñas.

### ***Precisión***

Distancia entre el punto programado (normalmente de manera textual) y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores de calibración del robot (punto de sincronismo por ejemplo), deformaciones por origen térmico y dinámico errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática (especialmente en las cercanías de puntos singulares), errores entre las dimensiones teóricas y reales del robot, etc.

### ***Repetitibilidad***

Radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir al mismo punto de destino programado, con condiciones de carga, temperatura, etc., iguales. (Normalmente se considera la banda que abarca el 99% de los puntos

respecto a la medida. El error de repetitibilidad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas (backlash).

El error de repetitibilidad tiene especial importancia en aquellos robots que son programados por aprendizaje, pues entonces no afectan los debidos a la resolución ni precisión. Los valores normales de repetitibilidad de robots industriales comerciales varían entre los  $\pm 2$  mm y  $\pm 0,01$  mm.

En el valor total del error de posicionamiento de un robot, afectan una serie de factores, como la longitud de sus brazos, carga manejada, tipo de estructura (la cartesiana no precisa transformación homogénea, evitándose errores de calculo), que pueden dar una idea general sobre la calidad de su posicionamiento final de su extremo. Así por lo general los robots cartesianos y los de reducidas dimensiones son mas precisos (en el sentido global) que otros como robots articulares o robots de gran envergadura.

Otras medidas relativas a los posibles errores de posición de un robot son las relacionadas con la precisión con las que un robot disponga de capacidad para ello, recorre una trayectoria programada, por ejemplo una línea recta. En este caso los posibles errores se ven afectados por las

mismas causas que los anteriores más que por aquellas derivadas del algoritmo interpolador de la trayectoria y de su control dinámico.

Así, el número de puntos con que se interpole una trayectoria determinara la precisión con que el robot la sigue. Este número de puntos con que se interpole una trayectoria determinara la precisión con al que el robot la sigue. Este numero de puntos esta limitado por el tiempo cálculo de la transformación inversa (dependiente de la estructura úel robot, potencia de cálculo del sistema de control, etc), así como por la velocidad con que se desee recorrer la trayectoria programada.

## **5.5 Programación de los Robots**

La fortaleza de un robot es su flexibilidad, su capacidad para adaptarse a nuevas producciones dentro de un rango amplio de movimiento. La utilización de la flexibilidad de un robot presupone una programación efectiva. La programación de un robot puede tomar lugar en dos formas diferentes: On line y off line.

Para la programación on line se requiere el uso del robot, la programación off line esta basado en modelos e computadoras, ambos métodos tienen ventajas y desventajas.

**Programación on line:**

La programación on line se ejecuta en el puesto de trabajo e implica la célula de trabajo, el robot se programa desde la caja comando, la programación en línea tiene las siguientes ventajas:

<b><i>Ventajas</i></b>	<b><i>Desventajas</i></b>
Fácilmente accesible	Movimiento lento del robot mientras se programa
	La programación lógica y los cálculos la hacen algo difíciles
	La suspensión de la producción mientras se programa
	El costo es equivalente al valor de la producción
	Pobremente documentada

La ventaja mas significativa de la programación on line es que el robot programado de acuerdo a la pieza en su posición real en relación al equipo. Contrariamente la desventaja más significativa es que ocupa el equipo durante la producción.

**Programación Off line**

La programación off line se ejecuta en una computadora y se emplean los modelos de la celda de trabajo con las piezas del robot, los programas pueden ser en la mayoría de los casos creados por la utilización de la

data existente en el CAD, de tal manera que la programación sea rápida y efectiva. Los programas del robot son verificados y simulados y se pueden corregir los errores.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La programación lógica y cálculos se facilita	Demanda la inversión de un sistema off line
La construcción de los modelos puede contribuir a afinar la programación on line o utilizar sensores	
La programación se ejecuta en la PC	
Verificación de los programas a través de la simulación y visualización	
La documentación es reforzada con la simulación en modelos y programas adecuados	
Utiliza la data del CAD	
El costo es independiente de la producción, se produce mientras se programa	
Soporte de herramientas para la selección de parámetros de soldadura	

La mayor ventaja de la programación off line es que no ocupa el equipo de producción y de esta manera se puede continuar durante el proceso de programación. La mayor parte de los robots actuales se programan on line. Esto es principalmente debido al efecto de que la programación off line requiere de usuarios expertos.

Las herramientas de programación avanzadas off line contienen asistentes para hacer más eficiente la programación. Las herramientas de programación se soportan en la programación de los procesos a fin de optimizar los procesos de soldadura

### **Programación Híbrida**

Utiliza las ventajas de ambos métodos de programación técnica optimizados. Esto es generalmente referido a un programa híbrido. Un programa de robot consiste principalmente de dos partes: localización (posición y alineamiento) y programas lógicos (controlador, estructuras, comunicación, cálculos)

Los programas lógicos pueden ser desarrollados en forma eficaz en el método off line y empleando las facilidades de simulación disponibles aquí. La mayor parte de los comandos de movimientos pueden ser creados off line por el uso de la data del CAD e interacción del programador.

Los movimientos del comando para localizar la pieza en la célula del robot puede ser programado on line si es necesaria. De esta manera las ventajas de ambos métodos. Con el uso de ambos métodos se puede incrementar la flexibilidad en la producción.

## 5.6 Rango de operación del Robot

De acuerdo a nuestro análisis, se ha encontrado que el rango de operación para nuestro robot de soldadura será el siguiente:

Longitud de brazo:	2.2 m
Máxima capacidad de carga	6 Kg.
Repetitibilidad Posicional	$\pm 0.1$ mm
Número de ejes	6
Capacidad de Memoria	20,000 instrucciones
Masa (manipulador)	210 Kg.
Masa (controlador)	45 Kg.
Grados de Libertad	6

## 5.7 Accesorios y Parámetros

### 5.7.1 Accesorios

Se ha considerado para nuestro robot los siguientes accesorios:

Posicionador de piezas con capacidad de rotación

Mesa de trabajo

Alarma periférica de seguridad

Extractor de humos de soldadura

PC de interfase

Software de Programación e Interfase.

Sensores de compensación de stick-out

### 5.7.2 Parámetros

Del estudio realizado en la sección 4.4, se ha obtenido los siguientes parámetros de soldadura:

Tipo de soldadura	TIG, MIG/MAG.
Voltaje	36 V DC/AC
Amperaje	350 A

## 5.8 Lenguaje de Programación

Además de la programación ISO habitual, se debe tener un lenguaje de programación que cumpla las características básicas de un lenguaje ideal para robots, son:

1. Claridad y sencillez
2. Claridad de la estructura de programa
3. Sencillez de aplicación
4. Facilidad de ampliación
5. Facilidad de corrección y Mantenimiento
6. Eficacia

7. Transportabilidad sobre cualquier equipo mecánico o informático
8. Adaptabilidad a sensores (tacto, visión, etc)
9. Posibilidad de descripción de herramientas acoplables al manipulador.
10. Interacción con otros sistemas.

El lenguaje de programación elegido es el AUTOPASS, que tiene un juego de comandos con una sintaxis similar a la del inglés corriente (versión en español). Este lenguaje es fácilmente ampliable con inclusión de subrutinas definidas por el mismo usuario.

Su adaptabilidad a accesorios externos implica la posibilidad de toma de decisiones, algo muy interesante para las labores de ensamble.

## 5.9 Lenguaje del Robot FIMA

Se ha elegido el Lenguaje de programación AUTOPASS, además del lenguaje conversacional interactivo que trae el robot.

### 5.9.1 Características geométricas y de software

Longitud de brazo:	2.2 m
Máxima capacidad de carga	6 Kg.
Repetitibilidad Posicional	$\pm 0.1$ mm

Número de ejes	6
Capacidad de Memoria	20,000 instrucciones
Lenguaje de Programación	AUTOPASS
PC de interfase	

### 5.9.2 Características de Soldadura

Voltaje	36 V DC/AC
Amperaje	350 A
Número de fases	3
Soporte de alimentador de alambre	
Pistola porta electrodos	
Tips	0.8 – 1.0 – 1.2 – 1.6
Mangueras para gas de protección	
Cables de 10 m.	
Display indicador de parámetros	

### 5.9.3 Accesorios

- Posicionador de piezas con capacidad de rotación
- Mesa de trabajo
- Alarma periférica de seguridad
- Extractor de humos de soldadura

PC de interfase

Software de Programación e Interfase.

Sensores de compensación de stick-out

## **5.10 Solicitud de Cotizaciones**

Se solicitan cotizaciones según el perfil del robot descrito en la sección 5.9

### **5.10.1 Lista de Proveedores**

FANUC Robotics

KUKA Roboter

COMAU Robotics

FANUC Robotics

Kawasaki Robotics

Migatronic

Motoman

Nachi Robotic Systems

Panasonic Factory Automation

Reis Robotics

Servo-Robot

LEISTER Process Technologies

ESAB

SERRA

TÜNKERS

TBi-Industries

MTA Automation AG

ARO

## **5.11 Evaluación de cotizaciones**

Por efectos de información y repuestos se ha evaluado a los siguientes proveedores, son las siguientes marcas: CLOOS, KUKA y KAWASAKI.

### **5.11.1 Evaluación técnica de los proveedores**

A efectos de poder evaluarlos técnicamente se ha dado ponderaciones que se observan en el cuadro siguiente de Evaluación Técnica de Proveedores.

	CLOOS	KUKA	KAWASAKI
Articulación ejes	6	6	6
Diámetro mm	4100	4000	4200
Altura mm	2696	2750	2371
Capacidad de carga Kg	15	15	20
Repetitibilidad mm	+/- 0,1	<+/- 0,1	+/- 0,1
Accionamiento CA	2 Servo motores		
Angulo de rotación			
Eje I	340		320
Eje II	225		245
Eje III	292		520
Reje IV	360		540
Eje V	270		290
Eje VI	600		720
Velocidad de los ejes			
Eje I	148 °/ s		160 °/ s
Eje II	130 °/ s		140 °/ s
Eje III	165 °/ s		160 °/ s
Reje IV	300 °/ s		330 °/ s
Eje V	270 °/ s		330 °/ s
Eje VI	600 °/ s		500 °/ s
Espacio físico mm	460x 730		154 °/ s
Peso Kg	245	222	210
Control			
CPU	32 bit	KRC 1	C
Memoria de trabajo	440 kb	420 kb	
Almacn. De programas	32	36	36
Programación			
On line	PHG	KU 4	Block Steps
Off line	Robo plan NT	KRC 1	LM
Simulador		KSIM	METFAB
Administración	CAROLA - EDI	KUKA CP	METFAB
Sensores de reconocim.	Laser	Laser	Laser

Fuente de Poder	GLC 503 Capo	KPU 400 S
Ciclo 60 %	500 A / 39 V	310 A / 34V
Ciclo 100 %	400 A / 34 V	310 A / 30 V
	40 A / 12 V .....	
Rango de soldadura	500A / 47 V	
Voltaje de circuito abierto	70V	51V
Voltaje principal	3x220V / 440 60 Hz	3x220V / 440 60 Hz
Consumo de corriente	30 A / 21 kVA	26 A / 13,8 KVA
Protección	IP 21	IP 21
Aislamiento	Clase F	Clase F
Velocidad de alambre	0 ..... 24 m/min	0 ..... 24 m/min
Peso Kg	190	180
Microprocesador	80C166	KPI
Monitoreo de Data weld	SD	KU2000
Almacenamiento	255 listas	240

Precio FOB US\$	62 000	69 000	64 000
-----------------	--------	--------	--------

	CLOOS	KUKA	KAWASAKI
Asesoría en proyectos	Ok	Ok	Ok
Repuestos	24 horas	24 horas	24 horas
Representante	Brasil	Brasil	USA
Fecha de entrega	6 Semanas	6 Semanas	5 Semanas

Evaluación Técnica			
Criterios de Evaluación	100	100	100
Capacidad	100	100	120
Programación	100	90	80
Fuente de poder	100	90	90
Asesoría	100	100	90
Training	100	100	100
Servicio Técnico	100	100	100
Total	700	680	680

### 5.11.2 Evaluación económica

La primera aproximación es la evaluación técnica - precios; cuyo resultado se muestra en el cuadro adjunto:

<b>Evaluación técnica - precios</b>			
<b>Criterio</b>	<b>CLOOS</b>	<b>KUKA</b>	<b>KAWASAKI</b>
Precio	62000	69000	64000
Aspecto Técnico	7	6.8	6.8
Factor de ponderación	434	469	435

Como en todo proyecto de ingeniería siempre es imprescindible un análisis económico, el cual determina su viabilidad y rentabilidad. En el caso del robot cuyo proyecto consiste en la inclusión de material tecnológicamente avanzado o en la automatización de procesos; es necesario también realizar éste análisis.

Los beneficios sociales o lo avanzado de la tecnología a utilizar, aunque se consideren cuestiones importantes, son normalmente aspectos secundarios, pues el primer objetivo de toda empresa que incorpora proyectos de éstas características es obtener de él un rendimiento económico, ya sea a corto largo plazo.

A fin de preparar los escenarios base para la evaluación económica se ha considerado la incidencia de las Horas Hombre de soldadura anuales en la empresa y la contribución del robot para absorber una cantidad de HH determinadas en función a las dimensiones de las piezas, capacidad y procesos de soldadura. También se ha dimensionado la celda y el personal que allí laboraría efectuando labores desde programación, soldadura, ayudante montador de piezas; la idea es operar con la celda 24 horas, los 12 meses del año de Lunes a Viernes

El análisis económico lo vamos a realizar de tres formas:

- Periodo de recuperación
- Método del Valor Actual neto (VAN)
- Método de la Tasa Interna de retorno (TIR)

Periodo de recuperación: se entiende por periodo de recuperación aquel intervalo de tiempo que transcurre desde el comienzo del proyecto hasta el flujo de caja neto acumulado sea mayor que cero.

$$\sum (R_j - C_j) = 0 (j = 0; n = \text{año de recuperación})$$

R: ingresos C: Costos estimados en el año

Calculo del Periodo de recuperaci3n						
Año	0	1	2	3	4	5
Costo de inversi3n	141400					
HH convenc.		12000	15000	20000	20000	20000
US\$ sold convenc		300000	375000	500000	500000	500000
HH Robot		2400	3200	4800	4800	4800
US\$ robot		240000	320000	480000	480000	480000
Ingreso por ahorro en HH		60000	55000	20000	20000	20000
Ingreso por no retrabajos		3000	2750	1000	1000	1000
Ingreso por mano de obra		24000	30000	40000	40000	40000
Total Ingreso		87000	87750	61000	61000	61000
Recuperaci3n	-141400	-54400	33350	94350	155350	216350

HH por soldadura convencional: 2000 HH / ańo  
 HH por soldadura robot: 4800 HH / ańo

tasa horaria: 25 \$ / hr.  
 tasa horaria: 100 \$ / hr.

Se considera una vida economica de 5 ańos  
 Valor residual de 20000 US\$

La recuperaci3n se da a partir del 2do ańo.

Tomar nota que coincide con los valores de recuperaci3n de acuerdo a las estadísticas internacionales.

Calculo del VAN

$$VAN = \sum \left( \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j} \right) + \frac{M}{(1+i)^{n+1}}$$

Donde:

R: Ingresos C: Costos estimados

$$\begin{aligned} \text{VAN} = & - 141400 - 54400/(1+0.2) + 33350/(1+0.2)^2 + \\ & 94350/(1+0.2)^3 + 155350/(1+0.2)^4 \\ & + 216350/(1+0.2)^5 + 20000/(1+i)^6 \end{aligned}$$

$$\text{VAN} = 59589.3 \quad (\text{El proyecto es factible})$$

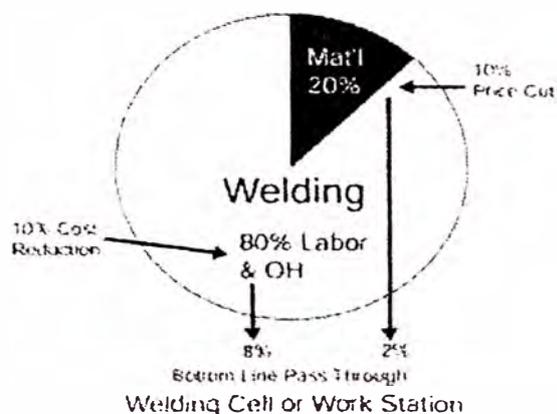
### Calculo del TIR

De la ecuación:

$$\begin{aligned} 0 = & - 141400 - 54400/(1+i) + 33350/(1+i)^2 + 94350/(1+i)^3 + \\ & 155350/(1+i)^4 \\ & + 216350/(1+i)^5 + 20000/(1+i)^6 \end{aligned}$$

$i = 29.9 \%$ ; tasa rendimiento mayor a las alternativas del mercado (El proyecto es factible).

### Welding Fabrication – Associated Costs



### 5.11.3 Evaluación financiera

Precio del Bien de Capital US\$ FOB 62000  
 Precio en almacenes de la planta + util 112500

El monto a financiar es de 112500 US\$; se ha elegido la modalidad de Leasing financiero que es una alternativa bastante usada en la compra de bienes de capital en el mundo.

#### Forma de Financiamiento

Leasing Bancario	
tasa efectiva anual	7.50%
Años	5
Seguro	2.50%
<b>Cuota trimestral US\$</b>	<b>8300</b>

Incluye Seguro, Gastos Administrativos

**El Bien se cancelará al 5to año**

## **5.12 Evaluación final**

Los indicadores técnicos, económicos confirman que la aplicación de los criterios utilizados en el desarrollo de la evaluación del proyecto es factible y adecuada, sobre el robot de la marca CLOSS.

## **CAPITULO VI**

### **CAPACITACION, INSTALACION, ACTIVIDADES PREPARATORIAS, POTENCIAL HUMANO, ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD, EVALUACION DE RIESGOS.**

#### **6.1 Capacitación**

Para la utilización del robot de soldadura, se necesitan dos tipos de capacitación:

La capacitación previa a la llegada del robot, y la capacitación con la instalación del robot y la puesta en marcha. En ambos casos la Capacitación está enmarcada dentro de la Norma: AWS D16.4M/D16.4:2005, SPECIFICATION FOR QUALIFICATION OF ROBOTIC ARC WELDING PERSONNEL, 2nd. Edition. (ver anexo V)

##### **6.1.1 Capacitación previa del personal**

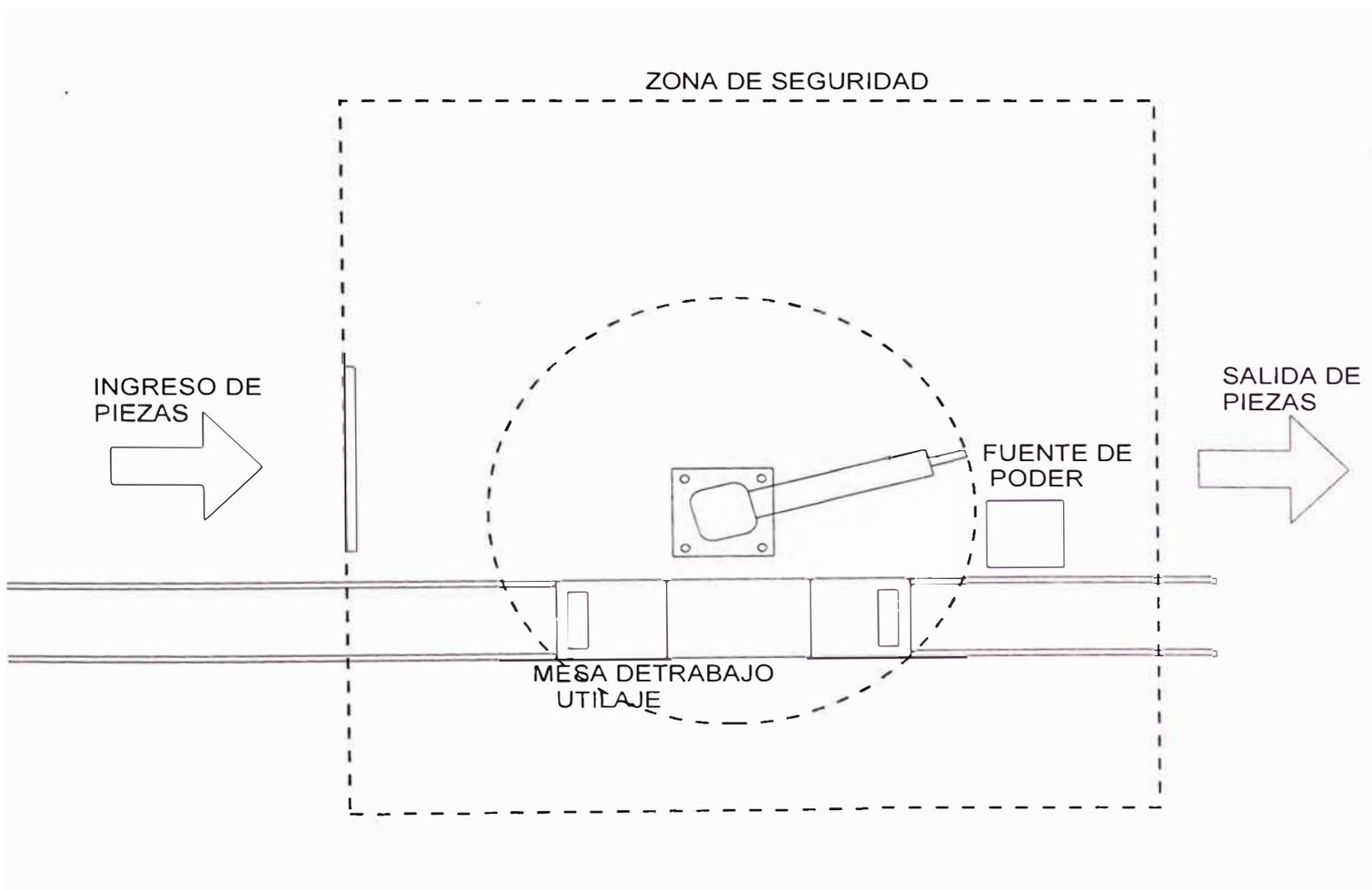
La capacitación se realizará en software de programación, e incluye los fundamentos básicos de computación, aspectos teóricos de soldadura (parámetros de soldadura, control de

Esta fase incluye la elaboración del layout, ejecución de la cimentación, instalaciones eléctricas, de aire comprimido, iluminación, sistemas de seguridad, utillaje (estantes, casilleros, etc).

### 6.2.1 Layout

Se ha considerado lo siguiente:

Área de la celda de soldadura = 30 m<sup>2</sup>



### **6.2.2 Cimentación**

Se ha calculado para un peso del sistema de Robot de 500 Kg., un momento de volteo de 150 Kg-m., para lo cual se ha determinado una zapata de 1000 mm x 1000 mm x 600 mm de profundidad, con canastilla de doble hilera, diámetro 5/8", concreto 240 Kg/m<sup>2</sup>, 4 pernos de anclaje de 3/4" x 350 mm.

### **6.2.3 Instalaciones eléctricas**

Se ha considerado una línea eléctrica para la conexión del robot, fuente de poder, un cable 3/0.

### **6.2.4 Instalaciones de Aire Comprimido**

Se ha considerado para la zona del robot, una línea de aire comprimido de 6 CFM a 90 PSI, con 3 salidas, con filtros, lubricadores y manómetro de control.

### **6.2.5 Instalaciones de Iluminación**

Se ha considerado una iluminación de 1500 luxes, de acuerdo a estándares de la OIT, para lo cual se ha considerado 4 lámparas de 250 W cada una, con luminarias MER 140 – Josfel.

### 6.2.6 Sistemas de Seguridad

El área de la celda de soldadura cuenta con red periférica de barandas. La zona de ingreso y salida de piezas está protegida por detectores láser que detienen el proceso si durante la operación del robot el haz láser es interrumpido.

### 6.2.7 Utillaje

El utillaje consta de lo siguiente:

- Mesa de trabajo de 3000 mm x 800 mm, con capacidad de giro electrónico coordinado desde el programa.
- Jigs y Fixtures para las diferentes piezas
- Estante para el operario.
- Estante para almacenamiento de partes, piezas y accesorios del robot.

### 6.2.8 Presupuesto de la preparación

<i><b>Item</b></i>	<i><b>Costo US\$</b></i>
Capacitación	2750
Cimentación	600
Instalación Eléctrica	400
Instalación Aire Comprimido	600
Instalación Iluminación	1000
Sistema de Seguridad	1800
Utillaje	24500
Otros (Trabajos preliminares y finales)	1350
<b>TOTAL</b>	<b>33000</b>

### 6.3 Instalación y Puesta a prueba del Robot FIMA

Se incluye en este acápite las actividades desde la recepción del Robot, desaduanaje, instalación, prueba en vacío, puesta en marcha y cierre del proyecto.

Estas actividades se harán de acuerdo a la norma ISO 9283.

#### 6.3.1 Recepción y Desaduanaje

Logística estima que el robot se encuentre en Lima Callao en un lapso de 12 Semanas después de colocada la Orden de compra y L/C.

Tiempo de entrega en USA:	8 Semanas
Tramites de embarque e Inspección:	1 Semana
Transporte Marítimo:	3 Semanas
<b>Total</b>	<b>12 Semanas</b>

Tramites de desaduanaje, inspección y transporte a la planta FIMA: 1 Semana

En FIMA, será recepcionado por el almacén, verificado con el packing list y demás documentos.

En cuanto el Robot se encuentre en FIMA, se comunicará al proveedor, para coordinar el envío del Técnico para la instalación.

### **6.3.2 Instalación**

A la llegada del Robot, se encuentran terminadas las siguientes actividades preparatorias:

- Cimentación para anclaje de robot y mesa de trabajo (con una semana de fragua)
- Línea de aire comprimido
- Línea de energía eléctrica
- Instalación de luminarias

Las actividades de instalación implican lo siguiente:

- Ubicación del robot de acuerdo al Layout de la celda de soldadura, nivelación, fijación con pernos de anclaje y grouting, conexiones eléctricas y de aire comprimido.  
Tiempo estimado de la actividad 3 días

### **6.3.3 Puesta en vacío**

La prueba en vacío consta de las siguientes actividades:

- Sistema de seguridad del robot
- Prueba de encendido
- Presetting de parámetros básicos
- Inicio de la marcha en vacío del robot
- Máximos desplazamientos
- Verificación de la velocidad de marcha
- Prueba de controles
- Verificación de ejes y desplazamientos ajuste de parámetros
- Conexión con fuente de poder
- Ubicación y reconocimiento de zona de trabajo
- Instalación de sistema de seguridad

Duración de ésta actividad: 2 días

### **6.3.4 Puesta en marcha**

La puesta en marcha del robot consta de las siguientes actividades:

- Colocación de pistolas para soldar

- Pruebas con pistola de soldar
- Soldadura de piezas simples
- Soldadura de piezas de complejidad mediana
- Regulación de parámetros de soldadura
- Programación on line
- Programación off line
- Modelos de piezas a soldar
- Sistemas de seguridad

Las actividades serán realizadas paralelamente a la capacitación de los operadores de las maquinas de soldar a plena satisfacción con evaluaciones que así lo determinen en aspectos fundamentales como programación, operación y mantenimiento del robot de soldadura. Así como también en actividades de mantenimiento rutinario, preventivo y soluciones rápidas a problemas de operación.

Al final de la puesta en marcha del robot se elaborará el protocolo de operación de la maquina, así como el acta de instalación del robot incluyendo la capacitación del personal operario.

Duración de actividad: 5 días.

### **6.3.5 Cierre del Proyecto**

Se cierra el proyecto después de la instalación y un periodo de prueba de 2 meses, con el soporte de los documentos de puesta en marcha y el informe de producción y mantenimiento respecto a la operación durante el periodo de prueba.

Comunicando a los stakeholders el cierre del proyecto.

Se elabora un dossier del proyecto con todos los entregables y comunicaciones realizados durante la vida del proyecto y se archiva para futuras referencias.

## **6.4 Aseguramiento de Calidad del Proyecto**

Para este proyecto se debe elaborar un Manual de Calidad que incluya la política de Calidad, los Estándares y Regulaciones, y los Documentos de Control.

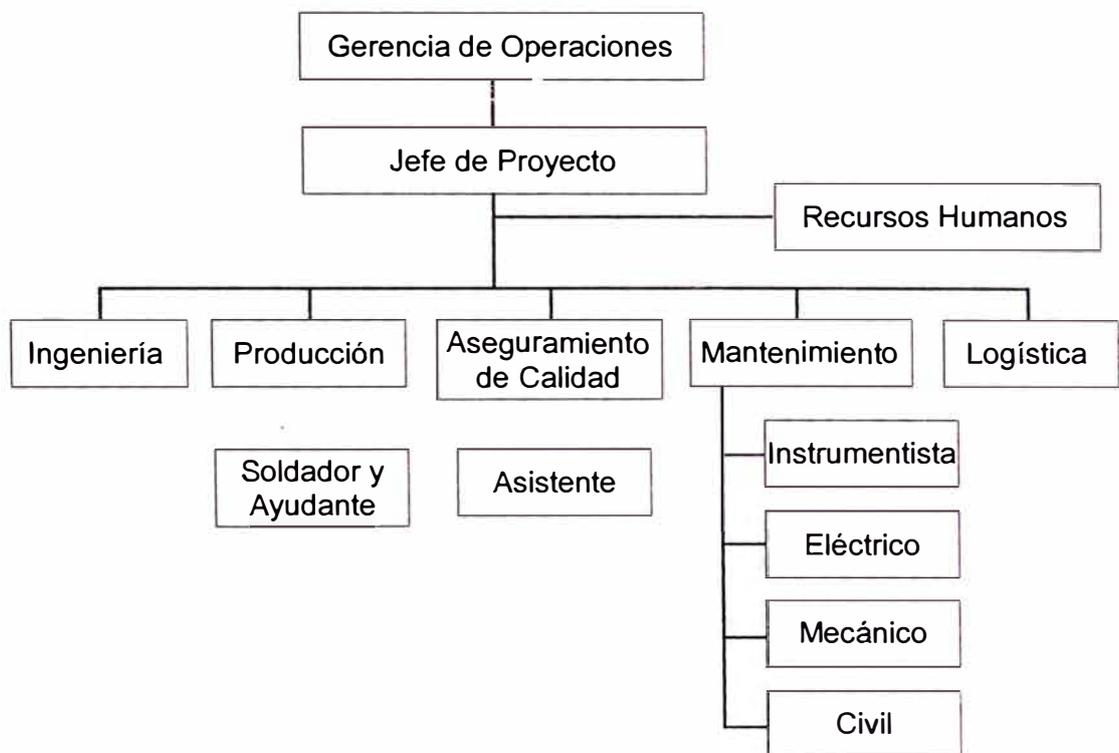
## **6.5 Potencial Humano para el Proyecto**

### **6.5.1 El Equipo de Trabajo**

El equipo de proyecto es multidisciplinario y se reunirá por lo menos una vez por semana para tratar el avance del proyecto y

tomar las acciones necesarias en caso de retrasos o dificultades durante el ciclo de vida del proyecto.

En la siguiente figura se observa el organigrama del Equipo de Proyecto:



### 6.5.2 Asignación de Roles

Las responsabilidades de los miembros del Equipo de Proyecto son las siguientes:

### **Gerencia de operaciones:**

Tendrá como responsabilidades:

- Define el alcance del Proyecto.
- Coordina la apertura y cierre del proyecto.
- Coordina el desarrollo y ejecución del proyecto.
- Aprueba los reportes de costos y avances quincenales.
- Aprueba las órdenes de compra.
- Selecciona el "Team Project".

### **Jefe del Proyecto:**

Figura como sus responsabilidades:

- Planifica y ejecuta el desarrollo del proyecto a tiempo completo.
- Lidera las reuniones del "Team Project"
- Elabora los reportes de avances y de costos del proyecto.
- Monitoreo del cumplimiento del P.A.C. (Plan de Aseguramiento de Calidad).

### **Ingeniería:**

- Actualiza la ingeniería de detalle (Feed Back) para los productos que se apliquen al nuevo proceso automático de soldadura.

- Elabora los planos y metrados del proyecto (Obras mecánicas, eléctricas y civiles).

**Producción:**

- Define los procesos de soldadura para el nuevo proceso automático.
- Aprueba la conformidad del nuevo equipo instalado.

**Aseguramiento de la calidad:**

- Elabora el plan de calidad del proyecto.
- Asegura el desarrollo y ejecución del proyecto bajo los criterios del plan de Calidad.
- Prepara la documentación del dossier del proyecto (entregables).

**Mantenimiento:**

- Dirige los trabajos preliminares (limpieza y adecuación de la zona de trabajo), la cimentación, las instalaciones eléctricas e iluminación y la línea de aire comprimido.
- Responsable de la instalación y operatividad del Equipo Robot.

**Logística:**

- Responsable de la procura del proyecto. (cotizaciones, importaciones etc.).
- Elabora las órdenes de compra.

**Recursos Humanos:**

- Apoya en la gestión de la capacitación y en la selección de personal.

**Sistemas:**

- Apoya en las comunicaciones del proyecto (hardware y software).

**6.5.3 Competencias del Personal**

**Jefe del Proyecto:**

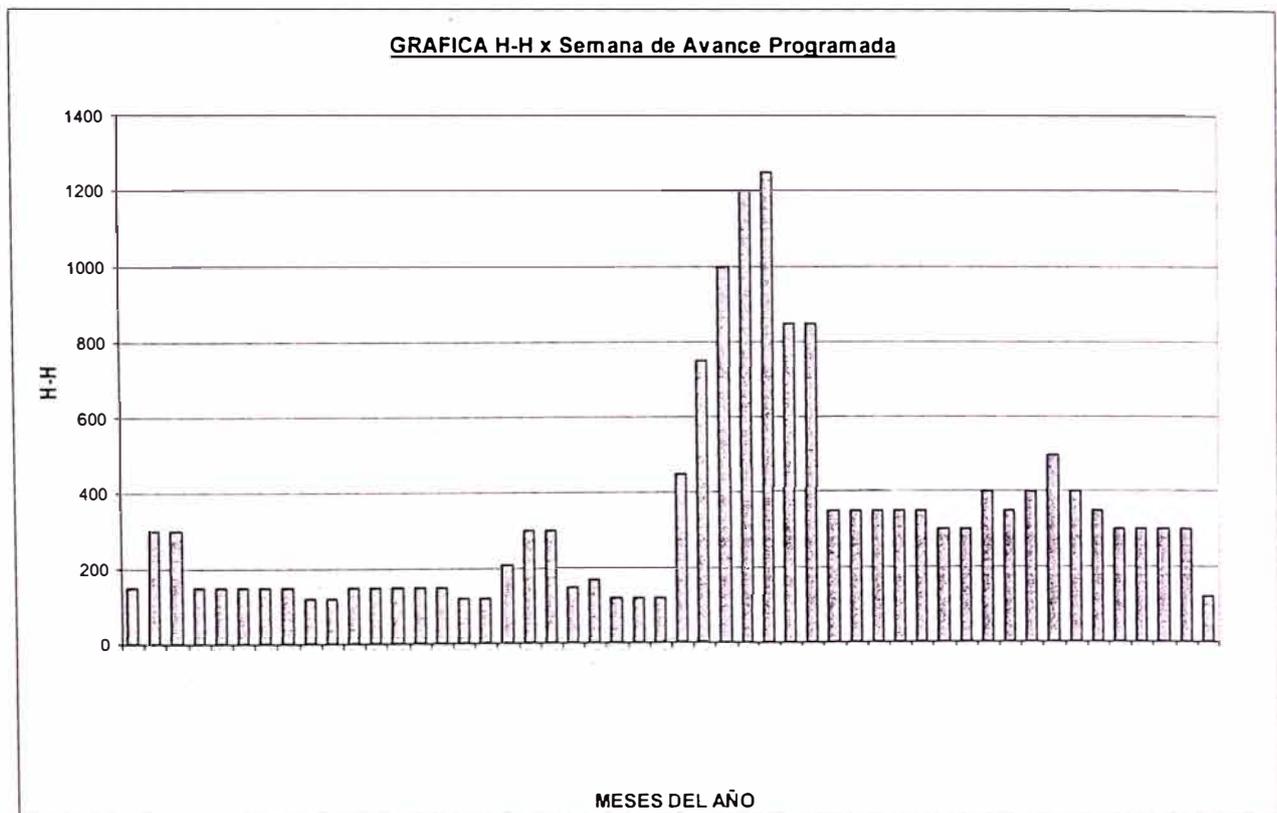
Ingeniero Mecánico con conocimientos de Gerencia de Proyectos. Con experiencia en Administración y Comercio Exterior. Capaz de interrelacionarse a todo nivel y constituir equipos de trabajo capaces de conseguir objetivos a corto plazo.

**Mantenimiento:**

Ingeniero Mecánico ó Eléctrico con experiencia en procesos de automatización y Robótica Industrial.

**Consultor:**

Ingeniero Mecatrónico o electrónico con experiencia en instalación integral de sistemas de robots industriales.

**6.5.4 Cronograma de Utilización del Personal**

El cronograma en HH, por semana y mes es el siguiente:

MES	SEMANA	HH Programadas
Agosto	1	150
	2	300
	3	300
	4	150
Setiembre	1	150
	2	150
	3	150
	4	150
Octubre	1	120
	2	120
	3	150
	4	150
Noviembre	1	150
	2	150
	3	150
	4	120
Diciembre	1	120
	2	210
	3	300
	4	300
Enero	1	150
	2	170
	3	120
	4	120
Febrero	1	120
	2	450
	3	750
	4	1000
Marzo	1	1200
	2	1250
	3	850
	4	850
Abril	1	350
	2	350
	3	350
	4	350
Mayo	1	350
	2	300
	3	300
	4	400
Junio	1	350
	2	400
	3	500
	4	400
Julio	1	350
	2	300
	3	300
	4	300
Agosto	1	300
	2	120

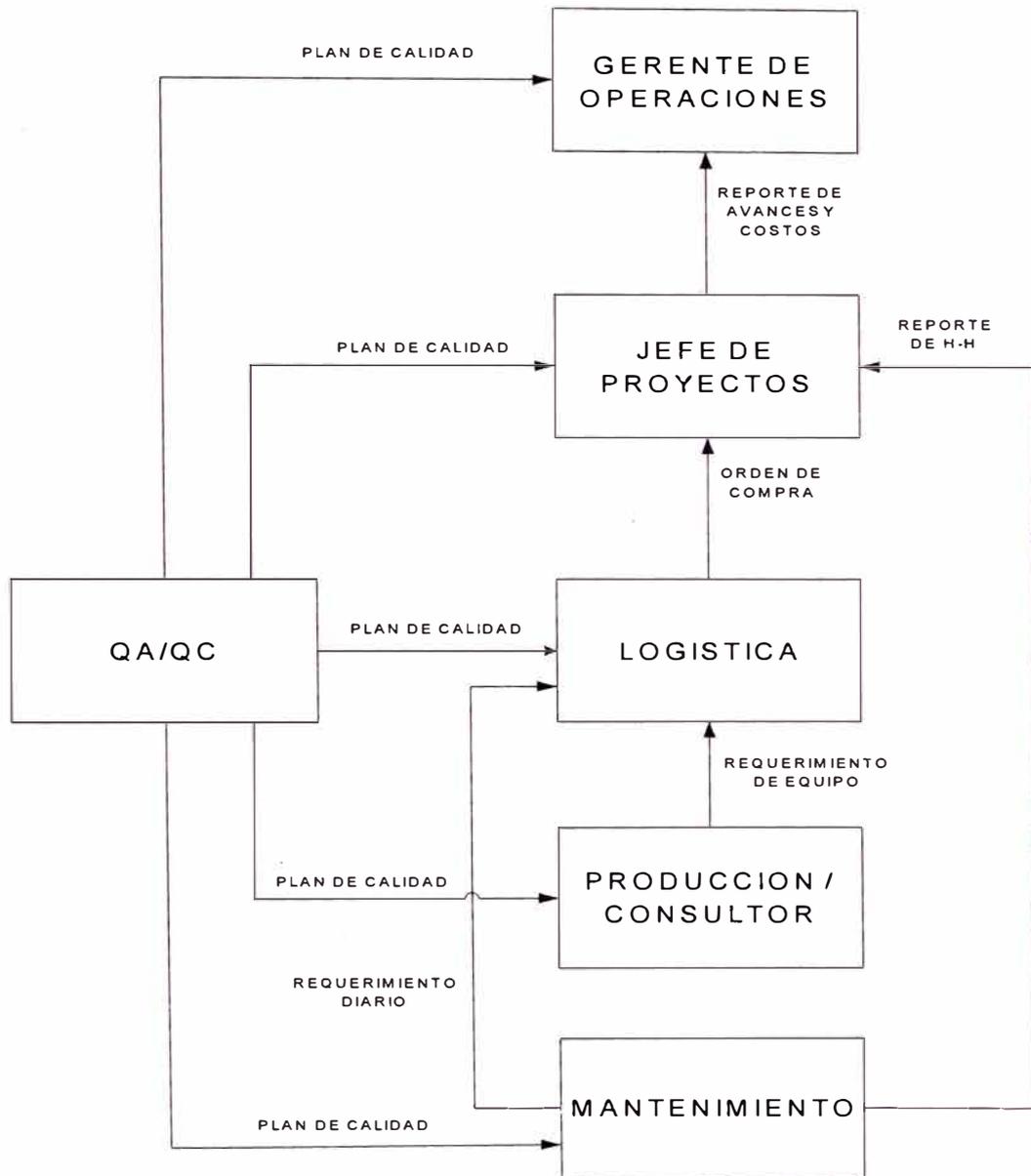
## **6.6 Las Comunicaciones en el Proyecto**

En esta sección describiremos los procesos requeridos para el manejo y coordinación de la información y las comunicaciones necesarias entre los involucrados.

### **6.6.1 Planeamiento de las Comunicaciones**

El Planeamiento de las comunicaciones es de mucha importancia en el proyecto ya que nos permitirá una adecuada comunicación entre las áreas respectivas para la viabilidad del proyecto.

La grafica siguiente muestra el flow sheet para la distribución de los documentos:



### 6.6.2 Distribución de la Información

La distribución de las comunicaciones se efectúa de acuerdo al flow sheet anterior.

### 6.6.3 Reporte de Performance

La siguiente tabla muestra los indicadores de performance para las diferentes áreas involucradas en el proyecto.

	INDICADORES
Jefe de proyecto	% de avance y gastos
Logística	Tiempo de entrega de materiales,
Producción	Nro. de propuestas de robot seleccionados
Mantenimiento	h-h acumuladas
QA/QC	Nro. de no conformidades encontradas.

### 6.7 Identificación del Riesgo del Proyecto

Se han analizado las posibilidades de riesgo en el cuadro de análisis de riesgos en el cual se presenta la matriz de riesgos del proyecto, mostrando los riesgos que pueden presentarse durante el desarrollo del proyecto, ordenados según su importancia, obtenida en base a su probabilidad de ocurrencia y a su impacto en el proyecto.

### **6.7.1 Evaluación Cualitativa del Riesgo del Proyecto**

Para obtener la importancia de cada riesgo, se han establecido escalas para la importancia y la probabilidad de cada riesgo. Para el caso de la evaluación cualitativa, se ha tomado una escala de 1 a 10, donde 10 es la máxima probabilidad de daño. De la misma manera la probabilidad de ocurrencia se ha calificado en una escala de 1 a 10, donde 10 es la máxima probabilidad de ocurrencia.

### **6.7.2 Planificación de Respuesta al Riesgo**

Se han tomado las previsiones para evitar o minimizar los efectos de cada riesgo, planeando las acciones correspondientes.

Las estrategias a seguir para cada riesgo específico se detallan en la tabla siguiente de respuestas de riesgos asociados al proyecto.

**ANÁLISIS DE RIESGOS ASOCIADOS AL PROYECTO**

<b>IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>CONSECUENCIA ECONOMICA</b>	<b>EVALUACION CUALITATIVA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>INDICE DE IMPORTANCIA</b>
1 Cronograma de trabajo estrecho	Labores sobrecargadas	Mayores costos del proyecto	8	8	64
2 Banco no acepta leasing	Buscar alternativas de financiamiento	Mayores costos financieros	10	6	60
3 Falta de accesorios	Pérdida de funcionalidad	Pérdida de HH	7	8	56
4 Falta de disponibilidad de los integrantes del proyecto	Retraso del proyecto, malas decisiones	Incrementa la vida útil del proyecto	7	8	56
5 Costos no considerados o insuficientes	Fases del proyecto incompletas	Mayores costos del proyecto	7	8	56
6 Incompatibilidad con CAD/CAM y software ingeniería	Mayor tiempo de programación	Pérdida de HH	7	7	49
7 Rechazo del personal a la utilización del sistema de seguridad	Acciones subestandar	Pérdida de HH	7	7	49
8 Determinación errónea del universo de piezas	Funcionamiento antieconómico	No se cubren costos proyectados	7	6	42
9 Limitación por la geometría de piezas	Funcionamiento antieconómico	No se cubren costos proyectados	7	6	42
10 Volumen de producción de piezas insuficiente	Funcionamiento antieconómico	No se cubren costos proyectados	7	6	42
11 No alcanza rendimientos competitivos	Funcionamiento antieconómico	No se cubren costos proyectados	8	5	40
12 No fluye la comunicación adecuada entre los stakeholders	Retraso del proyecto	Incrementa la vida útil del proyecto	4	9	36
13 Personal no aprendió el curso	Personal no apto	Pérdida de HH	7	5	35
14 Terror del personal al robot	Personal no apto	Pérdida de HH	5	7	35
15 Terror a programar, Terror a operar	Personal no apto	Pérdida de HH	5	7	35
16 Protesta sindical	Paros, manifestaciones	Pérdida de HH	7	4	28
17 Deserción de los operadores capacitados en los 3 primeros meses	Falta de personal capacitado	Gastos de capacitación y entrenamiento	7	4	28
18 Puntos de alineación no coinciden con los puntos de anclaje	Demora en la instalación	Se incrementan costos de instalación	3	9	27
19 No se puede programar adecuadamente	Pérdida de funcionalidad	Pérdida de HH	6	4	24
20 Personal no apto para el Equipo de Proyecto	Decisiones incorrectas	Mayores costos del proyecto	6	4	24
21 Vibración del robot	Mala calidad de productos, deterioro	Rechazos, costos de Mito	4	6	24
22 Lento aprendizaje de los operarios en el entrenamiento en planta	Pérdida de HH	Pérdida de productividad	4	6	24
23 Capacidad del geometría robot insuficiente	Funcionamiento antieconómico	No se cubren costos proyectados	7	3	21
24 Que no salga de aduana	Demoras	Gastos de almacenaje aduanero	5	4	20
25 Impacto de la pistola contra las piezas	Deterioro	Repuestos y reparación	4	5	20
26 Excesivo tiempo de regulación	Pérdida de HH	Pérdida de productividad	4	5	20
27 Se quierre el motor durante la puesta a punto	Demora en la instalación	Se incrementan costos de instalación	6	3	18
28 Presupuesto de preparación insuficiente	Reducir instalaciones	Baja la productividad	2	9	18
29 Mal layout	Cuello de botella en producción	Pérdida de productividad	5	3	15
30 Caída de tensión por operación del robot	Disminuye la vida útil de otros equipos	Incremento de gastos de Mito	5	3	15
31 Superposición de roles	Descoordinación	Incrementa la vida útil del proyecto	5	3	15
32 La conexión a tierra del robot influye sobre equipos electrónicos	Deterioros de otras máquinas	Incremento de gastos de Mito	3	5	15
Tabla 13.1 (cont.)					
33 Parámetros de soldadura generan mala calidad de costura soldada	Mala calidad de productos, deterioro	Pérdida de productividad	4	3	12
34 Excesivo utillaje	Se incrementa almacenamiento	Costos de utillaje, almacenaje	2	6	12
35 Caos nacional. No hay pedidos	Falta de liquidez, moras	Refinanciamiento	10	1	10
36 Accidentes en el transporte y manipuleo ex planta del robot	Deterioro del robot, demoras	Incrementa la vida útil del proyecto	9	1	9
37 Alto consumo de energía	Incremento de facturación eléctrica	Mayores gastos operativos	3	3	9
	Disminuye la vida útil del equipo	Incremento de gastos de Mito	3		
38 Sensibilidad del robot ante fluctuaciones de tensión originadas por otros equipos.				2	6
39 Que no pueda entrar por el taller	Alteración de infraestructura	Se incrementan costos de instalación	3	1	3

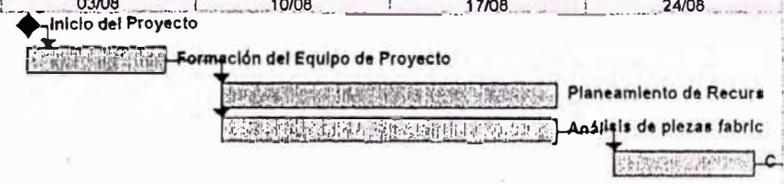
## RESPUESTAS A LOS RIESGOS ASOCIADOS AL PROYECTO

	IDENTIFICACION DE RIESGOS	RESPUESTA
1	Cronograma de trabajo estrecho	Análisis de sensibilidad
2	Banco no acepta leasing	Tener posibilidades de leasing con otros bancos
3	Faltan accesorios	Análisis exhaustivo de procesos
4	Falta de disponibilidad de los integrantes del proyecto	Tener apoyo de la Gerencia
5	Costos no considerados o insuficientes	Contar con reserva de presupuesto
6	Incompatibilidad con CAD/CAM y software ingeniería	Coordinar con proveedor antes de la compra
7	Rechazo del personal a la utilización del sistema de seguridad	Campaña de educación
8	Determinación errónea del universo de piezas	Consultar datos históricos de producción y proyecciones
9	Limitación por la geometría de piezas	Consultar datos históricos de producción y proyecciones
10	Volumen de producción de piezas insuficiente	Consultar datos históricos de producción y proyecciones
11	No alcanza rendimientos competitivos	Coordinar con proveedor antes de la compra
12	No fluye la comunicación adecuada entre los stakeholders	Establecer canales de comunicación eficientes
13	Personal no aprendió el curso	Tener alternativas de operarios
14	Temor del personal al robot	Tener alternativas de operarios
15	Temor a programar, Temor a operar	Tener alternativas de operarios
16	Protesta sindical	Comunicación con los trabajadores, explicar ventajas
17	Deserción de los operadores capacitados en los 3 primeros meses	Concertar acuerdos con operarios
18	Puntos de cimentación no coinciden con los puntos de anclaje	Coordinar con proveedor antes de la compra
19	No se puede programar adecuadamente	Traer experto del proveedor para asesoría
20	Personal no apto para el Equipo de Proyecto	Tener alternativas de operarios
21	Vibración del robot	Mto predictivo, alineamiento
22	Lento aprendizaje de los operarios en el entrenamiento en planta	Tener alternativas de operarios
23	Capacidad del geométrica robot insuficiente	Consultar datos históricos de producción y proyecciones
24	Que no salga de aduana	Verificar documentación antes del embarque
25	Impacto de la pistola contra las piezas	Stock de repuestos adecuado
26	Excesivo tiempo de regulación	Comunicación por software
27	Se quema el motor durante la puesta a punto	Stock de repuestos adecuado
28	Presupuesto de preparación insuficiente	Contar con reserva de presupuesto
29	Mal layout	Verificar espacio necesario con proveedor
30	Caida de tensión por operación del robot	Línea de energía independiente
31	Superposición de roles	Organigrama claramente definido
32	La conexión a tierra del robot influye sobre equipos electrónicos	Línea de tierra independiente
33	Parámetros de soldadura generan mala calidad de costura soldada	Coordinar con proveedor
34	Excesivo utillaje	
35	Caos nacional. No hay pedidos	Vender el Robot
36	Accidentes en el transporte y manipuleo ex planta del robot	Garantía del transportista
37	Alto consumo de energía	Coordinar con proveedor antes de la compra
38	Sensibilidad del robot ante fluctuaciones de tensión originadas por otros equipos.	Línea de energía independiente, equipo estabilizador
39	Que no pueda entrar por el taller	Layout adecuado

## 6.8 Planificación de las Actividades del Proyecto

**6.8.1 Cronograma.-** Se presenta el diagrama GANTT de las actividades del proyecto en las siguientes paginas:

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Nombres de los recursos
1	Inicio del Proyecto	0 días	lun 04/08/03	lun 04/08/03	Gerente General
2	Formación del Equipo de Proyecto	5 días	lun 04/08/03	vie 08/08/03	Jefe de Proyecto
3	Planeamiento de Recursos Humanos	10 días	lun 11/08/03	vie 22/08/03	Jefe de Proyecto/RR HH
4	Análisis de piezas fabricadas por soldadura en planta	10 días	lun 11/08/03	vie 22/08/03	Ing. De Diseño/ Procesos
5	Cuantificación del Volumen anual de piezas por WPS	5 días	lun 25/08/03	vie 29/08/03	Ing. De Diseño/ Procesos
6	Establecer parámetros funcionales del robot	5 días	lun 01/09/03	vie 05/09/03	Ing. De Procesos/ Metodos
7	Definir accesorios	10 días	lun 08/09/03	vie 19/09/03	Ing. De Procesos/ Metodos
8	Definir Lenguaje de Programación	5 días	lun 22/09/03	vie 26/09/03	Ing. De Procesos/ Metodos
9	Entregar perfil del robot	10 días	lun 29/09/03	lun 13/10/03	Jefe de Proyecto
10	Solicitar cotizaciones	25 días	mar 14/10/03	lun 17/11/03	Logística
11	Solicitar presupuesto de compra	15 días	mar 18/11/03	lun 08/12/03	Jefe de Proyecto
12	Evaluación y selección de cotizaciones	10 días	mar 09/12/03	lun 22/12/03	Jefe de Proyecto
13	Evaluación técnica económica	5 días	mar 23/12/03	mar 30/12/03	Jefe de Proyecto
14	Cotización final y pedido de repuestos	10 días	mié 31/12/03	mié 14/01/04	Jefe de Proyecto
15	Aprobación del presupuesto y de la orden de compra	15 días	jue 15/01/04	mié 04/02/04	Gerente General
16	Operación de leasing y emisión de orden de compra	10 días	jue 05/02/04	mié 18/02/04	Finanzas/Logística
17	Recepción de información técnica del modelo elegido	10 días	jue 05/02/04	mié 18/02/04	Logística
18	Diseño de nuevos procedimientos de fabricación	30 días	jue 19/02/04	mié 31/03/04	Ing. De Diseño
19	Layout	5 días	jue 19/02/04	mié 25/02/04	Ing. De Procesos
20	Acondicionamiento del lugar de ubicación	5 días	jue 26/02/04	mié 03/03/04	Ing. De Mantenimiento
21	Cimentación	5 días	jue 04/03/04	mié 10/03/04	Mantenimiento/Logística
22	Instalaciones eléctricas y de iluminación	15 días	jue 04/03/04	mié 24/03/04	Ing. De Mantenimiento
23	Sistema de seguridad de la celda de soldadura	10 días	jue 04/03/04	mié 17/03/04	Ing. De Mantenimiento
24	Selección de operarios del robot	5 días	jue 05/02/04	mié 11/02/04	Jefe de Proyecto/RR HH
25	Capacitación teórica	90 días	jue 12/02/04	vie 18/06/04	RR HH
26	Embarque y llegada del robot	65 días	jue 19/02/04	vie 21/05/04	Logística
27	Desaduanaje	5 días	lun 24/05/04	vie 28/05/04	Logística
28	Recepción del robot	2 días	lun 31/05/04	mar 01/06/04	Logística
29	Instalación	3 días	mié 02/06/04	vie 04/06/04	Ing. De Mantenimiento
30	Protocolo de prueba	1 día	lun 07/06/04	lun 07/06/04	Ing. De Mantenimiento
31	Prueba en vacío	2 días	mar 08/06/04	mié 09/06/04	Mantenimiento/Procesos
32	Puesta en marcha	5 días	jue 10/06/04	mié 18/06/04	Mantenimiento/Procesos
33	Capacitación en el área de trabajo	10 días	jue 10/06/04	mié 23/06/04	Técnico Proveedor
34	Periodo de prueba en producción	40 días	jue 17/06/04	lun 18/08/04	Ing. De Procesos
35	Prueba de los nuevos procedimientos de fabricación	30 días	jue 17/06/04	lun 02/08/04	Ing. De Diseño/ Procesos
36	Cierre del proyecto	0 días	lun 16/08/04	lun 18/08/04	Gerente General



Proyecto: ProyectoRobot  
 Fecha: vie 24/11/06

Tarea  Progreso  Resumen  Tareas externas  Fecha límite  JL  
 División  Hito  Resumen del proyecto  Hito externo

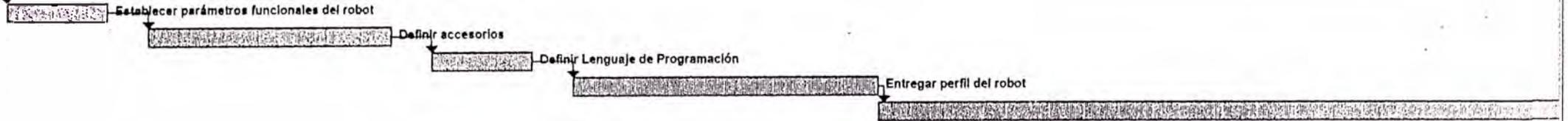
# PROYECTO "INSTALACION DE ROBOT DE SOLDADURA" - CRONOGRAMA

31/08 07/09 14/09 21/09 28/09 05/10 12/10 19/10 26/10 02/11

os Humanos

adas por soldadura en planta

uantificación del Volumen anual de piezas por WPS



Proyecto: ProyectoRobot  
 Fecha: vie 24/11/08

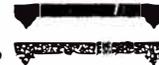
Tarea  
División



Progreso  
Hito



Resumen  
Resumen del proyecto



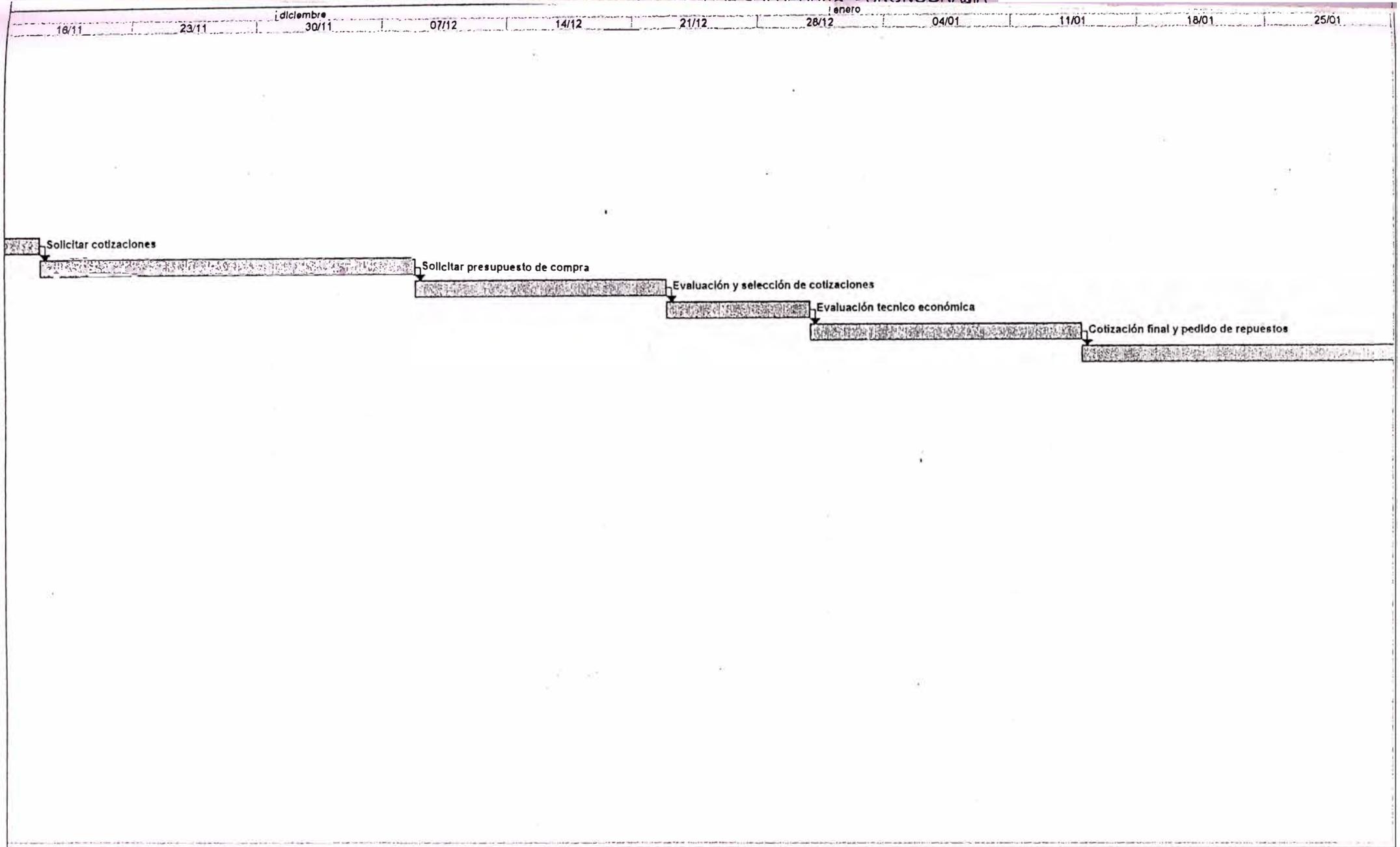
Tareas externas  
Hito externo



Fecha llmite



**PROYECTO "MANIPULADOR DE ROBOT DE SOLDADURA" - CRONOGRAMA**

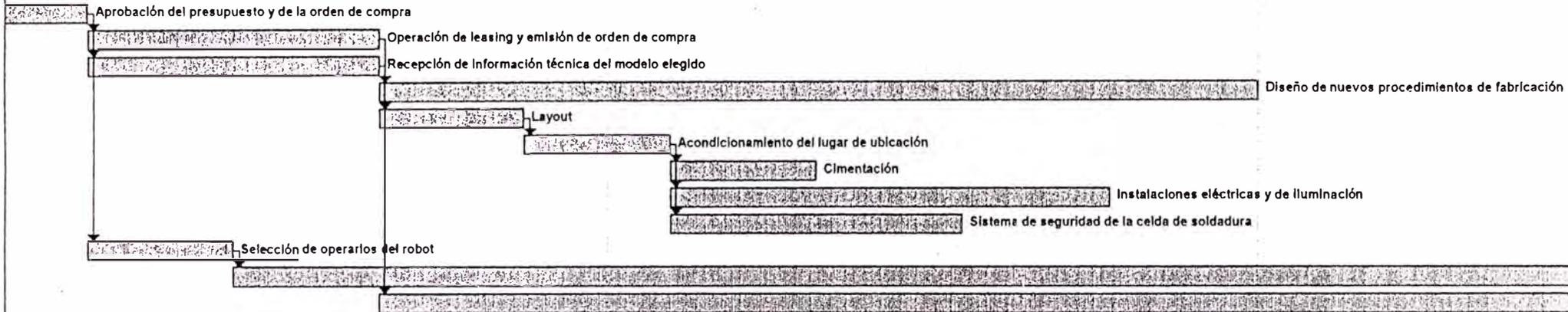


Proyecto: ProyectoRobot  
 Fecha: vie 24/11/08

Tarea		Progreso		Resumen		Tareas externas		Fecha límite	
División		Hito		Resumen del proyecto		Hito externo			

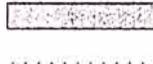
PROYECTO "INSTALACION DE ROBOT DE SOLDADURA" - CRONOGRAMA

febrero 01/02 08/02 15/02 22/02 29/02 marzo 07/03 14/03 21/03 28/03 04/04 11/04



Proyecto: ProyectoRobot  
Fecha: vie 24/11/06

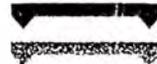
Tarea  
División



Progreso  
Hito



Resumen  
Resumen del proyecto



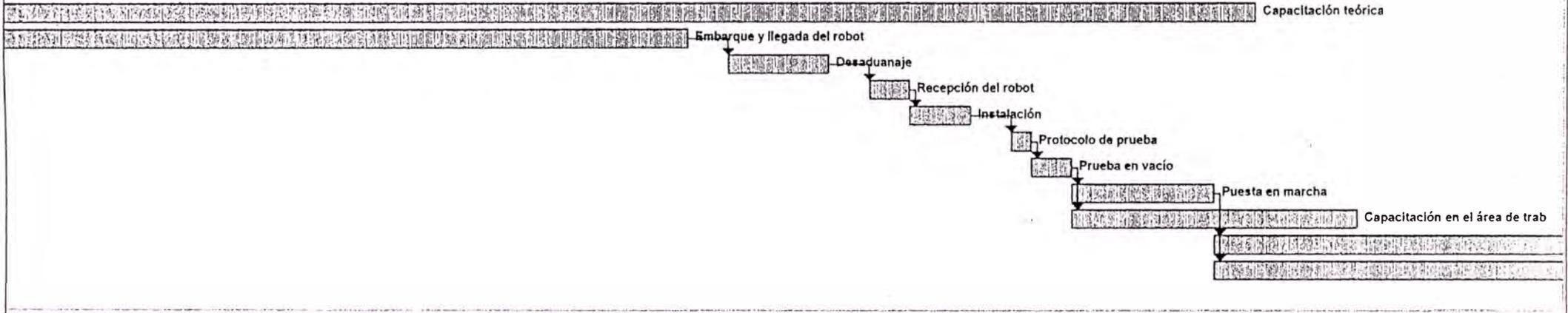
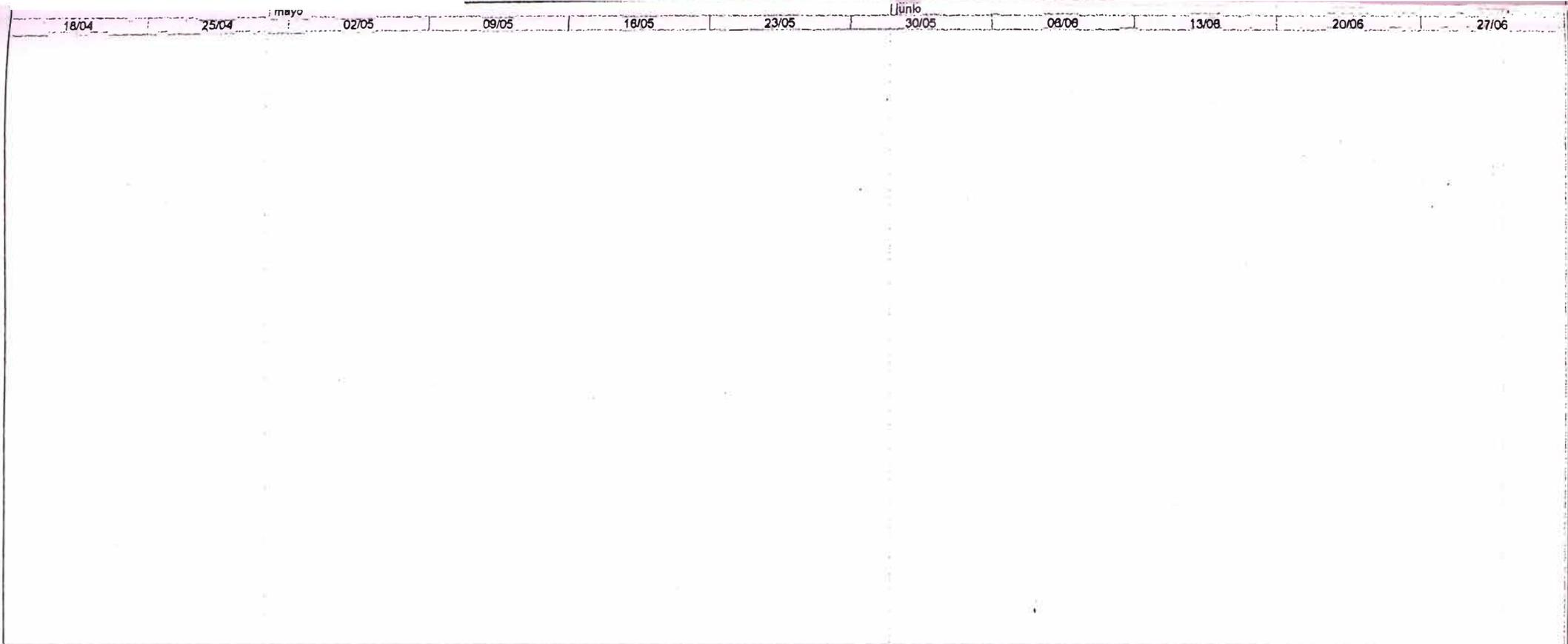
Tareas externas  
Hito externo



Fecha límite



UNIDAD "INSTALACION DE ROBOT DE SOLDADURA" - CRONOGRAMA

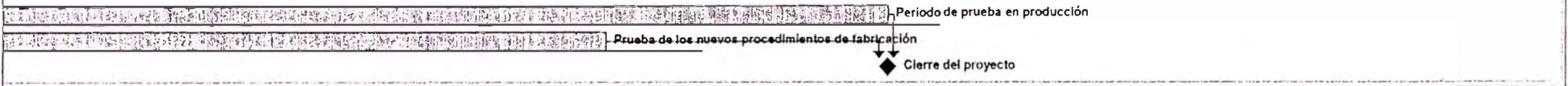


Proyecto: ProyectoRobot Fecha: Vie 24/11/06	Tarea	Progreso	Resumen	Tareas externas	Fecha límite
División	Hito	Resumen del proyecto	Hito externo		

PROYECTO "INSTALACION DE ROBOT DE SOLDADURA" - CRONOGRAMA

04/07    11/07    18/07    25/07    agosto    01/08    08/08    15/08    22/08    29/08    05/09    12/09

ajo



Proyecto: ProyectoRobot Fecha: vie 24/11/06	Tarea	Progreso	Resumen	Tareas externas	Fecha Ilmite
División	Hitos	Resumen del proyecto	Hitos externos		

## **CAPITULO VII**

### **EVALUACION DE COSTOS**

Se presenta una evaluación de costos de las diferentes actividades del proyecto, la evaluación implica una estimación de los costos a través de un cálculo de los mismos, asignación implica el monto asignado para las diferentes actividades y una forma de control de costos.

#### **7.1 Estimación de Costos**

La Estimación de Costos se ha realizado en base a cotizaciones y valores de mercado, se muestran en el cuadro de "Estimación de Costos", resultando un total de 141400 US\$ a incurrir.

<b>ESTIMACION DE COSTOS</b>
-----------------------------

<i>Actividad</i>	<i>Estimación</i>	<i>US\$</i>	<i>Total US\$</i>
<b>Equipo de Trabajo</b>			
Jefe de Proyecto	1200 US\$ /mes x 12 meses	14400	
Recursos para equipo	200 US\$/mes x12 meses	2400	
<b>Total</b>		<b>16800</b>	<b>16800</b>
<b>Solicitud de Cotización</b>			
Información, correos, etc	150 US\$/mes x 4 meses	600	<b>600</b>
<b>Operación de Leasing</b>			
Documentos y gastos Leas.	600 US\$	600	<b>600</b>
<b>Emisión de Orden de Comp.</b>			
Orden de Compra	62000 US\$	62000	<b>62000</b>
<b>Información Técnica</b>			
Correos, etc.	300 US\$	300	<b>300</b>
<b>Preparación</b>			
Cimentación	600 US\$	600	
Instalación Electrica	400 US\$	400	
Instalac. de aire comprim.	600 US\$	600	
Instalac. Iluminación	1000 US\$	1000	
Sistema de seguridad	1800 US\$	1800	
Utillaje	4500 US\$	24500	
Otros (trabaj. prel. Y finales)	600 US\$	1350	
<b>Total</b>		<b>30250</b>	<b>30250</b>
<b>Capacitación teorica</b>			
Curso para operarios SENATI	2750 US\$	2750	<b>2750</b>
<b>Embarque</b>			
Flete Maritimo + Seguro	1400 US\$	1400	<b>1400</b>
<b>Desaduanaje</b>			
Gastos de Desaduanaje	23950 US\$	23950	<b>23950</b>
<b>Recepción del Robot</b>			
Flete a FIMA	150 US\$	150	<b>150</b>
<b>Estadia de Técnico</b>			
Alojam. + viaticos x 3 Seman.	1500 US\$	1500	
Otros	500 US\$	500	
<b>Total</b>		<b>2000</b>	<b>2000</b>
<b>Prueba de nuevos proced.</b>			
Procedim. X 2 meses	300 US\$/mes x 2 meses	600	<b>600</b>

TOTAL

141400

**7.2 Asignación de Costos.-** Se ha efectuado para cada actividad del proyecto la cual implique gastos, se muestra en el cuadro sgte.

<b>ASIGNACION DE COSTOS</b>		
<i>Actividad</i>	<i>US\$</i>	<i>Total US\$</i>
<b>Equipo de Trabajo</b>		16800
Jefe de Proyecto	14400	
Recursos para equipo	2400	
<b>Total</b>	<b>16800</b>	<b>16800</b>
<b>Solicitud de Cotización</b>		
Información, correos, etc	600	<b>600</b>
<b>Operación de Leasing</b>		
Documentos y gastos Leas.	600	<b>600</b>
<b>Emisión de Orden de Comp.</b>		
Orden de Compra	62000	<b>62000</b>
<b>Información Técnica</b>		
Correos, etc.	300	<b>300</b>
<b>Preparación</b>		
Cimentación	600	
Instalación Electrica	400	
Instalac. de aire comprim.	600	
Instalac. Iluminación	1000	
Sistema de seguridad	1800	
Utillaje	24500	
Otros (trabaj. prel. Y finales)	1350	
<b>Total</b>	<b>30250</b>	<b>30250</b>
<b>Capacitación teorica</b>		
Curso para operarios SENATI	2750	<b>2750</b>
<b>Embarque</b>		
Flete Maritimo + Seguro	1400	<b>1400</b>
<b>Desaduanaje</b>		
Gastos de Desaduanaje	23950	<b>23950</b>
<b>Recepción del Robot</b>		
Flete a FIMA	150	<b>150</b>
<b>Estadia de Técnico</b>		
Alojam. + viaticos x 3 Seman.	1500	
Otros	500	
<b>Total</b>	<b>2000</b>	<b>2000</b>
<b>Prueba de nuevos proced.</b>		
Procedim. X 2 meses	600	<b>600</b>
<b>TOTAL</b>		<b>141400</b>



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- La incorporación de la tecnología de soldadura por Robot implica standarización de los procesos de soldadura y con ello el tipo de preparación, dimensiones, formas de procesar la información.
- La mano de obra se traslada a un nivel mayor de calificación
- No es un mito la operación de robots de soldadura
- La calidad de las costuras soldadas se homogeniza
- Las inspecciones en los sistemas de soldadura por Robot implica un cambio en la forma de enfocar el QC / QA
- Se incrementa la productividad del taller

- Se tiene que orientar parte de la Ingeniería de diseño a los requerimientos de los nuevos procesos de soldadura
- La Ingeniería de Manufactura tiene que orientarse hacia niveles de automatización flexible como necesidad para competir
- Los proveedores de insumos para el sistema de soldadura tienen que plantear estrategias para mantener la continuidad de los suministros
- La Industria Peruana se orienta hacia niveles de estandarización necesarios para mantener el nivel de competitividad
- Las entidades de educación y entrenamiento requieren desarrollar programas para atender el nuevo requerimiento de mano de obra calificada
- La seguridad en las operaciones exige responder a niveles internacionales de seguridad
- La metodología del PMBOK en el presente trabajo permite gerenciar todas las fases del proyecto.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda iniciar las acciones pertinentes para que las entidades relacionadas con las acciones de estandarización y normalización en el País presten atención al tema como una necesidad nacional en el camino de la competitividad
- Las Entidades educativas generadoras de profesionales en los campos de la producción metalmecánica incluyan en su curricula temáticas relacionadas a las aplicaciones de la Robótica Industrial
- Difundir la Tecnología Robótica en aplicaciones Industriales en la Industria y sectores académicos para facilitar su comprensión y accesos a la manufactura actual
- Recomendamos la utilización de la metodología del PMBOK en los proyectos que se lleven a cabo por nuestros profesionales.

## BIBLIOGRAFIA

PMI-UNI, *"PMBOK GUIDE – Una guía a los fundamentos de la Gerencia de Proyectos"*

Edición 2000 – UNI – Lima, Perú

MARKS, *"Manual del Ingeniero Mecánico"*, Octava Ed. 1995 – Mc Graw Hill – New York

D.R. SULE, *"Instalaciones de Manufactura"*, 2da. Ed. Thomson Learning – Edición 2001 – México.

EXSA, *"Manual de Soldadura Oerlikon"*, Lima – Perú.

DOMÍNGUEZ MACHUCA, *"Dirección de Operaciones"*, Ed. 1995 – McGraw Hill – Madrid España.

DEUTSCHE VERLAG FÜR SCHWEISSTECHNIK, *"Leistungskennwerte für Schweißen, Schneiden und Verwandte Verfahren"* – Dusseldorf, Deutschland.

JORGE TORRES, JORGE POMARES, PABLO GIL, “*Robots y Sistemas Sensoriales*”, Segunda Edición – 2002 – Prentice Hall, España

RAYMUNDO CARRANZA NORIEGA, “*Automatización Tópicos de Instrumentación y Control*”, PUCP – 2002, Lima – Perú.

ANIBAL OLLERO BATURONE, “*Robótica Manipuladores y Robots móviles*”, Primera Edición – Editorial Alfaomega marcombo – 2001, España.

JORGE MERTZHAL, “*Automatización y Robotización en Soldadura*” II Simposio Internacional de Mantenimiento, Lima – Perú.

JOHN HINRICHS, “*Robots Do not operate in a vacuum*” – Society of Manufacturing Engineers, April 1998, Detroit, Michigan USA.

CENTRO ESPAÑOL DE SOLDADURA Y TECNOLOGÍAS DE UNIÓN,  
“Procesos Totalmente Mecanizados y Robótica” – Curso Master en Soldadura – Welding Engineer, España.

GTZ – SENATI – STZ, “*Manual de Asesoría Competente en Tecnología de Soldadura – Experiencias en el Perú*”, 2003 – Lima – Perú.

ELIYAHU M. GOLDRATT, "*La Meta*", Segunda Edición, Editorial Castillo, 1998  
– México.

ELIYAHU M. GOLDRATT, "*La Carrera*", Segunda Edición, Editorial Castillo,  
2002 – México.

ARLETTE BELTRAN - HANNY CUEVA, "*Evaluación Privada de Proyectos*",  
Universidad del Pacífico Centro de Investigación, 2000 – Lima - Perú.

WALTER NICHOLSON, "*Teoría Microeconomica Principios Básicos y  
aplicaciones*", Sexta Edición – Mc. Graw Hill – 2003 – España.

DEPARTAMENTO INSPECCIÓN C. I. CARTAGENA, "Soldadura y Corte de  
Metales", Abril – 2000 – Colombia.

## **ANEXOS**

### **ANEXO**

Occupational Safety & Health Administration OSHA:

Section IV: Chapter IV

INDUSTRIAL ROBOTS AND ROBOT SAFETY

### **ANEXO II**

AWS D16.1M / D16.1:2004:

SPECIFICATION FOR ROBOTIC ARC WELDING SAFETY

### **ANEXO III**

ANSI/AWS D16.2-94, ANSI/NEMA EW 8:

STANDARD FOR COMPONENTS OF ROBOTIC AND AUTOMATIC WELDING  
INSTALLATIONS

**ANEXO IV**

JUSTIFYING THE COST OF A ROBOTIC WELDING SYSTEM

**ANEXO V**

AWSD16.4M/D16.4:2005:

SPECIFICATION FOR QUALIFICATION OF RBOTIC ARC WELDING  
PERSONNEL

**ANEXO VI**

PANORAMA MUNDIAL SOBRE ROBOTS Y OTROS



[www.osha.gov](http://www.osha.gov)

Search

[A-Z Index](#)

[Adva](#)

[Technical Links](#) > [Osha Technical Manual](#)

## OSHA Technical Manual

[TABLE OF CONTENTS](#) | [NEXT CHAPTER](#)

### SECTION IV: CHAPTER 4 INDUSTRIAL ROBOTS AND ROBOT SYSTEM SAFETY

#### Contents:

- I. Introduction**
- II. Types and Classification of Robots**
- III. Hazards**
- IV. Investigation Guidelines**
- V. Control and Safeguarding Personnel**
- VI. Bibliography**

**Appendix IV:4-1. Glossary for Robotics and Robotic Systems**

**Appendix IV:4-2. Other Robotic Systems Not Covered by this Chapter**

#### I. INTRODUCTION.

Industrial robots are programmable multifunctional mechanical devices designed to move material, parts, tools, or specialized devices through variable programmed motions to perform a variety of tasks. An industrial robot system includes not only industrial robots but also any devices and/or sensors required for the robot to perform its tasks as well as sequencing or monitoring communication interfaces.

Robots are generally used to perform unsafe, hazardous, highly repetitive, and unpleasant tasks. They have many different functions such as material handling, assembly, arc welding, resistance welding, machine tool load and unload functions, painting, spraying, etc. See [Appendix IV:4-1](#) for common definitions. Most robots are set up for an operation by the teach-and-repeat technique. In this mode, a trained operator (programmer) typically uses a portable control device (a teach pendant) to teach a robot its task manually. Robot speeds during these programming sessions are slow.

This instruction includes safety considerations necessary to operate the robot properly and use it automatically in conjunction with other peripheral equipment. This instruction applies to fixed industrial robots and robot systems only. See [Appendix IV:4-2](#) for the systems that are excluded

## A. ACCIDENTS: PAST STUDIES.

1. Studies in Sweden and Japan indicate that many robot accidents do not occur under normal operating conditions but, instead during programming, program touch-up or refinement, maintenance, repair, testing, setup, or adjustment. During many of these operations the operator, programmer, or corrective maintenance worker may temporarily be within the robot's working envelope where unintended operations could result in injuries.
2. Typical accidents have included the following:
  - A robot's arm functioned erratically during a programming sequence and struck the operator.
  - A materials handling robot operator entered a robot's work envelope during operations and was pinned between the back end of the robot and safety pole.
  - A fellow employee accidentally tripped the power switch while a maintenance worker was servicing an assembly robot. The robot's arm struck the maintenance worker's hand.

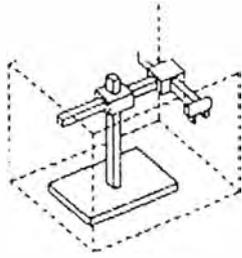
## B. ROBOT SAFEGUARDING.

1. The proper selection of an effective robotic safeguarding system should be based upon a hazard analysis of the robot system's use, programming, and maintenance operations. Among the factors to be considered are the tasks a robot will be programmed to perform, start-up and command or programming procedures, environmental conditions, location and installation requirements, possible human errors, scheduled and unscheduled maintenance, possible robot and system malfunctions, normal mode of operation, and all personnel functions and duties.
2. An effective safeguarding system protects not only operators but also engineers, programmers, maintenance personnel, and any others who work on or with robot systems and could be exposed to hazards associated with a robot's operation. A combination of safeguarding methods may be used. Redundancy and backup systems are especially recommended, particularly if a robot or robot system is operating in hazardous conditions or handling hazardous materials. The safeguarding devices employed should not themselves constitute or act as a hazard or curtail necessary vision or viewing by attending human operators.

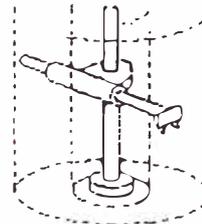
## II. TYPES AND CLASSIFICATION OF ROBOTS.

Industrial robots are available commercially in a wide range of sizes, shapes, and configurations. They are designed and fabricated with different design configurations and a different number of axes or degrees of freedom. These factors of a robot's design influence its working envelope (the volume of working or reaching space). Diagrams of the different robot design configurations are shown in Figure IV: 4-1.

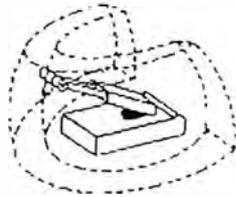
**FIGURE IV:4-1. ROBOT ARM DESIGN CONFIGURATIONS.**



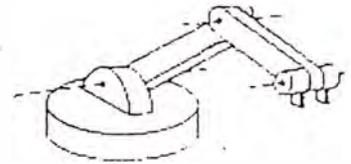
Rectangular Coordinate Robot



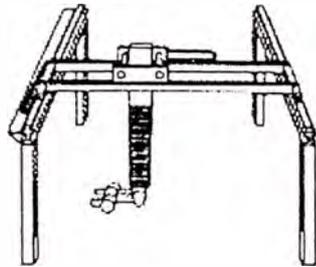
Cylindrical Coordinate Robot



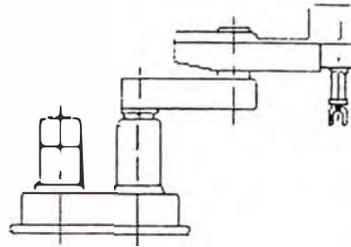
Spherical Coordinate Robot



Articulated Arm Robot



Gantry Robot



SCARA Robot

**A. SERVO AND NONSERVO.**

All industrial robots are either servo or nonservo controlled. Servo robots are controlled through the use of sensors that continually monitor the robot's axes and associated components for position and velocity. This feedback is compared to pretaught information which has been programmed and stored in the robot's memory. Nonservo robots do not have the feedback capability, and their axes are controlled through a system of mechanical stops and limit switches.

**B. TYPE OF PATH GENERATED.** Industrial robots can be programmed from a distance to perform their required and preprogrammed operations with different types of paths generated through different control techniques. The three different types of paths generated are Point-to-Point Path, Controlled Path, and Continuous Path.

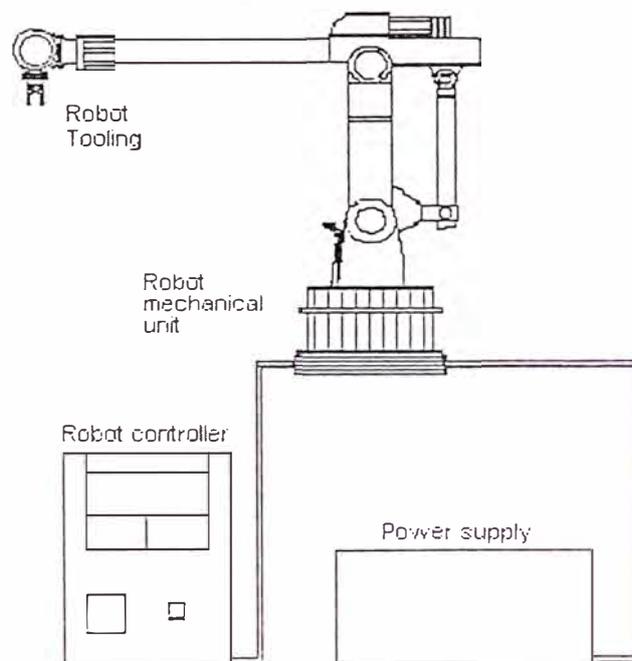
1. **Point-to-Point Path.** Robots programmed and controlled in this manner are programmed to move from one discrete point to another within the robot's working envelope. In the automatic mode of operation, the exact path taken by the robot will vary slightly due to variations in velocity, joint geometries, and point spatial locations. This difference in paths is difficult to predict and therefore can create a potential safety hazard to personnel and equipment.

2. **Controlled Path.** The path or mode of movement ensures that the end of the robot's arm will follow a predictable (controlled) path and orientation as the robot travels from point to point. The coordinate transformations required for this hardware management are calculated by the robot's control system computer. Observations that result from this type of programming are less likely to present hazard to personnel and equipment.
  
3. **Continuous Path.** A robot whose path is controlled by storing a large number or close succession of spatial points in memory during a teaching sequence is a continuous path controlled robot. During this time, and while the robot is being moved, the coordinate points in space of each axis are continually monitored on a fixed time base, e.g., 60 or more times per second, and placed into the control system's computer memory. When the robot is placed in the automatic mode of operation, the program is replayed from memory and a duplicate path is generated.

C. **ROBOT COMPONENTS.** Industrial robots have four major components: the mechanical unit, power source, control system, and tooling (Figure IV: 4-2).

1. **Mechanical Unit.** The robot's manipulative arm is the mechanical unit. This mechanical unit is also comprised of a fabricated structural frame with provisions for supporting mechanical linkage and joints, guides, actuators (linear or rotary), control valves, and sensors. The physical dimensions, design, and weight-carrying ability depend on application requirements.

**FIGURE IV:4-2. INDUSTRIAL ROBOTS:  
MAJOR COMPONENTS.**



## 2. **Power Sources.**

- a. Energy is provided to various robot actuators and their controllers as pneumatic, hydraulic, or electrical power. The robot's drives are usually mechanical combinations powered by these types of energy, and the selection is usually based upon application requirements. For example, pneumatic power (low pressure air) is used generally for low weight carrying robots.
- b. Hydraulic power transmission (high-pressure oil) is usually used for medium to high force or weight applications, or where smoother motion control can be achieved than with pneumatics. Consideration should be given to potential hazards of fires from leaks if petroleum-based oils are used.
- c. Electrically powered robots are the most prevalent in industry. Either AC or DC electrical power is used to supply energy to electromechanical motor-driven actuating mechanisms and their respective control systems. Motion control is much better, and in an emergency an electrically powered robot can be stopped or powered down more safely and faster than those with either pneumatic or hydraulic power.

## D. **CONTROL SYSTEMS.**

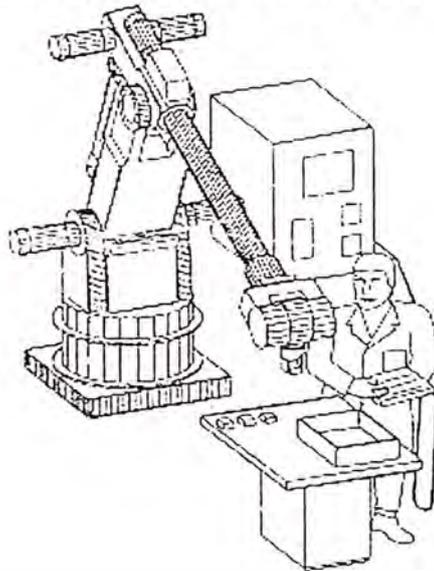
1. Either auxiliary computers or embedded microprocessors are used for practically all control of industrial robots today. These perform all of the required computational functions as well as interface with and control associated sensors, grippers, tooling, and other associated peripheral equipment. The control system performs the necessary sequencing and memory functions for on-line sensing, branching, and integration of other equipment. Programming of the controllers can be done on-line or at remote off-line control stations with electronic data transfer of programs by cassette, floppy disc, or telephone modem.
2. Self-diagnostic capability for troubleshooting and maintenance greatly reduces robot system downtime. Some robot controllers have sufficient capacity, in terms of computational ability, memory capacity, and input-output capability to serve also as system controllers and handle many other machines and processes. Programming of robot controllers and systems has not been standardized by the robotics industry; therefore, the manufacturers use their own proprietary programming languages which require special training of personnel.

- E. **ROBOT PROGRAMMING BY TEACHING METHODS.** A program consists of individual command steps which state either the position or function to be performed, along with other informational data such as speed, dwell or delay times, sample input device, activate output device, execute, etc.

When establishing a robot program, it is necessary to establish a physical or geometrical relationship between the robot and other equipment or work to be serviced by the robot. To establish these coordinate points precisely within the robot's working envelope, it is necessary to control the robot manually and physically teach the coordinate points. To do this as well as determine other functional programming information, three different teaching or programming techniques are used: lead-through, walk-through, and off-line.

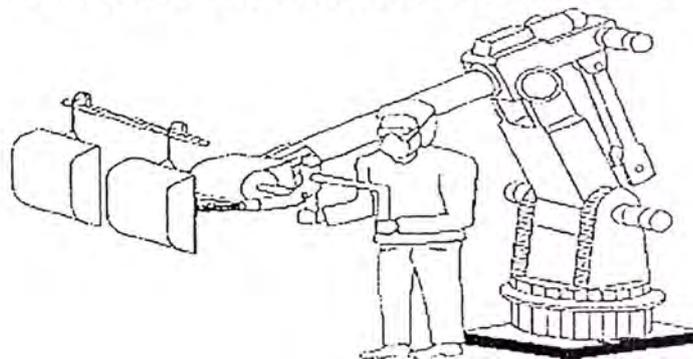
1. **Lead-Through Programming or Teaching.** This method of teaching uses a proprietary teach pendant (the robot's control is placed in a "teach" mode), which allows trained personnel physically to lead the robot through the desired sequence of events by activating the appropriate pendant button or switch. Position data and functional information are "taught" to the robot, and a new program is written (Figure IV:4-3). The teach pendant can be the sole source by which a program is established, or it may be used in conjunction with an additional programming console and/or the robot's controller. When using this technique of teaching or programming, the person performing the teach function can be within the robot's working envelope, with operational safeguarding devices deactivated or inoperative.

**FIGURE IV:4-3. ROBOT LEAD-THROUGH PROGRAMMING OR TEACHING.**



2. **Walk-Through Programming or Teaching.** A person doing the teaching has physical contact with the robot arm and actually gains control and walks the robot's arm through the desired positions within the working envelope (Figure IV:4-4).

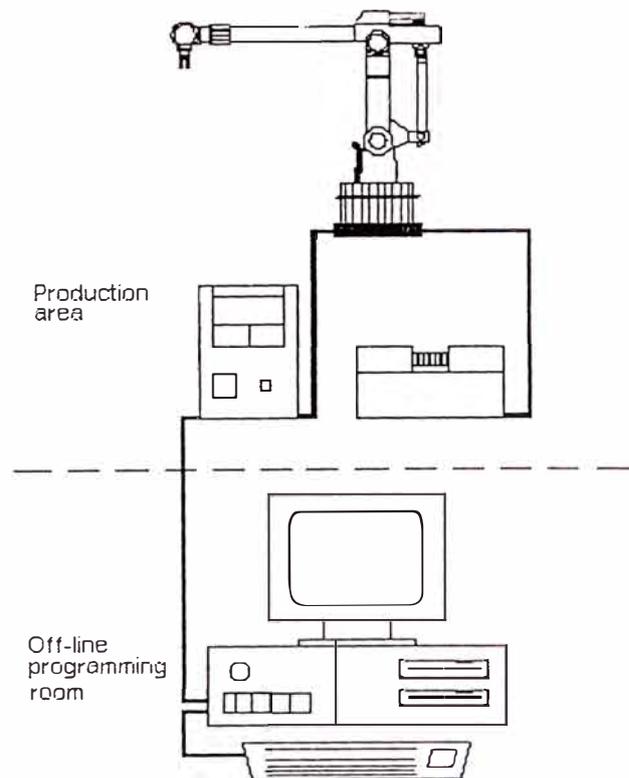
**FIGURE IV:4-4. WALK-THROUGH PROGRAMMING OR TEACHING.**



During this time, the robot's controller is scanning and storing coordinate values on a fixed time basis. When the robot is later placed in the automatic mode of operation, these values and other functional information are replayed and the program run as it was taught. With the walk-through method of programming, the person doing the teaching is in a potentially hazardous position because the operational safeguarding devices are deactivated or inoperative.

**Off-Line Programming.** The programming establishing the required sequence of functional and required positional steps is written on a remote computer console (Figure IV:4-5). Since the console is distant from the robot and its controller, the written program has to be transferred to the robot's controller and precise positional data established to achieve the actual coordinate information for the robot and other equipment. The program can be transferred directly or by cassette or floppy discs. After the program has been completely transferred to the robot's controller, either the lead-through or walk-through technique can be used for obtaining actual positional coordinate information for the robot's axes.

**FIGURE IV:4-5. OFF-LINE PROGRAMMING OR TEACHING.**

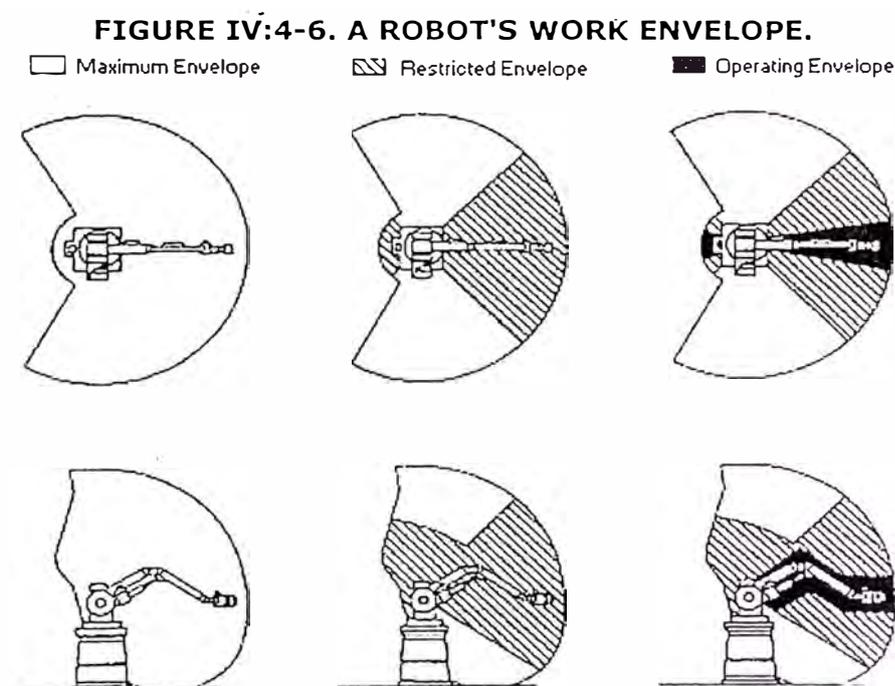


When programming robots with any of the three techniques discussed above, it is generally required that the program be verified and slight modifications in positional information made. This procedure is called program touch-up and is normally carried out in the teach mode of operation. The teacher manually leads or walks the robot through the programmed steps. Again, there are potential hazards if safeguarding devices are deactivated or inoperative.

3. **DEGREES OF FREEDOM.** Regardless of the configuration of a robot, movement along each axis will result in either a rotational or a translational movement. The number of axes of movement (degrees of freedom) and their arrangement, along with their sequence of operation and structure, will permit movement of the robot to any point within its envelope. Robots have three arm movements (up-down, in out, side-to-side). In addition, they can have as many as three additional wrist movements on the end of the robot's arm: yaw (side to side), pitch (up and down), and rotational (clockwise and counterclockwise).

### III. HAZARDS.

The operational characteristics of robots can be significantly different from other machines and equipment. Robots are capable of high-energy (fast or powerful) movements through a large volume of space even beyond the base dimensions of the robot (see Figure IV:4-6). The pattern and initiation of movement of the robot is predictable if the item being "worked" and the environment are held constant. Any change to the object being worked (i.e., a physical model change) or the environment can affect the programmed movements.



Some maintenance and programming personnel may be required to be within the restricted envelope while power is available to actuators. The restricted envelope of the robot can overlap a portion of the restricted envelope of other robots or work zones of other industrial machines and related equipment. Thus, a worker can be hit by one robot while working on another, trapped between them or peripheral equipment, or hit by flying objects released by the gripper.

A robot with two or more resident programs can find the current operating program erroneously calling another existing program with different operating parameters such as velocity, acceleration, or deceleration, or position within the robot's restricted envelope. The occurrence of this might not be predictable by maintenance or programming personnel working with the robot. A component malfunction could also cause an unpredictable movement and/or robot arm velocity.

Additional hazards can also result from the malfunction of, or errors in, interfacing or programming of other process or peripheral equipment. The operating changes with the process being performed or the breakdown of conveyors, clamping mechanisms, or process sensors could cause the robot to react in a different manner.

I. **TYPES OF ACCIDENTS.** Robotic incidents can be grouped into four categories: a robotic arm or controlled tool causes the accident, places an individual in a risk circumstance, an accessory of the robot's mechanical parts fails, or the power supplies to the robot are uncontrolled.

1. **Impact or Collision Accidents.** Unpredicted movements, component malfunctions, or unpredicted program changes related to the robot's arm or peripheral equipment can result in contact accidents.
2. **Crushing and Trapping Accidents.** A worker's limb or other body part can be trapped between a robot's arm and other peripheral equipment, or the individual may be physically driven into and crushed by other peripheral equipment.
3. **Mechanical Part Accidents.** The breakdown of the robot's drive components, tooling or end-effector, peripheral equipment, or its power source is a mechanical accident. The release of parts, failure of gripper mechanism, or the failure of end-effector power tools (e.g., grinding wheels, buffing wheels, deburring tools, power screwdrivers, and nut runners) are a few types of mechanical failures.
4. **Other Accidents.** Other accidents can result from working with robots. Equipment that supplies robot power and control represents potential electrical and pressurized fluid hazards. Ruptured hydraulic lines could create dangerous high-pressure cutting streams or whipping hose hazards. Environmental accidents from arc flash, metal spatter, dust, electromagnetic, or radio-frequency interference can also occur. In addition, equipment and power cables on the floor present tripping hazards.

II. **SOURCES OF HAZARDS.** The expected hazards of machine to humans can be expected with several additional variations, as follows.

1. **Human Errors.** Inherent prior programming, interfacing activated peripheral equipment, or connecting live input-output sensors to the microprocessor or a peripheral can cause dangerous, unpredicted movement or action by the robot from human error. The incorrect activation of the "teach pendant" or control panel is a frequent human error. *The greatest problem, however, is overfamiliarity with the robot's redundant motions* so that an individual places himself in a hazardous position while programming the robot or performing maintenance on it.
2. **Control Errors.** Intrinsic faults within the control system of the robot, errors in software, electromagnetic interference, and radio frequency interference are control errors. In addition, these errors can occur due to faults in the hydraulic, pneumatic, or electrical subcontrols associated with the robot or robot system.
3. **Unauthorized Access.** Entry into a robot's safeguarded area is hazardous because the person involved may not be familiar with the safeguards in place or

their activation status.

4. **Mechanical Failures.** Operating programs may not account for cumulative mechanical part failure, and faulty or unexpected operation may occur.
5. **Environmental Sources.** Electromagnetic or radio-frequency interference (transient signals) should be considered to exert an undesirable influence on robotic operation and increase the potential for injury to any person working in the area. Solutions to environmental hazards should be documented prior to equipment start-up.
6. **Power Systems.** Pneumatic, hydraulic, or electrical power sources that have malfunctioning control or transmission elements in the robot power system can disrupt electrical signals to the control and/or power-supply lines. Fire risks are increased by electrical overloads or by use of flammable hydraulic oil. Electrical shock and release of stored energy from accumulating devices also can be hazardous to personnel.
7. **Improper Installation.** The design, requirements, and layout of equipment, utilities, and facilities of a robot or robot system, if inadequately done, can lead to inherent hazards.

#### IV. INVESTIGATION GUIDELINES.

##### MANUFACTURED, REMANUFACTURED, AND REBUILT ROBOTS.

1. All robots should meet minimum design requirements to ensure safe operation by the user. Consideration needs to be given to a number of factors in designing and building the robots to industry standards. If older or obsolete robots are rebuilt or remanufactured, they should be upgraded to conform to current industry standards.
2. Every robot should be designed, manufactured, remanufactured, or rebuilt with safe design and manufacturing considerations. Improper design and manufacture can result in hazards to personnel if minimum industry standards are not conformed to on mechanical components, controls, methods of operation, and other required information necessary to insure safe and proper operating procedures. To ensure that robots are designed, manufactured, remanufactured, and rebuilt to ensure safe operation, it is recommended that they comply with Section 4 of the ANSI/RIA R15.06-1992 standard for *Manufacturing, Remanufacture, and Rebuild of Robots*.

##### I. INSTALLATION.

1. A robot or robot system should be installed by the users in accordance with the manufacturer's recommendations and in conformance to acceptable industry standards. Temporary safeguarding devices and practices should be used to minimize the hazards associated with the installation of new equipment. The facilities, peripheral equipment, and operating conditions which should be

considered are:

- Installation specifications;
  - Physical facilities;
  - Electrical facilities;
  - Action of peripheral equipment integrated with the robot;
  - Identification requirements;
  - Control and emergency stop requirements; and
  - Special robot operating procedures or conditions.
2. To ensure safe operating practices and safe installation of robots and robot systems, it is recommended that the minimum requirements of Section 5 of the ANSI/RIA R15.06-1992, *Installation of Robots and Robot Systems* be followed. In addition, OSHA's *Lockout/Tagout standards* (29 CFR 1910.147 and 1910.333) must be followed for servicing and maintenance.

## V. CONTROL AND SAFEGUARDING PERSONNEL.

For the planning stage, installation, and subsequent operation of a robot or robot system, one should consider the following.

0. **RISK ASSESSMENT.** At each stage of development of the robot and robot system a risk assessment should be performed. There are different system and personnel safeguarding requirements at each stage. The appropriate level of safeguarding determined by the risk assessment should be applied. In addition, the risk assessments for each stage of development should be documented for future reference.
1. **SAFEGUARDING DEVICES.** Personnel should be safeguarded from hazards associated with the restricted envelope (space) through the use of one or more safeguarding devices:
- Mechanical limiting devices;
  - Nonmechanical limiting devices;
  - Presence-sensing safeguarding devices;
  - Fixed barriers (which prevent contact with moving parts); and
  - Interlocked barrier guards.
2. **AWARENESS DEVICES.** Typical awareness devices include chain or rope barriers with supporting stanchions or flashing lights, signs, whistles, and horns. They are usually used in conjunction with other safeguarding devices.

3. **SAFEGUARDING THE TEACHER.** Special consideration must be given to the teacher or person who is programming the robot. During the teach mode of operation, the person performing the teaching has control of the robot and associated equipment and should be familiar with the operations to be programmed, system interfacing, and control functions of the robot and other equipment. When systems are large and complex, it can be easy to activate improper functions or sequence functions improperly. Since the person doing the training can be within the robot's restricted envelope, such mistakes can result in accidents. Mistakes in programming can result in unintended movement or actions with similar results. For this reason, a restricted speed of 250 mm/§ or 10 in/§ should be placed on any part of the robot during training to minimize potential injuries to teaching personnel.

Several other safeguards are suggested in the ANSI/RIA R15.06-1992 standard to reduce the hazards associated with teaching a robotic system.

4. **OPERATOR SAFEGUARDS.** The system operator should be protected from all hazards during operations performed by the robot. When the robot is operating automatically, all safeguarding devices should be activated, and at no time should any part of the operator's body be within the robot's safeguarded area.

For additional operator safeguarding suggestions, see the ANSI/RIA R15.06-1992 standard, Section 6.6.

5. **ATTENDED CONTINUOUS OPERATION.** When a person is permitted to be in or near the robots restricted envelope to evaluate or check the robots motion or other operations all continuous operation safeguards must be in force. During this operation, the robot should be at slow speed, and the operator would have the robot in the teach mode and be fully in control of all operations.

Other safeguarding requirements are suggested in the ANSI/RIA R15.06-1992 standard, Section 6.7.

6. **MAINTENANCE AND REPAIR PERSONNEL.** Safeguarding maintenance and repair personnel is very difficult because their job functions are so varied. Troubleshooting faults or problems with the robot, controller, tooling, or other associated equipment is just part of their job. Program touchup is another of their jobs as is scheduled maintenance, and adjustments of tooling, gages, recalibration, and many other types of functions.

While maintenance and repair is being performed, the robot should be placed in the manual or teach mode, and the maintenance personnel perform their work within the safeguarded area and within the robots restricted envelope. Additional hazards are present during this mode of operation because the robot system safeguards are not operative.

To protect maintenance and repair personnel, safeguarding techniques and procedures as stated in the ANSI/RIA R15.06-1992 standard, Section 6.8, are recommended.

7. **MAINTENANCE.** Maintenance should occur during the regular and periodic inspection program for a robot or robot system. An inspection program should include, but not be limited to, the recommendations of the robot manufacturer and manufacturer of other associated robot system equipment such as conveyor mechanisms, parts feeders, tooling, gages, sensors, and the like.

These recommended inspection and maintenance programs are essential for minimizing

the hazards from component malfunction, breakage, and unpredicted movements or actions by the robot or other system equipment. To ensure proper maintenance, it is recommended that periodic maintenance and inspections be documented along with the identity of personnel performing these tasks.

8. **SAFETY TRAINING.** Personnel who program, operate, maintain, or repair robots or robot systems should receive adequate safety training, and they should be able to demonstrate their competence to perform their jobs safely. Employers can refer to OSHA's publication 2254 (Revised), "Training Requirements in OSHA Standards and Training Guidelines."
9. **GENERAL REQUIREMENTS.** To ensure minimum safe operating practices and safeguards for robots and robot systems covered by this instruction, the following sections of the ANSI/RIA R15.06-1992 must also be considered:
  - Section 6 - Safeguarding Personnel;
  - Section 7 - Maintenance of Robots and Robot Systems;
  - Section 8 - Testing and Start-up of Robots and Robot Systems; and
  - Section 9 - Safety Training of Personnel.

Robots or robotic systems must comply with the following regulations: Occupational Safety and Health Administration, OSHA 29 CFR 1910.333, Selection and Use of Work Practices, and OSHA 29 CFR Part 1910.147, The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout).

VI.

## VII. **BIBLIOGRAPHY.**

American National Standards Institute (ANSI) American National Safety Standard ANSI/ RIA R15.06-1992. *Industrial Robots and Robot Systems - Safety Requirements*. American National Standards Institute, Inc., 1430 Broadway, New York, New York 10018

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Alert Publication No. 85103. *Request for Assistance in Preventing the Injury of Workers by Robots*. National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Safety Research, 944 Chestnut Ridge Road, Morgantown, West Virginia 26505

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Technical Report Publication No. 880108. *Safe Maintenance Guidelines for Robotic Workstations*. National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Safety Research, 944 Chestnut Ridge Road, Morgantown, West Virginia 26505

National Safety Council Data Sheet 1-717-85. *Robots*. National Safety Council, 444 N. Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611

Occupational Safety and Health Administration Publication No. 2254 (Revised). *Training Requirements in OSHA Standards and Training Guidelines*. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20210

Occupational Safety and Health Administration Publication No. 3067. *Concepts and Techniques of Machine Safeguarding*. U.S. Department of Labor, 1980 (reprinted 1983). Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20210

OSHA Instruction Publication No. 8-1.3. 1987. *Guideline for Robotics Safety*. Occupational Safety and Health Administration, Washington, D.C.

Robotic Industries Association, 900 Victors Way, P.O. Box 3724, Ann Arbor, Michigan 48106

Underwriters Laboratories, Inc. 1996. *Standard for Industrial Robots and Robotic Equipment*. ANSI/UL1740. Northbrook, Illinois

## **APPENDIX IV:4-1. GLOSSARY FOR ROBOTICS AND ROBOTIC SYSTEMS.**

**Actuator** A power mechanism used to effect motion of the robot; a device that converts electrical, hydraulic, or pneumatic energy into robot motion.

**Application Program** The set of instructions that defines the specific intended tasks of robots and robot systems. This program may be originated and modified by the robot user.

**Attended Continuous Operation** The time when robots are performing (production) tasks at a speed no greater than slow speed through attended program execution.

**Attended Program Verification** The time when a person within the restricted envelope (space) verifies the robot's programmed tasks at programmed speed.

**Automatic Mode** The robot state in which automatic operation can be initiated.

**Automatic Operation** The time during which robots are performing programmed tasks through unattended program execution.

**Awareness Barrier** Physical and/or visual means that warns a person of an approaching or present hazard.

**Awareness Signal** A device that warns a person of an approaching or present hazard by means of audible sound or visible light.

**Axis** The line about which a rotating body (such as a tool) turns.

**Barrier** A physical means of separating persons from the restricted envelope (space).

**Control Device** Any piece of control hardware providing a means for human intervention in the control of a robot or robot system, such as an emergency-stop button, a start button, or a selector switch.

**Control Program** The inherent set of control instructions that defines the capabilities, actions and responses of the robot system. This program is usually not intended to be modified by the user.

**Coordinated Straight Line Motion** Control wherein the axes of the robot arrive at their respective end points simultaneously, giving a smooth appearance to the motion. Control wherein the motions of the axes are such that the Tool Center Point (TCP) moves along a prespecified type of path (line, circle, etc.)

**Device** Any piece of control hardware such as an emergency-stop button, selector switch, control pendant, relay, solenoid valve, sensor, etc.

**Drive Power** The energy source or sources for the robot actuators.

**Emergency Stop** The operation of a circuit using hardware-based components that overrides all other

robot controls, removes drive power from the robot actuators, and causes all moving parts to stop.

**Enabling Device** A manually operated device that permits motion when continuously activated. Releasing the device stops robot motion and motion of associated equipment that may present a hazard.

**End-effector** An accessory device or tool specifically designed for attachment to the robot wrist or tool mounting plate to enable the robot to perform its intended task. (Examples may include gripper, spot-weld gun, arc-weld gun, spray-paint gun, or any other application tools.)

**Energy Source** Any electrical, mechanical, hydraulic, pneumatic, chemical, thermal, or other source.

**Envelope (Space), Maximum** The volume of space encompassing the maximum designed movements of all robot parts including the end-effector, workpiece, and attachments.

**Restricted Envelope (Space)** That portion of the maximum envelope to which a robot is restricted by limiting devices. The maximum distance that the robot can travel after the limiting device is actuated defines the boundaries of the restricted envelope (space) of the robot.

**NOTE:** The safeguarding interlocking logic and robot program may redefine the restricted envelope (space) as the robot performs its application program. (See Appendix D of the ANSI/RIA R15.06-1992 Specification).

**Operating Envelope (Space)** That portion of the restricted envelope (space) that is actually used by the robot while performing its programmed motions.

**Hazard** A situation that is likely to cause physical harm.

**Hazardous Motion** Any motion that is likely to cause personal physical harm.

**Industrial Equipment** Physical apparatus used to perform industrial tasks, such as welders, conveyors, machine tools, fork trucks, turn tables, positioning tables, or robots.

**Industrial Robot** A reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks.

**Industrial Robot System** A system that includes industrial robots, the end-effectors, and the devices and sensors required for the robots to be taught or programmed, or for the robots to perform the intended automatic operations, as well as the communication interfaces required for interlocking, sequencing, or monitoring the robots.

**Interlock** An arrangement whereby the operation of one control or mechanism brings about or prevents the operation of another.

**Joint Motion** A method for coordinating the movement of the joints such that all joints arrive at the desired location simultaneously.

**Limiting Device** A device that restricts the maximum envelope (space) by stopping or causing to stop all robot motion and is independent of the control program and the application programs.

**Maintenance** The act of keeping the robots and robot systems in their proper operating condition.

**Mobile Robot** A self-propelled and self-contained robot that is capable of moving over a mechanically unconstrained course.

**Muting** The deactivation of a presence-sensing safeguarding device during a portion of the robot cycle.

**Operator** The person designated to start, monitor, and stop the intended productive operation of a robot or robot system. An operator may also interface with a robot for productive purposes.

**Pendant** Any portable control device, including teach pendants, that permits an operator to control the robot from within the restricted envelope (space) of the robot.

**Presence-Sensing Safeguarding Device** A device designed, constructed, and installed to create a sensing field or area to detect an intrusion into the field or area by personnel, robots, or other objects.

### **Program**

1. (noun) A sequence of instructions to be executed by the computer or robot controller to control a robot or robot system.
2. (verb) to furnish (a computer) with a code of instruction.
3. (verb) to teach a robot system a specific set of movements and instructions to accomplish a task.

**Rebuild** To restore the robot to the original specifications of the manufacturer, to the extent possible.

**Remanufacture** To upgrade or modify robots to the revised specifications of the manufacturer and applicable industry standards.

**Repair** To restore robots and robot systems to operating condition after damage, malfunction, or wear.

**Robot Manufacturer** A company or business involved in either the design, fabrication, or sale of robots, robot tooling, robotic peripheral equipment or controls, and associated process ancillary equipment.

**Robot System Integrator** A company or business who either directly or through a subcontractor will assume responsibility for the design, fabrication, and integration of the required robot, robotic peripheral equipment, and other required ancillary equipment for a particular robotic application.

**Safeguard** A barrier guard, device, or safety procedure designed for the protection of personnel.

**Safety Procedure** An instruction designed for the protection of personnel.

**Sensor** A device that responds to physical stimuli (such as heat, light, sound, pressure, magnetism, motion, etc.) and transmits the resulting signal or data for providing a measurement, operating a control, or both.

**Service** To adjust, repair, maintain, and make fit for use.

**Single Point of Control** The ability to operate the robot such that initiation or robot motion from one source of control is possible only from that source and cannot be overridden from another source.

**Slow Speed Control** A mode of robot motion control where the velocity of the robot is limited to allow persons sufficient time either to withdraw from the hazardous motion or stop the robot.

**Start-up** Routine application of drive power to the robot or robot system.

**Start-up, Initial** Initial drive power application to the robot or robot system after one of the following events:

- Manufacture or modification;
- Installation or reinstallation;
- Programming or program editing; and
- Maintenance or repair.

**Teach** The generation and storage of a series of positional data points effected by moving the robot arm through a path of intended motions.

**Teach Mode** The control state that allows the generation and storage of positional data points effected by moving the robot arm through a path of intended motions.

**Teacher** A person who provides the robot with a specific set of instructions to perform a task.

**Tool Center Point (TCP)** The origin of the tool coordinate system.

**User** A company, business, or person who uses robots and who contracts, hires, or is responsible for the personnel associated with robot operation.

#### **APPENDIX IV: 4-2. OTHER ROBOTIC SYSTEMS NOT COVERED BY THIS CHAPTER.**

**Service robots** are machines that extend human capabilities.

**Automatic guided-vehicle systems** are advanced material-handling or conveying systems that involve a driverless vehicle which follows a guide-path.

**Undersea and space robots** include in addition to the manipulator or tool that actually accomplishes a task, the vehicles or platforms that transport the tools to the site. These vehicles are called remotely operated vehicles (ROV's) or autonomous undersea vehicles (AUV's); the feature that distinguishes them is, respectively, the presence or absence of an electronics tether that connects the vehicle and surface control station.

**Automatic storage and retrieval systems** are storage racks linked through automatically controlled conveyors and an automatic storage and retrieval machine or machines that ride on floor-mounted guide rails and power-driven wheels.

**Automatic conveyor and shuttle systems** are comprised of various types of conveying systems linked together with various shuttle mechanisms for the prime purpose of conveying materials or parts to repositioned and predetermined locations automatically.

**Teleoperators** are robotic devices comprised of sensors and actuators for mobility and/or manipulation and are controlled remotely by a human operator.

**Mobile robots** are freely moving automatic programmable industrial robots.

**Prosthetic robots** are programmable manipulators or devices for missing human limbs.

**Numerically controlled machine tools** are operated by a series of coded instructions comprised of numbers, letters of the alphabet, and other symbols. These are translated into pulses of electrical current or other output signals that activate motors and other devices to run the machine.

**Key Words**—Robot, robotic arc welding, robot welding systems, robotic welding operator, qualified robot technician, safety, risk assessment

**AWS D16.1M/D16.1:2004**  
**An American National Standard**

**Approved by**  
**American National Standards Institute**  
**February 3, 2004**

# **Specification for**

# **Robotic Arc Welding Safety**

Prepared by  
AWS D16 Committee on Robotic and Automatic Welding

Under the Direction of  
AWS Technical Activities Committee

Approved by  
AWS Board of Directors

## **Abstract**

This standard establishes safety requirements with respect to the design, manufacture, maintenance, and operation of arc welding robot systems and ancillary equipment. It also helps to identify and minimize hazards involved in maintaining, operating, integrating, and setting up of arc welding robot systems.



Reproduced By GLOBAL  
ENGINEERING DOCUMENTS  
With The Permission OF AWS  
Under Royalty Agreement



**American Welding Society**

550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126

# Table of Contents

	Page No.
<i>Personnel</i> .....	iii
<i>Foreword</i> .....	v
<i>List of Figures</i> .....	ix
1. Scope.....	1
1.1 Scope and Objectives.....	1
1.2 Applications.....	1
1.3 Exclusions.....	1
1.4 Responsibilities.....	1
2. Normative References.....	2
3. Definitions.....	3
4. Arc Welding Robot System Manufacturing Requirements.....	5
4.1 Hazards to Personnel.....	5
4.2 Actuating Controls.....	6
4.3 Pendant and Other Teaching Controls.....	6
4.4 Attended Weld Program Verification.....	6
4.5 Slow Speed Control.....	6
4.6 Singularity Protection.....	6
4.7 Axis Limiting Devices.....	7
4.8 Provisions for Lifting.....	7
4.9 Electrical Connectors.....	7
4.10 Pinch Points.....	7
4.11 Electrical Controls.....	7
4.12 Hydraulic Fluids and Compressed Gases.....	8
4.13 Manual Mode.....	8
4.14 Safety Signs.....	8
5. Weld Fixture Requirements.....	8
5.1 Design, Construction and Use.....	8
5.2 Fixture Setting.....	8
5.3 Fixture Changing System.....	8
6. System Requirements.....	9
6.1 Ancillary Equipment.....	9
6.2 Emergency Stop Circuitry.....	10
6.3 Control Interlocks.....	10
7. User Requirements.....	10
7.1 Training.....	10
7.2 Lockout/Tagout.....	10
7.3 Risk Assessment.....	10
7.4 Work Area.....	10
7.5 Personal Protective Equipment.....	10
7.6 Ventilation.....	10

	Page No.
8. Maintenance Requirements .....	10
8.1 Training.....	10
8.2 Lockout/Tagout.....	10
8.3 Risk Assessment .....	10
8.4 Maintenance Operations While Under Power .....	10
9. General Information .....	10
9.1 Equipment Identification .....	10
9.2 Machine Manual .....	11
<i>Nonmandatory Annex</i> .....	13
<i>Annex A—Guidelines for Preparation of Technical Inquiries for AWS Technical Committees</i> .....	13
<i>List of AWS Documents on Robotic and Automatic Welding</i> .....	15

# Specification for Robotic Arc Welding Safety

## 1. Scope

**1.1 Scope and Objectives.** The requirements of this standard apply to industrial robots that are used to perform the gas metal arc welding (GMAW) and flux cored arc welding (FCAW) processes. The purpose of this standard is to establish minimum safety requirements with respect to the design, manufacture, maintenance, and operation of arc welding robot systems and ancillary equipment. It is also designed to help identify and minimize hazards involved in maintaining, operating, and setting up of arc welding robot systems.

A robotic arc welding system consists of a manipulator, power source, arc welding torch and accessories; electrode feed system, dereeling system, welding circuit, shielding and communication control, and grounding system. There may be other accessories that are outside the scope of this document. A typical system is illustrated in Figure 1.

This specification makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). These measurements may not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other without combining in any way. The specification D16.1M uses SI units. The specification with the designation D16.1 uses U.S. Customary Units. The latter are shown in appropriate columns in tables or within parentheses ( ) when used in the text.

### 1.2 Applications

**1.2.1 New or Remanufactured Installations.** The requirements of this standard pertaining to design and manufacture shall apply to all new or remanufactured arc welding robot systems, fixtures, and ancillary equipment manufactured for installation or installed after the compliance date subsequent to the ANSI approval date of this standard. Compliance to the standard shall be 12 months after the ANSI approval date.

**1.2.2 Existing or Rebuilt Installations.** Existing installations or the repair or rebuilding thereof shall be compliant with the standards in effect at the time of their original installation. Modifications to fixtures, end-of-

arm devices, or ancillary equipment shall be reviewed for the creation of new hazards. Such new hazards shall be safeguarded in accordance with the applicable sections of this standard.

**1.2.3 All Installations.** The requirements of Sections 7 and 8 of this standard pertaining to the use and maintenance of arc welding robot systems shall apply to all users subsequent to the approval of this standard.

**1.3 Exclusions.** This standard applies to arc welding robot systems and is not intended to apply to the following machines:

- (1) Robots with a payload capacity greater than 20 kg (45 lbs)
- (2) Automated guided vehicle systems
- (3) Undersea and space robotics
- (4) Automatic conveyor and shuttle systems
- (5) Teleoperators
- (6) Mobile robots
- (7) Resistance welding robots

This list is not intended to be all-inclusive.

**1.4 Responsibilities.** The responsibility for the application of this standard is defined by this standard.

**1.4.1 Manufacturer or Remanufacturer.** It shall be the responsibility of the arc welding robot machine manufacturer or remanufacturer to design and construct the arc welding robot system in accordance with Section 4 of this standard.

**1.4.2 Rebuilder or Modifier.** It shall be the responsibility of any person rebuilding or modifying arc welding robot systems to do so in accordance with portions of Section 4 of this standard applicable to components being rebuilt or modified.

**1.4.3 System Integrator.** The system integrator shall ensure that the system complies with Section 6 of this standard. The System Integrator has the responsibility to ensure that any modifications made to the arc welding robot systems shall conform to Section 4. The employer shall be the system integrator unless another party contractually accepts responsibility as the system integrator.

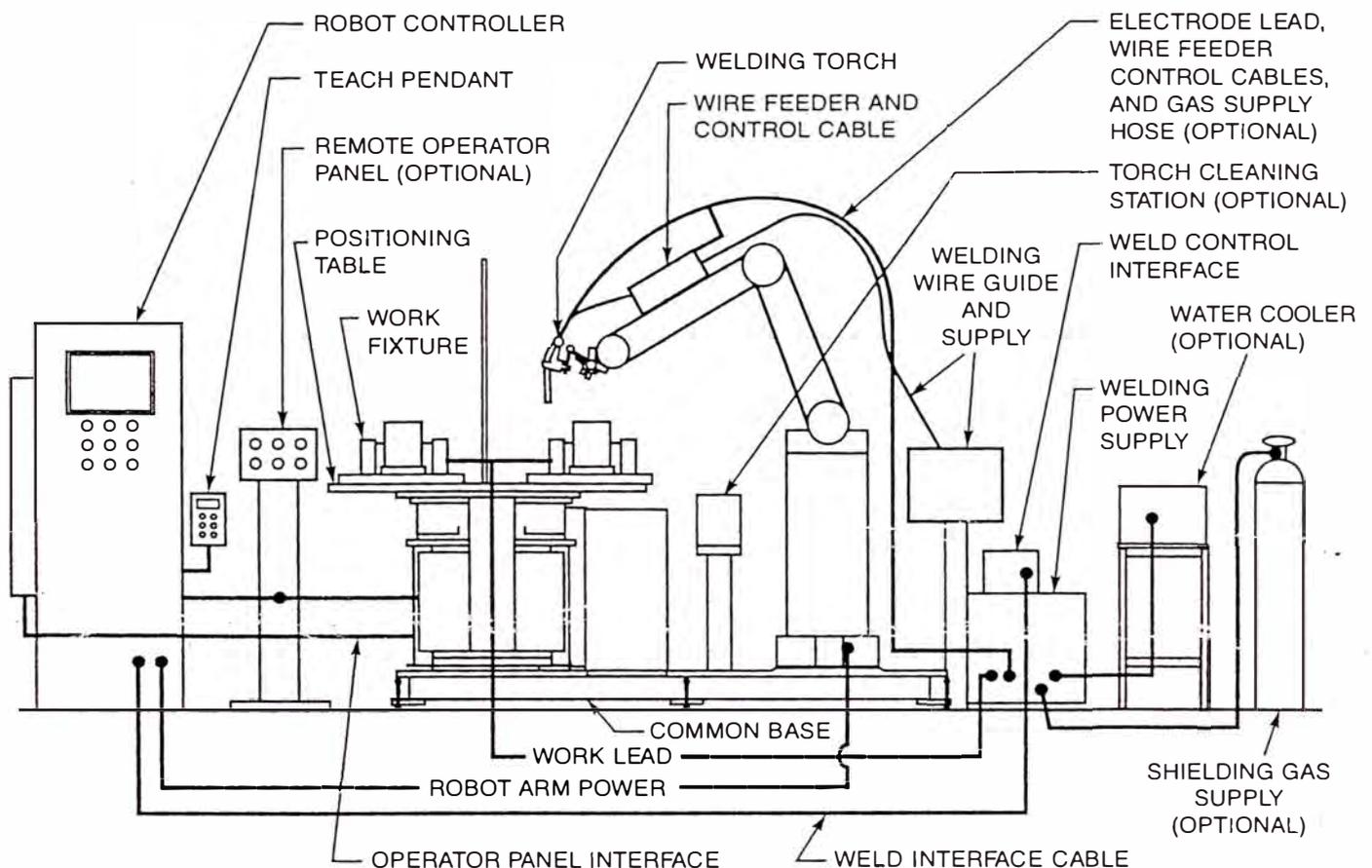


Figure 1—Example of a Typical Robotic Arc Welding Cell

**1.4.4 Employers.** Employers should make training available for operators, programmers, and maintenance technicians to help them attain and maintain certifications, such as the Certified Robotic Arc Welding Technician/Operator Program.

## 2. Normative References<sup>1</sup>

The following standards contain provisions, which, through reference in this text, constitute provisions of this American National Standard. All standards are subject to revision, and parties are encouraged to use the most recent editions of the standards indicated below.

(1) ANSI/NFPA<sup>2</sup> 79, *Electrical Standard for Industrial Machinery*

(2) ANSI/NFPA 70, *National Electrical Code*

(3) ANSI/NFPA 51B, *Standard for Fire Prevention during Welding, Cutting, and Other Hot Work*

(4) ANSI/NFPA<sup>3</sup> T2.13.8, *Hydraulic Fluid Power—Fire Resistant Fluids—Definitions, Classifications, and Testing*

(5) ANSI/RIA<sup>4</sup> R15.06, *Industrial Robots & Robot Systems—Safety Requirements*

(6) ANSI<sup>5</sup> Z535.1, *Safety Color Code*

(7) ANSI Z535.2, *Environmental and Facility Safety Signs*

(8) ANSI Z535.3, *Criteria for Safety Symbols*

(9) ANSI Z535.4, *Product Safety Signs and Labels*

(10) ANSI Z535.5, *Accident Prevention Tags*

(11) ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*

1. All standards referenced may be obtained through Global Engineering Documents at 1-800-854-7179 or at [www.global.ih.com](http://www.global.ih.com).

2. National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02269-9101.

3. National Fluid Power Association, 3333 N. Mayfair Road, Milwaukee, WI 53222-3219.

4. Robotic Industries Association, 900 Victors Way, P.O. Box 3724, Ann Arbor, MI 48106.

5. American National Standards Institute, 1819 L Street, NW, 6th floor, Washington, DC 20036.

(12) AWS<sup>6</sup> A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*

(13) AWS D16.3, *Risk assessment Guide for Robotic Arc Welding*

(14) AWS D16.4, *Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel*

(15) AWS AWR, *Arc Welding with Robots: Do's and Don'ts*

(16) AWS. *AWS Safety and Health Fact Sheets*

(17) UL<sup>7</sup> 1740, *Safety Standard for Industrial Robots and Robotic Equipment*

(18) UL 551, *Transformer-Type Arc-Welding Machines*

(19) NEMA<sup>8</sup> EW-1, *Electric Arc Welding Power Sources*

(20) NEMA EW-3, *Semiautomatic Wire Feed Systems for Arc Welding*

(21) IEC<sup>9</sup> 60974-1, *Arc Welding Equipment—Part 1: Welding Power Sources*

(22) IEC 60974-7, *Arc Welding Equipment—Part 7: Torches*

(23) ISO 8373:1994, *Manipulating Industrial Robots—Vocabulary*

(24) OSHA<sup>10</sup> 3120, *Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)*

(25) OSHA 3075, *Controlling Electrical Hazards.*

### 3. Definitions

Terms used in this document should be interpreted in accordance with AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*, and definitions used in the normative references cited in Section 2 of this standard except for the following terms:

**alarm.** An indication (visual or auditory) that a failure or misadjustment of a device has occurred.

**anti-repeat.** The part of the machine control system designed to limit the arc welding robot system to a single cycle if the cycle actuating means are held or tied down. Anti-repeat requires release of all cycle

actuating mechanisms before another cycle can be initiated.

*Note: There shall be no inference that the purpose of anti-repeat is to prevent an inadvertent cycle initiation of the robot system. An inadvertent cycle start is the result of a malfunction.*

**anti-tie down.** A circuit designed to prevent machine operation in case a control is continuously actuated.

**attended program verification.** The act when a person within the safeguarded space verifies the robot's programmed tasks at programmed speed not to exceed a TCP speed of 250 mm/sec (10 in./sec).

**automatic mode.** Operating mode in which the control system operates in accordance with the task program.

**awareness barrier.** Physical and visual means that warn a person of an approaching or present hazard.

**barrier.** A physical means of separating persons from a hazard.

**concurrent.** Acting in conjunction, and is used to describe a situation, wherein two or more controls exist in an operated condition at the same time.

**dereeler.** A system for conveying welding wire from the wire package (i.e., spools, payoff packs) of any size to the entrance of the wire feeder mechanism.

**door.** A movable barrier that when closed prevents the entry of any portion of a person's body into the robot's or other moving equipment's operating space.

**emergency stop.** An operation of a circuit that overrides all machine control, removes drive power, and causes all moving machinery to stop.

**employer.** Any person who contracts, hires, or is responsible for the personnel associated with the operation, maintenance, and setup of arc welding robot systems.

**enabling device.** A manually operated device which when continuously activated permits motion.

**end-effector.** An accessory device or tool specifically designed for attachment to the wrist or tool mounting plate to enable the robot to perform the arc welding process.

**energy source.** Any electrical, mechanical, hydraulic, pneumatic, laser, chemical, thermal, potential, kinetic, or other sources of power/movement that can be a hazard.

**fixed guard.** A protective barrier that cannot be moved except with the use of tools.

6. American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

7. Underwriters Laboratory, 333 Pfingsten Road, Northbrook, IL 60062.

8. National Electrical Manufacturers Association, 1300 N. 17th Street, Suite 1847, Rosslyn, VA, 22209.

9. International Electrotechnical Commission, IEC Regional Centre for North America (IEC-ReCNA), 1740 Massachusetts Avenue, Suite D, Boxborough, MA 01719.

10. Occupational Safety & Health Administration, Department of Labor, Washington DC; On-line ordering of publications: <http://www.osha.gov/pls/publications/pubindex.list>.

**former installation.** A currently existing arc welding robot system installed prior to the compliance date of this standard.

**gate.** A movable barrier that when closed prevents the exposure of any portion of a person's body to a hazard.

**guard.** A physical barrier which protects personnel from exposure to a hazardous area.

**hardwired.** The components of an electrical circuit that are permanently, electrically wired together, resulting in an electrical circuit that is independent of electronic logic (hardware or software).

**hazard.** A potential source of harm.

**industrial robot (robot).** An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator that is programmable in three or more axes.

**industrial arc welding robot system (robot system).**

- (1) An industrial robot combined with ancillary and peripheral equipment necessary to perform a production arc welding process. Typically, the robot is electrically interfaced to the ancillary and peripheral equipment.
- (2) Any equipment, devices, or sensors required for the robot to perform its task.
- (3) Any communication interface that is operating and monitoring the robot, equipment, or sensors, as far as these peripheral devices are supervised by the robot control system.

**interlock.** An arrangement whereby the status of one control or mechanism allows or prevents the operation of another.

**interlock control.** An electrical or mechanical means by which activation will cause all hazardous motion to cease and all stored energy devices to return to a zero energy state.

**joint.** An axis of motion. For a six (6) axis, articulated servo controlled welding robot, the joints are typically defined as follows:

Joint 1	Rotary or waist rotation
Joint 2	Shoulder rotation
Joint 3	Elbow rotation
Joint 4	Outer link or upper arm rotation
Joint 5	Wrist bend or yaw
Joint 6	Wrist roll or swivel

**maintenance personnel.** Person employed to inspect, repair, and maintain arc welding robot systems.

**manual.** A text document for use as a guide or reference.

**manual mode.** A machine-operational control method that requires a deliberate and continuous act to initiate and sustain movement of any portion of the arc welding robot system.

**manufacturer.** Any person or organization who manufactures robotic arc welding systems and ancillary equipment or both. A manufacturer may also be a modifier or rebuilder.

**modifier.** Any person or organization who converts, changes or otherwise alters arc welding robot systems.

**monitoring device.** A device, which may be used to verify the function of another device.

**movable guard.** A protective device which may be relocated or moved without the use of tools.

**new installation.** A new, rebuilt, or remanufactured arc welding robot that is installed in a production environment for the first time.

**operator.** An individual who has been trained and authorized by the employer to perform production work with the arc welding robot system.

**operator control.** Point of operation performed solely by a single individual who is responsible for the safe use of the robot.

**pendant.** A hand held device linked to the control system of the robot which allows the robot to be programmed or moved. Also called a teach pendant.

**perimeter guarding.** Protective barrier or guarding placed around an arc welding robot system or machine cell.

**physical barrier.** A rigid boundary to safeguard personnel access. Cages, gates, walls, shields, and fences are all examples of physical barriers.

**pinch point.** Any location where it is possible to be caught between moving parts or between a moving and stationary part.

**point of operation.** The area within the arc welding robot system where the welding process is performed.

**presence sensing device.** A device capable of detecting an intrusion into a specified area.

**program.**

- (1) The instruction set of commands and locations within the robot control that determines robot arm path, trajectory, speed and interface.
- (2) The act of teaching the robot commands and path information.

**rebuilder.** Any person or organization who rebuilds all or a portion of an arc welding robot system for installation in the United States. The rebuilding may consist of any restoration of the machine to its original specification and capability.

**remanufacturer.** Any person or organization who remanufactures an arc welding robot system for installation in the United States. The remanufacturer is not limited to the original equipment specification or capability.

**restraint.** A mechanism, which prevents the arc welding robot from inadvertent movement.

**risk assessment.** A comprehensive evaluation of the possible injury or damage to health in a hazardous situation in order to select appropriate safeguards.

**safeguarding.** A device or procedure used to protect personnel from hazard(s).

**safety stop.** A type of interruption of operation that allows an orderly cessation of motion for safeguarding purposes.

**shall.** A term used to designate a mandatory requirement.

**shield.** A barrier that protects against the hazards of weld spatter and flying sparks. The barrier may move with the fixture, positioner, or other safety barrier.

**should.** A term used to designate recommended (non-mandatory) safe practices.

**signage.** Graphic communication whose functions include direction, identification, information, regulation, warning, or restriction.

**single point of control.** The ability to operate the robot such that the initiation of robot motion from one source of control is only possible from that source and cannot be overridden from another source.

**singularity.** A condition caused by the collinear alignment of two or more robot axes resulting in unpredictable robot motion and velocities.

**slow speed control.** A mode of robot motion control where the speed is limited to 250 mm/sec (10 in./sec) to allow a person sufficient time to either withdraw from the hazardous motion or stop the robot.

**space.** The three dimensional volume encompassing the movements of all robot parts through their axes.

(1) **maximum space.** The volume of space encompassing the maximum designed movements of all robot parts including the end-effector, workpiece and attachments.

(2) **restricted space.** That portion of the maximum space to which the robot movement is restricted by limiting devices.

(3) **operating space.** That portion of the restricted space that is actually used by the robot while performing its task program.

(4) **safeguarded space.** The hazardous space defined by the perimeter safeguarding devices.

**suspended state.** An operation that is stopped.

**system integrator.** The party that is responsible for assuring the system design and control interlocking of the arc welding robot system and other ancillary equipment into a system that conforms to the requirements of this standard.

**teach.** Programming the robot through the use of a hand held pendant specifically designed for the task.

**tool center point (TCP).** The point defined for a given end effector with regard to the mechanical interface coordinate system. The TCP is typically the location of the end of the filler metal or tungsten electrode at its stick-out distance.

**two-hand control.** A two-hand actuator that requires simultaneous or concurrent pressure from both hands of the operator to sustain or initiate the motion.

The initiation of motion by a two-hand control may be permissible when additional safety devices are in place such as guards, electronic light curtains, or other devices which would stop the motion of the machine when the safety guarding and operation has been compromised.

**user.** The owner or operator of a facility that utilizes arc welding robots for welding applications.

**work level.** The surface where the point of operation is located.

## 4. Arc Welding Robot System Manufacturing Requirements

**4.1 Hazards to Personnel.** Potential hazards to personnel shall be eliminated by design, or otherwise protection shall be provided against the hazards. If a hazard cannot be eliminated by either design or protection, a warning against the specific hazard shall be provided (see Section 5 for alternate methods of safeguarding fixtures, and see Section 6 for additional safeguards for burn hazards). The employer shall perform a risk assessment on the arc welding robot system and ancillary equipment to determine and select the safeguarding necessary to achieve

and maintain a safe work environment. The risk assessment shall comply with the requirements of AWS D16.3.

**4.1.1 Power Transmission Components.** Robots shall be designed and constructed to prevent exposure by personnel to components, gears, drive belts, or linkages.

**4.1.2 Failure to Reach Intended Location.** If failure of the robot to reach an intended location presents a hazard, a stop shall be initiated and an awareness signal generated.

**4.1.3 Power Loss or Change.** Robots shall be designed and constructed so that loss of electrical power, voltage surges, or changes in oil or air pressure do not impair the safe operation of the system.

**4.1.4 Component Malfunction.** Robot components shall be designed, constructed, secured or contained so that hazards caused by breaking, loosening, or releasing stored energy are minimized.

**4.1.5 Sources of Energy.** A means of isolating any hazardous energy source to the robot shall be provided. This means shall have the capability to be locked out and tagged out in accordance with federal OSHA regulations such as OSHA 3120, *Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)*, and OSHA 3075, *Controlling Electrical Hazards*.

**4.1.6 Stored Energy.** Means shall be provided for the controlled release of stored energy. Labels shall be affixed to the stored energy source to identify the source.

**4.1.7 Electromagnetic Interference.** The design and construction of the robot shall incorporate proven engineering practices of shielding (where appropriate), filtering, suppression, and grounding to prevent hazardous motion from occurring.

## 4.2 Actuating Controls

**4.2.1 Protection from Unintended Operation.** Actuating controls that initiate power or motion shall be constructed or located so as to prevent inadvertent operation.

**4.2.2 Status Indication.** Actuating controls shall be equipped with control features that indicate the status of the actuating control.

**4.3 Pendant and Other Teaching Controls.** Where a pendant control or other control device is provided to control the robot from within the safeguarded space, the requirements in 4.3.1 through 4.3.5 shall apply.

**4.3.1 Automatic.** It shall not be possible to place the robot into automatic mode using the pendant or teaching device exclusively.

**4.3.2 Motion Control.** Motion of the robot initiated from the pendant shall be at slow speed.

**4.3.3 Enabling Device.** The pendant shall have an enabling device that uses a three position switch for control. Only the mid position of the switch will allow for robot arm movement and program advance. Release of or full compression of the enabling device shall cause the robot to immediately cease motion.

**4.3.4 Pendant Emergency Stop.** The pendant shall be equipped with an emergency stop push button that will immediately cause all hazardous operations to cease. The emergency stop control shall use a hardwired connection to the motor start controls of the robot.

When activated, the emergency stop control shall produce a category 0 or category 1 stop as defined in NFPA 79.

The emergency stop pushbutton shall be the red mushroom type with a safety alert yellow background. The emergency stop control shall require a manual resetting after activation.

A deliberate act shall be required to resume the robot automatic cycle after the activation of an emergency stop.

**4.3.5 Single Point of Control.** When local pendant control is selected, the initiation of motion shall be prevented from any source except that source selected.

**4.4 Attended Weld Program Verification.** Robot welding programs can be verified visually by trained operators and technicians. The procedures for verifying the robot welding shall include the following requirements:

(1) Personnel shall be trained on the safe use of the robot, the welding process, and the system requirements prior to performing program verification.

(2) The program shall be executed without the welding arc being on to verify the actual weld path and control function of the robot.

(3) One trained individual shall observe the actual welding process in the restricted space. The individual shall be equipped with an enabling device and the overall speed of the robot shall be restricted to a maximum TCP speed of 250 mm/sec (10 in./sec).

(4) Active safeguards shall be in place prior to the initiation of automatic cycle start to prevent any personnel, other than the individual programming the robot, from occupying the restricted space of the robot during verification.

**4.5 Slow Speed Control.** Slow speed control shall limit the maximum velocity of the robot measured at the tool center point of the robot to 250 mm/sec (10 in./sec).

**4.6 Singularity Protection.** The robot control shall have the ability to stop robot motion and alert the teacher prior to the robot passing through or correcting for singularity during interpolated motion initiated from the teach pendant.

**4.7 Axis Limiting Devices.** The robot shall be equipped with mechanical axis limiting device(s) that restrict the primary motion, Joint 1, of the robot. The robot shall be designed to allow for the addition of mechanical axis limiting devices that restrict the motion of Joints 2 and 3.

**4.8 Provisions for Lifting.** Provisions for the safe lifting of the robot by mechanical means shall be provided.

**4.9 Electrical Connectors.** Electrical connectors shall be designed to avoid unintended separation that could cause a shock hazard. Electrical connectors shall be keyed to prevent the inadvertent application of incorrect motor or signal power to the robot.

**4.10 Pinch Points.** Hazards associated with pinch point locations that are not otherwise identified shall be safeguarded. If a movable guard is used, it shall be interlocked. When a guard is removed or modified to accommodate manual material handling, alternate interlocked perimeter guarding shall be incorporated.

#### **4.11 Electrical Controls**

**4.11.1 Two-Hand Control Device.** A two-hand control device shall be utilized to initiate a manually controlled cycle of the arc welding robot system.

**4.11.1.1 Unintentional Operation.** Each hand control shall be protected against unintentional operation.

**4.11.1.2 Concurrent Control.** Each hand control shall be arranged by design, construction, and/or separation to require the use of both hands to actuate the controls concurrently.

**4.11.1.3 Control Location.** The hand controls shall be located to prevent exposure to the hazard.

**4.11.1.4 Concurrent Pressure.** Each hand control shall require continuous and concurrent pressure while the hazard exists.

**4.11.1.5 Control Release.** The hazardous machine motion shall stop or reverse, if reverse motion does not create a hazard, when either control is released.

**4.11.1.6 Next Cycle Initiation.** The control system shall require an anti-repeat/anti-tie down feature so that each button must be released and reactivated to initiate the next cycle.

#### **4.11.2 Control Interlock Circuit**

**4.11.2.1 Fail-Safe Control.** Control interlock circuits shall be designed to operate in a fail-safe manner.

**4.11.2.2 Operator Intervention.** Control interlock circuits shall inhibit automatic or operator-initiated actions when all safe conditions are not met.

**4.11.2.3 Machine Suspension.** When safe conditions are not met, control interlock circuits shall suspend further or additional actions and shall notify the operator of the suspended state of the machine.

**4.11.2.4 Additional Actions.** Control interlock circuits shall require the operator to acknowledge the suspended state of the machine before additional actions can take place.

**4.11.3 Emergency Stops.** Every arc welding robot system shall have an emergency stop circuit using hardware-based components. The emergency stop circuit, when activated, shall override all other controls and cause all motion and other hazardous operations to stop. The stop action shall produce a Category 0 or Category 1 condition as defined in NFPA 79.

**4.11.3.1 Unobstructed Emergency Stop Device.** Each arc welding robot system operator control station shall be provided with a readily accessible; unobstructed emergency stop device.

**4.11.3.2 Emergency Stop Button Design.** Pushbuttons that activate an emergency stop circuit shall be red and unguarded, and shall have a yellow background. Emergency stop pushbuttons shall be palm or mushroom head type. All emergency stop pushbuttons shall be of the type requiring manual resetting.

**4.11.3.3 Emergency Stop Button Restrictions.** Red palm type or red mushroom head type pushbuttons shall not be used for any function except emergency stop.

**4.11.3.4 Start-Up Procedure.** Following an emergency stop, restarting operation shall require a deliberate action to follow a prescribed start-up procedure outside the safeguarded space.

**4.11.4 Power Source.** The power source of the arc welding robot system shall be clearly identified and shall be provided with electrical disconnect and lockout for the purpose of maintenance or repair of the arc welding robot system or its ancillary equipment.

**4.11.5 Power Loss.** Safeguards shall be implemented to ensure that a loss of power shall not result in an operator hazard. Safeguards shall be designed to ensure that a loss of power shall produce an emergency stop condition that shall immediately de-energize all equipment that is potentially hazardous in the robot operating area.

**4.11.6 Electrical Requirements.** New and remanufactured arc welding robot systems shall be built in accordance with NFPA 79.

## 4.12 Hydraulic Fluids and Compressed Gases

**4.12.1 Nitrogen.** Machines and systems that require compressed nitrogen shall be designed in accordance with applicable industry standards.

**4.12.2 Air.** Machines and systems that require compressed air shall be designed in accordance with applicable industry standards.

**4.12.3 Hose and Tubing.** All hoses and tubing that transport gases and fluids that can produce potential hazards shall be restrained in accordance with applicable industry standards. An example of a restraint for a hose is a mechanical clamp located to prevent “whipping” of a loose hose.

**4.12.4 Accumulators.** Hydraulic accumulators shall be properly restrained and charged in accordance with manufacturer specifications. Charged accumulators shall be identified with appropriate signage for high pressure potential hazard.

Barrier type piston accumulator systems shall have a device that automatically removes all stored hydraulic energy in a controlled manner when electrical or control power is removed.

All other accumulator systems shall have a lockable manual energy isolating device that blocks all stored hydraulic energy.

**4.12.5 Hydraulic Fluids.** All hydraulic fluids used by the arc welding robot system, fixturing, and its ancillary equipment shall comply with NFPA T2.13.8 requirements for Group I or Group II.

Flame retarding hydraulic fluids should conform to local, state, federal and industry requirements, such as, but not limited to, OSHA, ANSI standard (National Fluid Power Association) and Factory Mutual Research Corporation (FMRC).

**4.12.6 Loss of Pressure.** Safeguards shall be implemented to ensure that a loss of pressure shall not result in an operator hazard. Safeguards shall be designed to hold parts in fixtures when there is a loss of hydraulic, air, or gas pressure.

**4.13 Manual Mode.** All motions in manual mode shall be limited to a maximum speed that is less than full machine speed. Any motion that creates a hazard within the operator’s reach in manual mode shall be controlled with a two-hand control device.

Maximum speed is to be based on application; recommended maximum safe speed for manual mode is 250 mm/sec (10 in./sec).

**4.14 Safety Signs.** All new signs shall conform to the color, format, size, and content requirements of the ANSI Z535 series, where feasible.

## 5. Weld Fixture Requirements

**5.1 Design, Construction, and Use.** Weld fixtures shall be designed to avoid the following hazards:

(1) Burn hazards associated with weld spatter and hot surfaces

(2) Impact and pinch points associated with fixture motion, clamp actuator motion, and broken parts.

(3) Flying projectiles, such as unrestrained parts that can come out of their fixtures during system or part loading operations.

**5.1.1 Size.** Fixtures shall fit within the guarding provided on the weld table, positioner or within the safeguarded space.

**5.1.2 Broken Parts.** Fixtures shall be guarded to prevent injury from broken parts and/or springs. Fixtures equipped with springs containing potential energy shall be equipped with signs indicating their presence. To protect against spring failure, resulting in part of the mechanism becoming a flying projectile, guards should be provided over all such mechanisms.

**5.1.3 Weight.** Fixture weight shall be permanently indicated on the fixture to safeguard against overloading fixture handling equipment.

**5.1.4 Mounting.** Fixture fastening provisions shall be made to securely mount the fixtures to the weld table or positioner.

**5.1.5 Handling.** Fixtures and accessories shall have provisions to facilitate handling. For heavy fixtures, lifting eyes, straps and other assist devices should be added to the fixture to facilitate safe fixture handling.

**5.1.6 Part Restraints.** Based on the risk assessment, the end user shall determine if fixtures and accessories require safety interlocks to prevent system operation if clamping devices fail to properly secure the part or parts to be loaded and welded.

**5.2 Fixture Setting.** Impact and pinch point hazards associated with fixture setting and handling shall be safeguarded. The employer shall establish procedures for the installation and removal of fixtures from the welding system. The safeguarding procedure shall include a lock-out/tagout program, selection and use of fixture handling equipment, and selection and use of personal safety equipment.

**5.3 Fixture Changing System.** A fixture changing system can be used in conjunction with an arc welding robot system. It shall be permissible for motion to occur in the operating area with the machine doors and/or guards open or removed only if and when the following conditions are met:

(1) A key-operated selector switch is provided to enable the fixture changing process.

(2) If the fixture changer is mobile, it shall act as a barrier to the restricted area, replacing the opened or removed gate and/or guard when in position. The mobile unit shall include an electrical interlock plugged into the machine when the unit is in position.

(3) If the fixture changer is fixed, it shall act as a barrier to the restricted area, essentially replacing the opened or removed gate and/or guard.

(4) If the fixture changer, mobile or fixed, does not act as a barrier to the restricted area, then interlocked perimeter guarding shall be used to guard the restricted and operating area of the robot system.

## 6. System Requirements

### 6.1 Ancillary Equipment

**6.1.1 General Requirements.** The installation and use of any ancillary equipment shall not reduce the level of safety embodied in this standard.

This standard describes the use of ancillary equipment in conjunction with an arc welding robot. It is not intended to define the design and construction of ancillary equipment.

All ancillary equipment shall be interlocked to achieve safe, controlled operation and to prevent hazardous motion when the arc welding robot system is not in a predetermined ready state. Electrically powered ancillary equipment shall be installed in accordance with NFPA 70, *National Electrical Code*, and all local codes.

Any arc welding robot system safety device that is removed or altered for the use of ancillary equipment shall be replaced by one or more of the following: modified guarding, additional guarding, presence sensing devices, or perimeter guarding. These additional safety devices shall comply with the safeguard requirements described in Section 4.

**6.1.2 Arc Welding Power Sources.** Arc welding power sources used for robotic and automatic welding installations shall be constructed and tested in accordance with NEMA EW-1, *Electric Arc Welding Power Sources*, UL 551, *Transformer-Type Arc-Welding Machines*, and International Electrotechnical Commission IEC 60974-1, Part 1: *Arc Welding Equipment* and Part 7: *Torches*. Additional power source safety information is provided in ANSI Z49.1 *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, and the AWS publication *Safety and Health Fact Sheets*, all of which are made part of the requirements of this standard.

**6.1.3 Arc Welding Torches.** Arc welding torches shall be specifically designed and appropriately rated for

robotic welding applications. Torch and torch mounting equipment weight shall not exceed the rated load capacity recommended by the robot manufacturer. The torch insulation shall be sufficient to prevent exposure to hazardous voltage levels and to prevent leakage of hazardous current from the welding circuit. Torch utility cables shall be designed with appropriate strain relief to prevent hazards that may arise due to a cable or hose failure.

The rating of the torch shall be continuous duty in accordance with NEMA EW-3, *Semiautomatic Wire Feed Systems for Arc Welding*. The torch may be used with different gas mixtures and modes of metal transfer in accordance with the torch manufacturers specifications. The torch shall meet the requirements of IEC 60974-7, *Arc Welding Equipment—Part 7: Torches*.

**6.1.4 Torch Holder.** The torch mounting equipment shall provide electrical isolation between the torch and the manipulator tool mounting plate. The torch holder shall be mechanically rigid to withstand collision. This feature does not preclude the use of interlocks.

#### 6.1.5 Torch Accessories

**6.1.5.1** An arc welding robot system can be equipped with different accessories that can enhance the performance of the system. These accessories include, but are not limited to, the following devices:

- (1) Torch Cleaning Station
- (2) Water Cooler
- (3) Alignment Tool (Station)
- (4) Welding Wire Cutters

**6.1.5.2** All accessories shall be equipped with the following safeguards and operating features:

- (1) The devices shall be electrically grounded and isolated in accordance with NEMA EW-1 and NEMA EW-3.
- (2) The devices shall not create any unguarded pinch or collision point hazards.
- (3) The devices shall be electrically integrated to allow for single point of control during robot teaching, maintenance, and program verification.

**6.1.6 Dereeling System.** The dereeler system shall be designed and installed to provide for safe loading of the wire package.

(1) A failure of the dereeler to properly deliver welding wire to the welding torch shall not create an electrical shock or pinch point hazard.

(2) All dereeler components in direct contact with the welding wire shall be isolated from the welding work lead and earth ground with a minimum resistance of one megaohm at 500 Vdc.

**6.1.7 Welding Positioner.** All welding positioners, regardless of the type of drive or stopping mechanism

employed, shall exhibit the following safeguards and operating features:

(1) The devices shall be electrically grounded and isolated in accordance with NEMA EW-1 and NEMA EW-3.

(2) The devices shall not have or create any unguarded pinch or collision point hazards.

(3) The devices shall be integrated to allow for single point of control during robot teaching, maintenance, and program verification.

(4) The operation of the positioner shall not create any unguarded pinch points.

**6.2 Emergency Stop Circuitry.** The emergency stop circuitry shall be hardwired and act independently from the electronic control systems. All ancillary equipment shall have a hardwired emergency stop circuit connected in series with the robot emergency stop circuit.

### 6.3 Control Interlocks

**6.3.1 Timers.** Timers shall not be used in conjunction with interlocks to control the arc welding robot or ancillary equipment during automatic or semi-automatic operation. Timers should not be used to delay or initiate motion of an interlocked guard.

**6.3.2 Interlock Resets.** Resetting the arc welding robot system shall not automatically reset ancillary equipment.

## 7. User Requirements

**7.1 Training.** The employer shall train and instruct personnel in the safe operation and maintenance of the arc welding robot system and ancillary equipment. The employer shall document training and assessment of personnel.

**7.2 Lockout/Tagout.** The employer shall establish a program and procedure for affixing lockout or tagout devices. The isolating devices shall disable machines components and other equipment to prevent unexpected start-up or release of stored energy.

**7.3 Risk Assessment.** The employer shall perform a risk assessment on arc welding robot system and ancillary equipment to determine and select the safeguarding necessary to achieve and maintain a safe work environment. The risk assessment shall comply with the requirements of AWS D16.3.

**7.4 Work Area.** The employer shall provide adequate work areas for safe operation of machines, maintenance, and material handling. All walkways and working surfaces shall be kept in good condition and free from debris and fluids.

**7.5 Personal Protective Equipment.** The employer shall establish a personal protective equipment program for personal safety. Safety equipment selected as a result of risk assessment shall be appropriate for the task to be performed and in compliance with applicable state, federal, and ANSI standards.

The Personal Protective Equipment program should include, but not be limited to, these types of equipment:

- (1) Eye protection.
- (2) Hand protection
- (3) Body protection
- (4) Foot protection
- (5) Hearing protection

**7.6 Ventilation.** A means of ventilation shall be provided to vent hazardous vapors and fumes away from personnel work areas.

## 8. Maintenance Requirements

**8.1 Training.** The employer shall train and instruct personnel in the safe operation and maintenance of the arc welding robot system and its ancillary equipment.

Maintenance personnel shall be trained on the electrical, hydraulic, and pneumatic systems. Training shall include mechanical operation of the arc welding robot system and ancillary equipment through on-the-job training or specialized training.

**8.2 Lockout/Tagout.** The employer shall establish a program and procedure for affixing lockout/tagout devices (see 7.2).

**8.3 Risk Assessment.** The employer shall perform a risk assessment on all arc welding robot systems and ancillary equipment under their control to determine the safeguarding necessary to achieve and maintain a safe work environment for maintenance personnel. The risk assessment shall comply with the requirements of AWS D16.3.

**8.4 Maintenance Operations While Under Power.** When motion of the arc welding robot system is required for maintenance, it shall occur in manual mode at a speed that is less than full machine speed. Any motion that creates a hazard within the operator's reach in manual mode shall be controlled with a two-hand control device.

Maximum speed is to be based on application; maximum safe recommended speed for Manual Mode is 250 mm/sec (10 in./sec).

## 9. General Information

**9.1 Equipment Identification.** The following indications shall be clearly and durably attached to the arc welding robot system:

- (1) Name and address of the manufacturer.
- (2) Type of machine.
- (3) Serial number/machine number.
- (4) Year of manufacture.
- (5) Electrical characteristics.
- (6) Weight.
- (7) Safety Signage.

**9.2 Machine Manual.** The manufacturer or remanufacturer shall supply a machine manual. The machine manual shall include the following information:

- (1) Equipment identification.
- (2) Type of machine.
- (3) Installation and transport weight.

- (4) Intended use of the machine.
- (5) Machine hazard identification.
- (6) Safety instructions.
- (7) Machine operating specifications.
- (8) Operating procedures.
- (9) The prohibition of unauthorized reconstruction and modification of the machine.
- (10) Instruction by the manufacturer that only personnel properly trained in the operation, setup, maintenance, should be authorized to operate the machine.
- (11) Alarm descriptions.
- (12) Troubleshooting information.
- (13) Recommended lockout procedures.

## Nonmandatory Annex

### Annex A

# Guidelines for Preparation of Technical Inquiries for AWS Technical Committees

(This Annex is not a part of AWS D16.1M/D16.1:2004, *Specification for Robotic Arc Welding Safety*, but is included for informational purposes only.)

## A1. Introduction

The AWS Board of Directors has adopted a policy whereby all official interpretations of AWS standards will be handled in a formal manner. Under that policy, all interpretations are made by the committee that is responsible for the standard. Official communication concerning an interpretation is through the AWS staff member who works with that committee. The policy requires that all requests for an interpretation be submitted in writing. Such requests will be handled as expeditiously as possible but due to the complexity of the work and the procedures that must be followed, some interpretations may require considerable time.

## A2. Procedure

All inquiries must be directed to:

Managing Director, Technical Services  
American Welding Society  
550 N.W. LeJeune Road  
Miami, FL 33126

All inquiries must contain the name, address, and affiliation of the inquirer, and they must provide enough information for the committee to fully understand the point of concern in the inquiry. Where that point is not clearly defined, the inquiry will be returned for clarification. For efficient handling, all inquiries should be type-written and should also be in the format used here.

**A2.1 Scope.** Each inquiry must address one single provision of the standard, unless the point of the inquiry involves two or more interrelated provisions. That provision must be identified in the scope of the inquiry,

along with the edition of the standard that contains the provisions or that the Inquirer is addressing.

**A2.2 Purpose of the Inquiry.** The purpose of the inquiry must be stated in this portion of the inquiry. The purpose can be either to obtain an interpretation of a standard requirement, or to request the revision of a particular provision in the standard.

**A2.3 Content of the Inquiry.** The inquiry should be concise, yet complete, to enable the committee to quickly and fully understand the point of the inquiry. Sketches should be used when appropriate and all paragraphs, figures, and tables (or the Annex), which bear on the inquiry must be cited. If the point of the inquiry is to obtain a revision of the standard, the inquiry must provide technical justification for that revision.

**A2.4 Proposed Reply.** The inquirer should, as a proposed reply, state an interpretation of the provision that is the point of the inquiry, or the wording for a proposed revision, if that is what inquirer seeks.

## A3. Interpretation of Provisions of the Standard

Interpretations of provisions of the standard are made by the relevant AWS Technical Committee. The secretary of the committee refers all inquiries to the chairman of the particular subcommittee that has jurisdiction over the portion of the standard addressed by the inquiry. The subcommittee reviews the inquiry and the proposed reply to determine what the response to the inquiry should be. Following the subcommittee's development of the response, the inquiry and the response are presented to the entire committee for review and approval. Upon

approval by the committee, the interpretation will be an official interpretation of the Society, and the secretary will transmit the response to the inquirer and to the *Welding Journal* for publication.

#### **A4. Publication of Interpretations**

All official interpretations will appear in the *Welding Journal*.

#### **A5. Telephone Inquiries**

Telephone inquiries to AWS Headquarters concerning AWS standards should be limited to questions of a general nature or to matters directly related to the use of the standard. The Board of Directors' policy requires that all AWS staff members respond to a telephone request for an official interpretation of any AWS standard with the information that such an interpretation can be

obtained only through a written request. The Headquarters staff cannot provide consulting services. The staff can, however, refer a caller to any of those consultants whose names are on file at AWS headquarters.

#### **A6. The AWS Technical Committee**

The activities of AWS Technical Committees in regard to interpretations, are limited strictly to the interpretation of provisions of standards prepared by the committee or to consideration of revisions to existing provisions on the basis of new data or technology. Neither the committee nor the staff is in a position to offer interpretive or consulting services on: (1) specific engineering problems; or (2) requirements of standards applied to fabrications outside the scope of the document or points not specifically covered by the standard. In such cases, the inquirer should seek assistance from a competent engineer experienced in the particular field of interest.

**Key Words** — Robot components, performance requirements, wire feeders, wire dereelers, welding torches, welding interfaces, connector arrangement, connector pin functions

**ANSI/AWS D16.2-94  
ANSI/NEMA EW 8  
An American National Standard**

**Approved by  
American National Standards Institute  
May 23, 1994**

# **Standard for Components of Robotic and Automatic Welding Installations**

Prepared by  
AWS Committee on Robotic and Automatic Welding

Under the Direction of  
The Technical Activities Committee

Approved by  
AWS Board of Directors  
NEMA Codes and Standards Committee

## **Abstract**

*ANSI/AWS/NEMA Standard for Components of Robotic and Automatic Welding Installations*, provides performance recommendations for evaluating components of a typical robotic or automatic welding installation.

Emphasis is placed on the role of the welding interface. A pin arrangement and specific function for each location in a standardized 37-pin connector are proposed.



**National Electrical Manufacturers Association**  
2101 L Street, N.W., Washington, D.C. 20037



**American Welding Society**  
550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126

# Table of Contents

	Page No.
<i>Personnel</i> .....	iii
<i>Foreword</i> .....	iv
<i>List of Tables</i> .....	vi
<i>List of Figures</i> .....	vi
1. Scope .....	1
2. Definitions .....	1
3. Arc Welding Power Sources.....	1
3.1 Continuous Duty .....	1
3.2 Remote Control .....	1
4. Arc Welding Torches and Accessories.....	1
4.1 Torch Design Requirements .....	1
4.2 Torch Holder Requirements .....	2
4.3 Torch Accessories .....	3
5. Dereeling System .....	3
5.1 Equipment.....	3
5.2 Characteristics .....	3
6. Welding Interfaces .....	3
6.1 General Requirements .....	3
6.2 Input/Output Signal Requirements .....	4
7. Shielding Gas Delivery Systems .....	4
7.1 Regulators and Flow Meters .....	4
7.2 Fitted Hose Assemblies .....	5
8. Welding Electrode Feeding Equipment .....	5
8.1 Service Conditions .....	5
8.2 Rating and Performance .....	5
8.3 Construction .....	5
8.4 Installation and Operation .....	6
9. Welding Circuit.....	6
9.1 Components .....	6
9.2 Design .....	6
9.3 Integrity .....	6
9.4 Conductor Size .....	6
9.5 Support Equipment Isolation .....	6
9.6 Methods of Weld Circuit Completions (Workleads).....	6
10. Communication Control Wiring .....	6
11. System Grounding .....	7
11.1 Grounding Mechanics .....	7
11.2 Grounding Identification .....	7
Annex A — Glossary .....	9

## List of Tables

Table		Page No
1	Connector Pin Assignments .....	4
2	Minimum Hose Assembly Breaking Strength .....	5

## List of Figures

Figure		Page No.
1	Typical Robotic Arc Welding Arrangement .....	2
2	Pin Layout for a Standard 37-Pin Connector .....	3
3	Typical Robot Weld Circuit .....	7
4	Protective Earth (Ground) .....	7

# Standard for Components of Robotic and Automatic Welding Installations

## 1. Scope

This document applies to the recommended design, integration, installation, and use of industrial welding robotic and automatic systems. This document applies only to the gas metal arc welding (GMAW) and flux cored arc welding (FCAW) processes. Subsequent revisions may address additional welding processes.

A robotic arc welding system consists of a manipulator, power source, arc welding torch and accessories, electrode feed system, dereeling system, shielding gas delivery system, welding circuit, shielding and communication control, and grounding system. There may be other accessories that are outside the scope of this document. A typical system is illustrated in Figure 1.

## 2. Definitions

Welding terms used in this document shall be interpreted in accordance with ANSI/AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*,<sup>1</sup> NEMA EW-1, *Electric Arc Welding Power Sources*, and NEMA EW-3, *Semi-automatic Wire Feed Systems for Arc Welding Electrode Feeding Equipment*<sup>2</sup> except as supplemented by Annex A of this document.

1. Standard may be obtained from the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126.

2. Standard may be obtained from the NEMA Publication Distribution Center, c/o National Electrical Manufacturers Association, 2102 L St., Suite 300, Washington, D.C. 20037.

## 3. Arc Welding Power Sources

This section outlines the basic construction and performance requirements for arc welding power sources in robotic and automatic arc welding installations. Arc welding power sources used in robotic and automatic welding installations shall be constructed and tested in accordance with NEMA EW-1 and International Electrotechnical Commission (IEC) 974-1, *Requirements for Arc Welding Equipment, Part 1: Welding Power Sources*.<sup>3</sup>

**3.1 Continuous Duty.** Arc welding power sources for robotic and automatic welding installations shall be rated for continuous duty. See Annex A for definition of continuous duty.

**3.2 Remote Control.** Arc welding power sources shall have remote control capabilities for interfacing requirements. Refer to section 6, Welding Interfaces.

## 4. Arc Welding Torches and Accessories

This section outlines the basic design and requirements for GMAW and FCAW torches used with robotic and automatic welding equipment.

### 4.1 Torch Design Requirements

**4.1.1 Style.** The welding torch size and its style or design should allow access to the weldment. The torch

3. All International Electrotechnical Commission (IEC) documents are available from the American National Standards Institute, 11 West 42 Street, 13th Floor, New York, New York 10036.

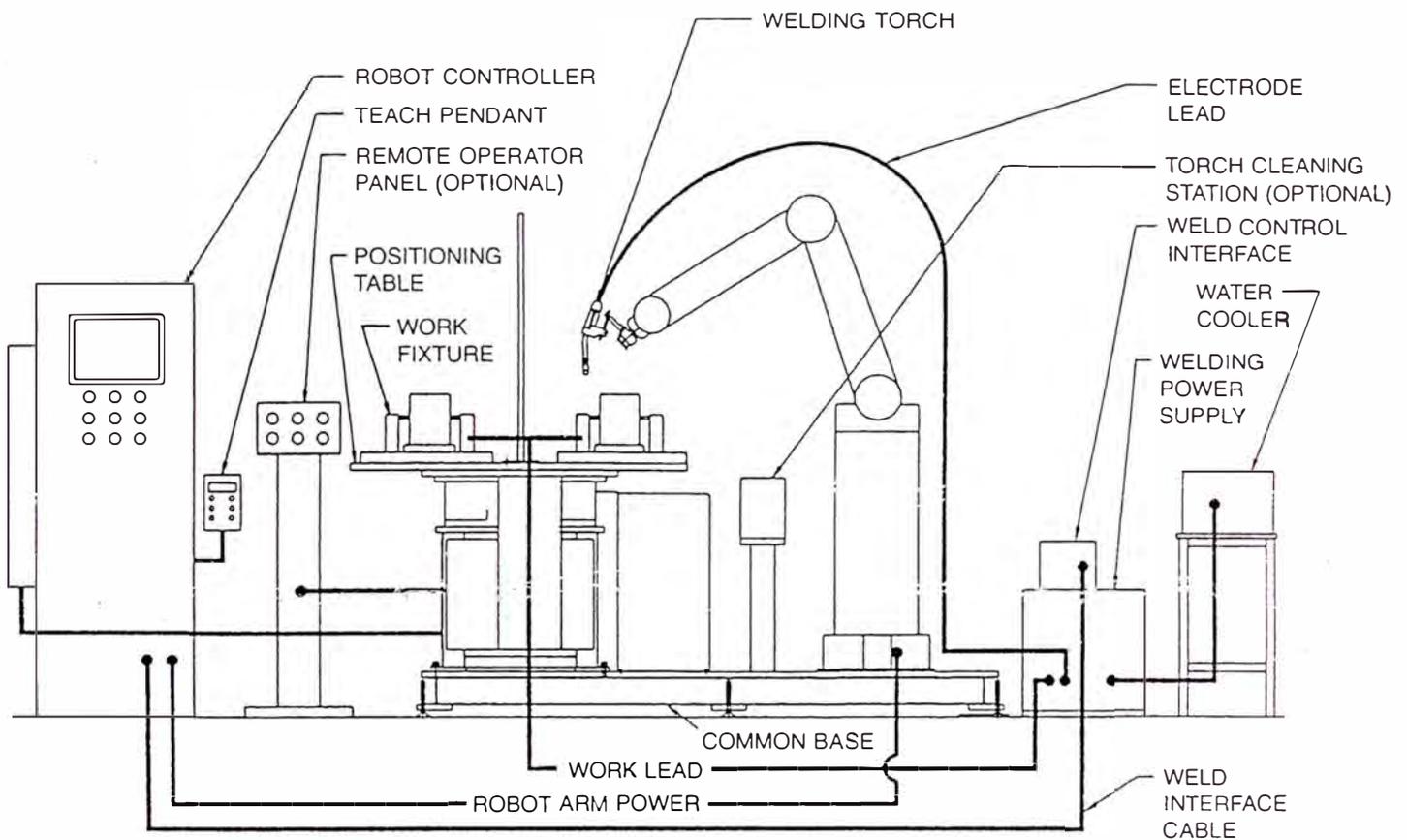


Figure 1—Typical Robotic Arc Welding Arrangement

may be either curved or straight and should provide proper access and position relative to the weld joint.

**4.1.2 Weight.** The weight of the welding torch and mounting components shall not exceed the design limit as specified by the manufacturer for the welding manipulator.

**4.1.3 Insulation.** The exposed surfaces of the welding torch shall be electrically isolated from the welding circuit. Such surfaces include the gas cup, torch body, and any other exposed surface not intended to carry welding current.

**4.1.4 Mounting.** Provisions for mounting the torch shall be such that the tool center point (TCP) does not deviate from the system repeatability requirements.

**4.1.5 Utilities.** Utilities consist of shielding gas, coolant, current, and other commodities required for the process. All utility connections should be designed to aid proper installation (for example color coding, labeling, or variation of fitting size).

Cables and hoses shall be of adequate length and flexibility so as not to restrict the movement of the manipulator or the supply of the utilities.

**4.1.6 Current Rating.** All torches shall meet NEMA Standard EW-3, *Semiautomatic Wire Feed Systems for Arc Welding Electrode Feeding Equipment*. Torch specifications are typically based on 100% CO<sub>2</sub> gas. For gases other than 100% CO<sub>2</sub>, the current rating shall be rated according to manufacturer's specifications to meet continuous duty requirements.

**4.1.7 Repeatability.** Torches shall be designed so maintenance, including part replacement, minimizes the change of the electrode position with respect to the manipulator tool center point (TCP).

## 4.2 Torch Holder Requirements

**4.2.1 Mounting to Manipulator.** The torch holder shall have the proper mounting pattern or adapters for secure mounting of the torch holder to the manipulator.

### 4.2.2 Torch Attachment to Holder

**4.2.2.1** The torch holder shall provide electrical isolation between the torch and the manipulator end effector.

**4.2.2.2** The torch holder shall provide for alignment of the torch to the tool center point (TCP).

4.2.2.3 The torch holder shall be mechanically rigid to withstand collision.

4.2.2.4 The torch holder shall be able to accept the torch specified for the welding application.

### 4.2.3 Collision Sensing Device

4.2.3.1 When collision from any direction occurs, the torch holder shall provide an electrical signal to the system controller.

4.2.3.2 The collision sensing device shall provide a means of repositioning the electrode tip to the TCP.

**4.3 Torch Accessories.** Torch accessories are devices that may be beneficial in robotic or automatic welding cells. Typical devices may include cleaning stations, water coolers,<sup>4</sup> alignment tools, and wire cutters.

#### 4.3.1 Cleaning Stations

4.3.1.1 A cleaning station is an accessory that removes spatter from the torch. Torches should be cleaned periodically to prevent excessive accumulation of spatter that affects process performance.

4.3.1.2 Cleaning stations, when employed, shall not adversely affect the performance of the torch, wire, or system repeatability.

#### 4.3.2 Water Cooler

4.3.2.1 A water cooler is an accessory sized to maintain the welding torch at or below its maximum operating temperature as specified by the torch manufacturer.

4.3.2.2 When coolant flow is inadequate, a sensing device shall provide an electrical signal to the system controller.

4.3.3 **Alignment Tools.** Alignment tools are devices used to establish the TCP. These devices may be contact or noncontact type.

4.3.4 **Welding Wire Cutters.** Welding wire cutters are devices used to establish uniform wire extension and profile.

## 5. Dereeling System

**5.1 Equipment.** This section outlines the basic requirements for conveying welding wire from the wire package

(i.e., spools, payoff packs) of any size to the entrance of the wire feeder mechanism.

## 5.2 Characteristics

5.2.1 The pulling force on the welding wire shall not exceed 10 pounds at the entrance to the wire feeder.

5.2.2 A wire control system shall limit filler metal leaving the package to that required to prevent entanglement when the wire feeder is stopped. Entanglement shall not occur regardless of the weight of the filler metal package or the wire feed speed.

5.2.3 The dereeler shall be designed and installed to provide for easy and safe loading of the wire package.

5.2.4 All dereeler components in direct contact with the welding wire shall be isolated from the welding ground with a minimum resistance of 1 megaohm at 500 Vdc.

## 6. Welding Interfaces

This section outlines the basic requirements for the interface between the robotic/automatic controller and the welding equipment.

**6.1 General Requirements.** The interface shall be provided by the standard connector, MS3102A-28-215. The pin layout is shown in Figure 2 and the connector pin assignments are shown in Table 1 and in parentheses in 6.2 below. The interface shall provide electrical isolation between the controller and the welding equipment as

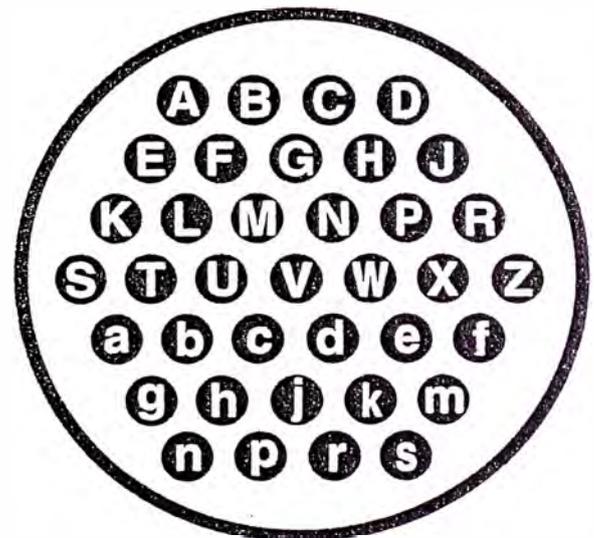


Figure 2—Pin Layout for a Standard 37-Pin Connector (Ref. MS3102A-28-215)

4. *Water cooler* is a common industrial term. The coolers consist of a reservoir and may contain a radiator. Coolants other than water may also be used.

**Table 1  
Connector Pin Assignments**

Pin Location	Pin Function
A	WFS Analog Output (0–10v)
B	WFS Analog Output (Common)
C	Weld Voltage Analog Output (0–10v)
D	Weld Voltage Analog Output (Common)
E	Current Analog Feedback (0–10v)
F	Current Analog Feedback (Common)
G	Voltage Analog Feedback (0–10v)
H	Voltage Analog Feedback (Common)
J	Spare
K	Spare
L	Spare
M	Output Enable (Dry Contact)
N	Output Enable (Dry Contact)
P	Output Common
R	Arc On
S	Arc Voltage On
T	Wire Feed Forward - Possible Jog
U	Wire Feed Reverse - Possible Jog
V	Spare
W	Spare
X	Gas On
Z	Check Electrode Touch
a	Spare
b	Spare
c	Input Common
d	Arc (Sensing) Established
e	Electrode Touched
f	Arc Failure
g	Welding Equipment Ready (Panel On)
h	Spare
j	Spare
k	24v DC Power Source (+)
m	Power Source Common
n	E-Stop (+)Terminal
p	E-Stop Common
t	Spare
s	Spare

well as the necessary circuitry for converting the controller's input/output signals to a form usable by the welding equipment.

## 6.2 Input/Output Signal Requirements<sup>5</sup>

### 6.2.1 Analog Signals

6.2.1.1 Analog output(s) shall provide for a 0 to +10 volt dc control signal (Vdc). There shall be four pins reserved for analog outputs for use as follows:

- (C, D) Weld voltage reference
- (A, B) Wire feed speed reference

6.2.1.2 Analog inputs shall provide for a 0 to +10 volts feedback-signal (Vdc). There shall be four pins reserved for analog inputs for use as follows:

- (G, H) Weld voltage feedback
- (E, F) Weld current feedback

### 6.2.2 Discrete Outputs

6.2.2.1 Discrete outputs shall provide 24 volt signals (Vdc).

6.2.2.2 There shall be nine pins reserved for discrete outputs for use as follows:

- (M, N) Output enable (Dry Contact)
- (P) Output common
- (R) Arc on
- (S) Arc voltage on
- (T) Wire feed forward — possible jog
- (U) Wire feed reverse — possible jog
- (X) Gas on
- (Z) Electrode touch check

### 6.2.3 Discrete Inputs

6.2.3.1 Discrete inputs shall be 24 volts (Vdc)

6.2.3.2 There shall be five pins reserved for discrete inputs as follows:

- (c) Input common
- (d) Arc established
- (e) Electrode touched
- (f) Arc failure
- (g) Welding equipment status

6.2.4 Other. There shall be fifteen pins reserved for other miscellaneous input/output functions as follows:

- (1 pin) Electrical Shield
- (k,) 24 Vdc power source (+)
- (m) Power source common
- (n) Emergency stop terminal
- (p) Emergency stop common
- (s) Electrical Shield
- (j, k, l) Spares
- (v, w) Spares
- (a, b) Spares
- (h, j) Spares
- (t) Spare

## 7. Shielding Gas Delivery Systems

Gas delivery systems should consist of, but are not limited to, regulators, flow meters, fitted hose, hose connectors, gas mixers, and solenoid valves.

### 7.1 Regulators and Flowmeters

7.1.1 Regulators or flowmeters shall be capable of supplying the specified shielding gas in a continuously

5. For the purposes of this document, the robot or automatic controllers are considered as the source of output signals and the receiver of input signals.

adjustable range of 10 cubic feet per hour (CFH) (5 L/min.) to the maximum required for the application for each welding torch.

**7.1.2** Gas flow shall be indicated by a flowmeter, with a minimum accuracy of  $\pm 10\%$  of full scale reading.

**7.1.3** Gas flow devices shall be capable of supplying the required gas flow on a continuous duty basis.

**7.1.4** Outlet pressure of the gas flow devices shall not exceed 100 psi (690 kPa).

**7.1.5** Outlet connections shall conform to the requirements of Compressed Gas Association (CGA)<sup>6</sup> Class 032, as specified in pamphlet E-1, *Standard Connections for Regulator Outlets, Torches and Fitted Hose for Welding and Cutting Equipment*.

## 7.2 Fitted Hose Assemblies

**7.2.1 Hose Types, Grades, and Sizes.** The types, grades and sizes of nonconductive rubber hose shall be in accordance with current RMA-CGA IP7, *Specification for Rubber Welding Hose*.<sup>7</sup> Grade R has a non oil-resistant cover, and it is not recommended for use in areas where oil or grease may be encountered. All rubber hoses should be protected from ultraviolet radiation from the welding arc.

**7.2.2 Pressure Capabilities.** Fitted hose assemblies shall be designed for a minimum operating pressure of 100 psi (690 kPa).

**7.2.3 Physical Strength.** The minimum pull strength for axial and right-angle pulling shall be in accordance with pamphlet E1 of the Compressed Gas Association (see Table 2). Leakage, breakage, puncture, and hose separation constitute failure.

**7.2.4** All hose connections to and from the valve shall conform to the requirements of CGA Class 032.

## 8. Welding Electrode Feeding Equipment

This section details requirements for equipment to feed continuous welding electrodes.

### 8.1 Service Conditions

**8.1.1** Should the user anticipate service conditions classified as unusual in accordance with NEMA EW-3,

6. Standards can be obtained from the Compressed Gas Association, 1725 Jeff Davis Highway, Suite 1004, Arlington, Virginia 22202-4102.

7. Standard can be obtained from the Rubber Manufacturers Association, 1400 K Street, N.W., Washington, D.C. 20005.

**Table 2**  
**Minimum Hose Assembly**  
**Breaking Strength**

Nominal I.D.		Axial Pull		Angle Pull	
in.	(mm)	lb	(kg)	lb	(kg)
3/16	(5)	100	(45)	50	(23)
1/4	(6.3)	300	(136)	150	(68)
5/16	(8)	350	(136)	200	(90)
3/8	(10)	350	(158)	200	(90)

Reference: CGA Pamphlet E1, *Standard Connections for Regulator Outlets, Torches and Fitted Hose for Welding and Cutting Equipment*.

*Semiautomatic Wire Feed Systems for Arc Welding*, the user should contact the equipment manufacturer for further recommendations.

**8.1.2** Welding electrode feeding equipment shall be installed and operated in accordance with the National Electrical Code, federal, state, and local codes as applicable, the manufacturers' specifications, and applicable safety specifications, including ANSI Z49.1, *Safety in Welding and Cutting*.

### 8.2 Rating and Performance

**8.2.1 Duty Cycle.** Welding electrode feeding equipment for robotic and automatic welding shall be capable of operating at continuous duty. The continuous duty cycle rating shall be determined by conducting performance rating tests as described in 8.3.2.

**8.2.2 Rating and Performance Tests.** Rating and performance tests shall be conducted as described in the applicable section of NEMA Standard EW-3, *Semiautomatic Wire Feed Systems for Arc Welding Electrode Feeding Equipment*.

**8.2.2.1** Welding electrode feeding equipment shall be capable of withstanding continuous cycling of 4 seconds on and 2 seconds off for a minimum of 10 consecutive minutes.

**8.2.2.2** The temperature of the internal components and external surfaces shall not exceed those specified in the applicable section of NEMA EW-3.

### 8.3 Construction

**8.3.1 General Considerations.** Welding electrode feeding equipment may be housed within the welding power source, may be a single unit, or may be of modular construction to allow the controls to be mounted separately from the wire drive motor assembly. The equipment may have provisions for mounting a coil or spool of welding electrode, or may pull the electrode from a separate source such as a dereeler or bulk package.

### 8.3.2 Mechanical Construction

**8.3.2.1** The design, construction, and performance of the wire feeder frame, case, cabinet, or enclosure shall conform to the requirements of the applicable section of NEMA EW-3.

**8.3.2.2** Motors for feeding of welding electrode wires shall be designed with sufficient power to provide the force necessary to pull the welding electrode from the coil, spool, package or from dereeling equipment, and to deliver the electrode to the welding torch at the rated speed (see section 5).

**8.3.2.3** Wire drive roll assemblies shall be designed to drive the welding electrode in a smooth and uniform manner at the rated speed. The number and design of drive rolls shall be suitable for the size and type of electrode. Auxiliary motors, wire straighteners, and drive roll assemblies may be required for certain applications.

**8.3.2.4** The conduits for guiding and transmitting welding electrode shall be designed specifically for the following:

- (1) Electrode size and type
- (2) To provide low wear and drag between the electrode wire and conduit
- (3) To provide electrical insulation between the electrode and personnel or equipment

**8.3.3 Electrical Construction.** Electrical components, insulation, wiring, cables, and connections shall be designed to the requirements of the electrical construction section of NEMA EW-3.

**8.3.4 Remote Control.** Welding electrode feeding equipment shall have remote control capability and shall be suitable for interfacing to the robot control, automatic welding control, or power source.

**8.3.5 Input Voltage Rating.** When the welding electrode feeding equipment is not contained within the enclosure of the welding power source, the input voltage to the equipment shall not exceed 120 Vac nominal.

### 8.4 Installation and Operation

**8.4.1 Recommended Mounting of Equipment.** Because of the wide variety of configurations and applications for robotic and automatic welding installations, it is not possible to define rigid rules for the use of welding electrode feeding equipment. However, the following points are provided to guide the user.

**8.4.1.1** The electrode drive roll assembly should be located as close as practical to the welding torch. Auxiliary drive assemblies or push-pull feeding systems may be required for applications that involve large wire packages, small diameter wires, long cable runs, or difficult to feed wires.

**8.4.1.2** The welding electrode path from the dereeling equipment, spools, or coils to the wire feeder and from the feeder to the welding torch should be as short as practical. Conduits used to guide the electrode should be mounted and supported so that there are no sharp bends.

**8.4.1.3** Wire guide conduits and other components and assemblies that are connected to, or may come in contact with, the welding power circuit shall be electrically insulated to avoid injury to personnel or equipment.

## 9. Welding Circuit

This section outlines the function of the typical components used in the welding circuit.

**9.1 Components.** Typical components of the welding circuit consist of the electrode leads, workleads, the output terminals of the power source, and the power source itself, Figure 3.

**9.2 Design.** The welding circuit should be designed to reduce the effect of thermal, electric, and magnetic interference.

**9.3 Integrity.** The weld circuit shall meet the requirements of local, state, and federal codes. Electrical connections in the weld circuit shall be made with clean bright metal surfaces.

**9.4 Conductor Size.** Welding leads should be maintained as short as practical. The conductor size shall be in accordance with the local, state, and federal codes and the power source manufacturer's recommendations.

### 9.5 Support Equipment Isolation

**9.5.1** All components utilized in the arc welding system that are not physically part of the weld circuit path should be electrically isolated from the circuit.

**9.5.2** Welding positioners, tables, and other peripheral devices should not be an intentional part of the welding circuit.

### 9.6 Methods of Weld Circuit Completions (Workleads)

**9.6.1** The worklead should be fastened, using compatible metals, as close as practical to the point of arc initiation.

**9.6.2** No connection shall cause interruption to the continuity of the worklead path.

## 10. Communication Control Wiring

**10.1** All communication and control lines shall be designed in accordance with local, state, and federal codes where applicable.

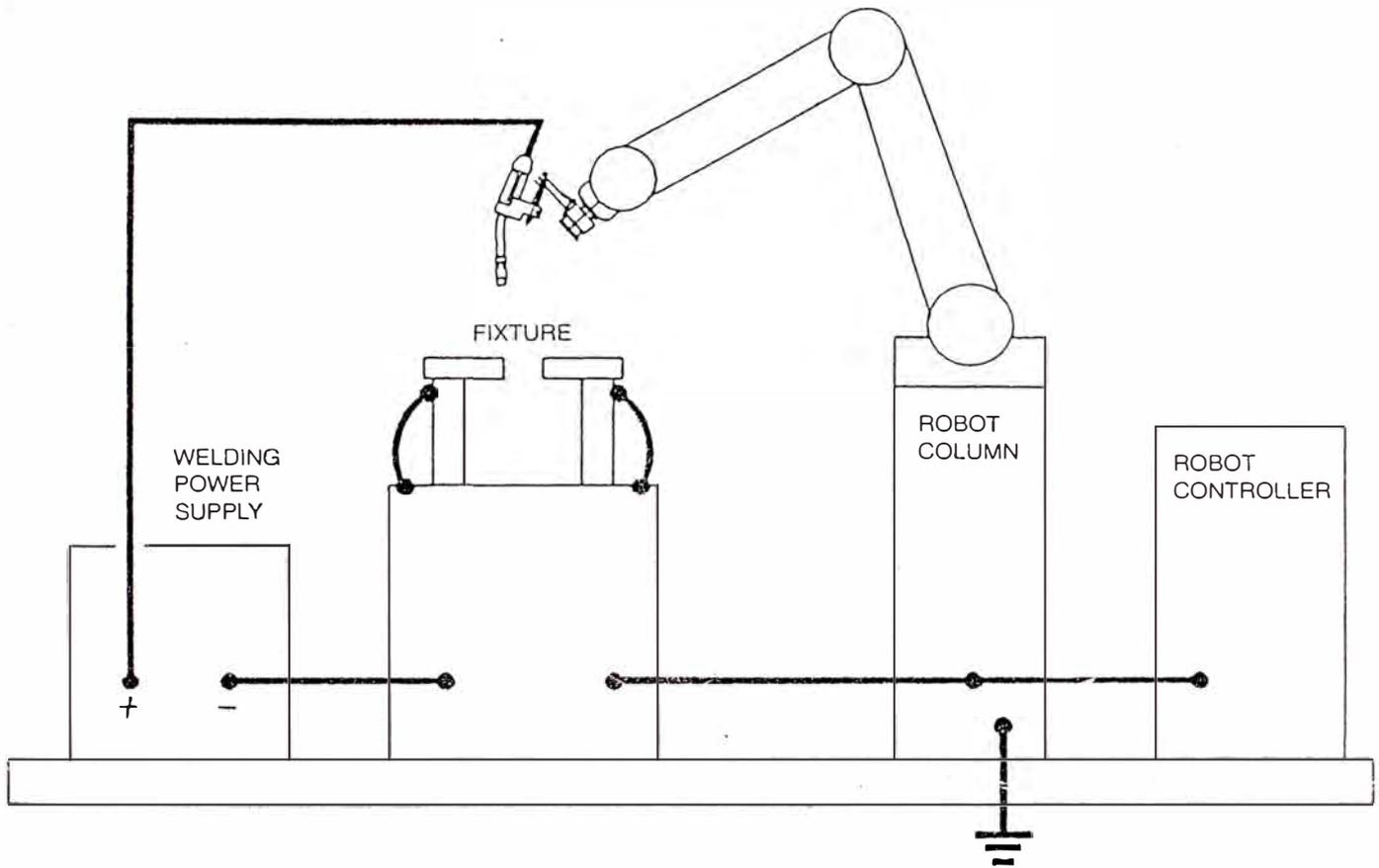


Figure 3—Typical Robot Weld Circuit

10.2 Low voltage discrete and analog signal lines should be segregated from ac discrete signal lines to prevent interference.

### 11. System Grounding

System grounding shall be required to avoid the danger of electric shock from an electrical fault in any of the system components.

11.1 Grounding Mechanics. All exposed non-current carrying conductive parts, which might become energized under normal use and handling, shall have a metal-to-metal contact and shall be bonded to a common ground.

11.1.1 The system ground connection shall be utilized for grounding purposes only.

11.1.2 The system ground connector shall be sized in accordance with applicable federal, state, and local codes.

11.1.3 The system ground connection shall be located as noted in Figure 3.

11.1.4 The system ground shall be attached only by mechanical means. Solder alone shall not be used as a means for ground connections.

11.2 Ground Identification. When the grounding means is an insulated lead, it shall have a green colored surface with or without one or more yellow stripes. In all other cases, the grounding means shall be identified by green coloring, by a legible marking with the green coloring, or by a legible marking with the symbols as shown in Figure 4, or alternatively with the letter(s) G, GR, GRD, GND, or GROUND.

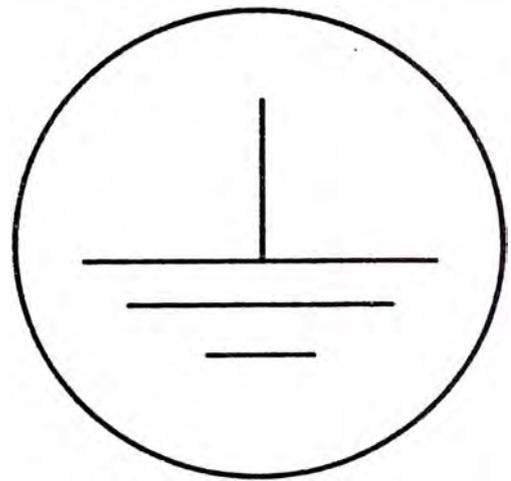


Figure 4—Protective Earth (Ground)  
(Source: IEC 417;5019)

## Annex A Glossary

(This Annex is not a part of ANSI/NEMA/AWS D16.2-94, *Standard for Components of Robotic and Automatic Welding Installations*, but is offered for information only.)

- analog input.** A 0–10 Volt dc reference signal from the welding equipment to the robot controller.
- analog output.** A 0–10 volt command reference signal from the robot controller to the weld equipment.
- arc established.** A discrete input signal that indicates a welding arc is present.
- arc on.** A discrete output signal that initiates the welding process.
- auxiliary power supply.** Either alternating or direct current provided by the arc-welding power source that supplies power to the welding site.
- continuous duty.** A power source rated for continuous duty shall be capable of operating 100 percent of the time without interruption and without exceeding the maximum temperature criteria of the insulation and components within the power source. In all cases, the required load shall not exceed the weld power source rating for continuous duty.
- discrete input.** An on-off signal from the weld equipment to the robot to indicate the status of the function being monitored.
- discrete output.** An on-off command from the robot to the weld equipment used to control peripheral components.
- electrical shielding.** A means of redirecting wandering and random electrical noise and interference to provide integrity to lines of communications.
- electrode lead.** The welding lead between one of the welding power terminals of the arc welding power source and the welding electrode.
- electrode touch check.** Discrete output signal to initiate continuity of weld wire to work.
- electrode touch.** Discrete input signal which indicates continuity between the welding wire and the work.
- E-stop.** Overriding output signal from the robot to the welding equipment that terminates all output on command.
- gas on.** Discrete output signal used to turn on the gas solenoid, activate auxiliary equipment, or both.
- load current.** The amperage flowing in the welding circuit when a load is applied to the welding terminals.
- load voltage.** The voltage between the welding terminals of the arc welding power supply when a load current is flowing in the welding circuit.
- output enable.** Discrete output signal for enabling all automatically controlled discrete output signals.
- power source output on (voltage on).** Discrete output signal that enables, or maintains, the power output (power voltage) source.
- rated load voltage.** The load voltage at rated output.
- rated output.** The rated output of an arc welding power supply shall consist of a designated limit of output, or capacity, expressed as a rated load voltage, rated load current, and rated load duty cycle when the power supply is operated at rated input voltage(s) and rated frequency(ies) or at rated speed.
- weld equipment status.** Discrete input signal to monitor readiness of the welding equipment.
- welding circuit.** Consists of all attachments connected to the welding terminals of the arc welding power supply.

**welding leads.** Conduct the welding power and, when provided, high frequency energy from the welding terminals to the welding arc.

**welding terminals.** Those terminals of an arc welding power supply which furnish welding power and, when provided, high-frequency energy for the welding arc.

**welding torch.** An apparatus that directs the placement of filler metal supplied as a continuous electrode and provides the means for supplying welding current and shielding gas as necessary.

**wire feed forward (robot controlled).** Discrete output signal from the robot to initiate forward wire feed at a

rate specified by the analog signal for the wire feed speed.

**weld voltage reference.** A 0–10 volt output signal that controls the output voltage of the weld power supply.

**wire feed reverse (robot controlled).** Discrete output signal from the robot to initiate reverse wire feed at a rate specified by the analog signal for the wire feed speed.

**wire feed speed reference line.** A 0–10 volt output signal that controls the electrode wire feed rate.

**work lead.** The welding lead between one of the welding terminals of the arc welding power supply and the work.

# JUSTIFYING THE COST OF A ROBOTIC WELDING SYSTEM

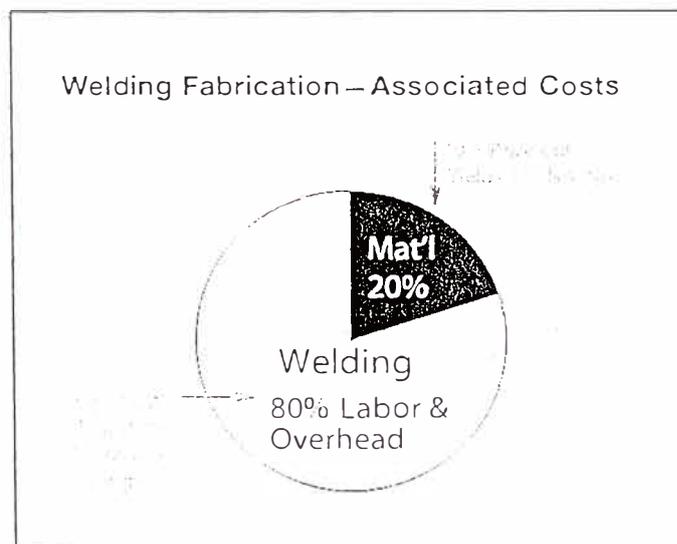
Do you think your shop is too small for a robotic welding system? Do your calculations show that you are not producing enough parts to consider automation? Do you think you would never be able to justify the cost of a system to top management? If you answered "yes" to any of the above questions, you may be surprised to note that shops who may have never considered automation before, are now turning to robotic systems in record numbers.

## The reasons?

First, a changing economy is revealing that there are not enough welding operators in today's marketplace. Rather than attending vocational schools to be trained as welders, more and more of this country's high school graduates are headed to college. This means that there are not enough young welding operators coming into the industry to replace those that are retiring. Because of this, companies are spending an incredible amount of money recruiting and training welders—much more money than many companies realize.

Second, robotic welding in the past was thought of as something only for high volume part producers such as automotive suppliers. But, technology has come a long way in the last few years and now rapid part changeovers and interchangeable tooling nests (or fixtures) mean that even a company that produces small batches of a number of different parts, may be able to take advantage of automation.

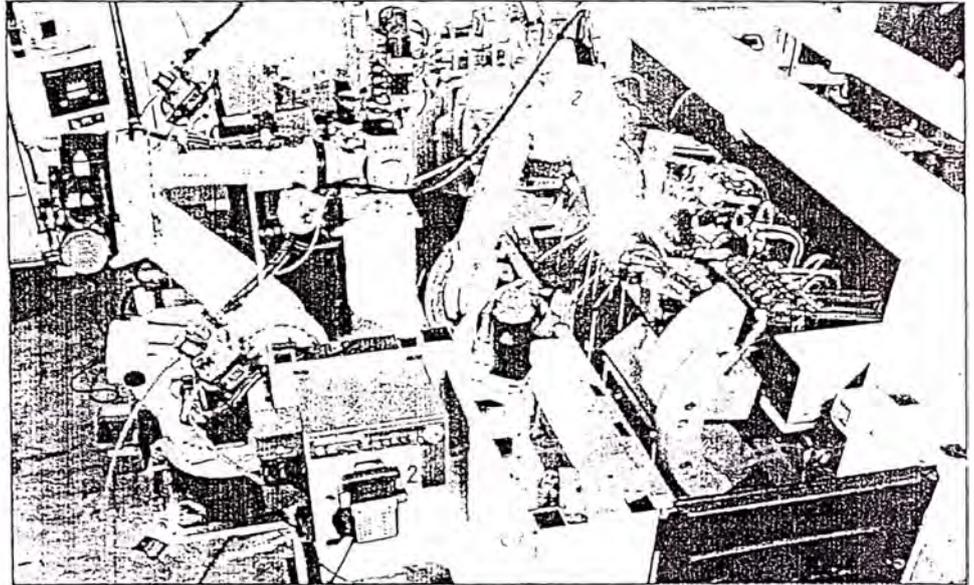
The goals of automation should be to decrease manufacturing cost and increase weld quality. In this article, we will explore some of the reasons companies may be able to justify the cost of a robotic welding system. With the cost of a complete cell starting at approximately \$50,000 – it may be more affordable than you think.



# JUSTIFYING THE COST OF A ROBOTIC WELDING SYSTEM

## 1. Justify Costs By Calculating a Fully Burdened Labor Rate

Most companies look at what they pay the employees in hourly wages plus benefits and determine that it is far more cost effective than investing in a robot. What many don't factor in is the fully burdened labor rate. This rate takes into consideration such things as the cost of the building, taxes, utilities, transportation, etc.—all the costs of doing business. The company which looks at a fully burdened labor rate might be surprised to note that it could be as much as \$80 to \$90 per hour per employee as compared to the employee's direct rate of pay which may only be \$35 to \$40 an hour.



Productivity soars in minimal floor space with one worker and two welding robots.

## 2. Justify By Realizing Added Productivity

Of course, one of the main ways to justify the cost of a robot may be to look at the productivity that your company could receive versus what you are currently achieving with your manual or semi-automatic welding systems. In many cases, welding with a robot is two to five times as fast as other methods. This means that every hour, there could be two to five times the number of parts completed than

you are doing now. For example, the Tandem MIG system, which uses two arcs in unison, coupled with robotics has helped several component manufacturers greatly increase plant productivity.

And, if you have a difficult application, don't automatically assume that robotic welding is not for you. Today's newest fixtures can hold up to 20 parts which means that integral designs and difficult geometries can easily be accommodated.

## 3. Justify by Recognizing Reliability

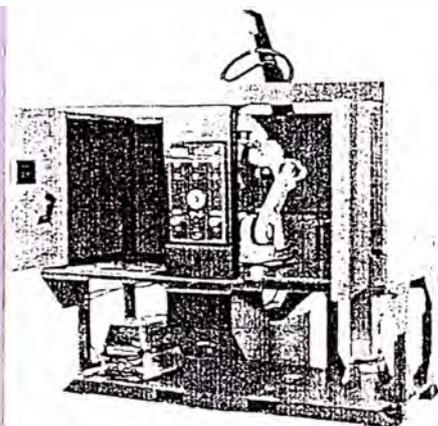
As much as you hate to admit it, employees can sometimes be unreliable—they don't show up for work or have bad days. Robots are reliable—they are there everyday and can work numerous hours without taking a break or stopping for lunch. In addition, you will not experience employee turnover with robots—they are loyal to your company and will not leave after they've been trained. Everyone from steel furniture manufacturers to automotive firms have found this to be true.

## 4. Justify by the Ability to Increase Volume

When you get a new contract or decide to expand the scope of your operations, robots can easily handle the extra volume. Also, since they need less floor space than an employee does, as business increases, you don't have to worry about building, renting or buying extra space. In most cases, robots show a return on investment in six months.

## 5. Justify by Eliminating Variability

A robot will put the same weld in the same spot every time. Because of this, it is usually able to help a company realize increased quality and efficiency. With robotics, companies invest in making good parts upfront, not trying to correct problems after they occur as is the case with manual or semi-automatic welding in many instances. Also, with robots, a visual inspection is usually all that is needed to check the part—semi-automatic or manual welding may require additional testing such as random destructive testing, radiography or a dye penetrate test.

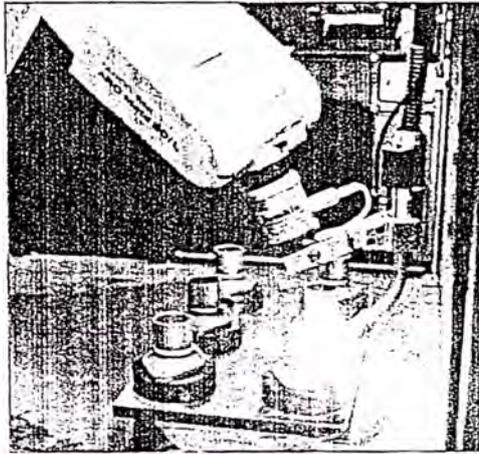


The cost of a complete cell starts at approximately \$50,000.

## JUSTIFYING THE COST OF A ROBOTIC WELDING SYSTEM

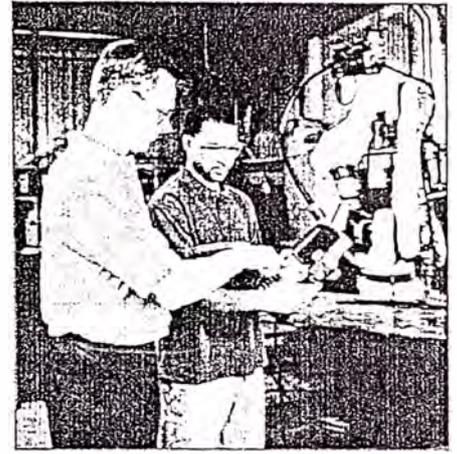
### 6. Justify By Calculating the Increased Number of Parts

As was discussed above, some companies feel that they don't have the volume of parts to warrant investing in a robotic system. But, tooling is now commonly designed for rapid changeovers. For instance, companies are taking advantage of flexible layouts that can surround the robotic welding unit and offer room for a number of different tooling nests. The robot can be programmed to run all day in position A with a particular set of tooling nests, or it can change between positions A, B and C—doing small batches of each part. These tooling nests have also been designed for rapid changeovers so that a couple of motions will allow the operator to completely change out one tooling nest for another. And, since the



*With one setup, six parts are welded*

robot can store many different programs in its memory, the operator just has to change from one program to the other and the robot will be welding a completely different part.



*Operators learn quickly with a few hours of instruction*

### 7. Justify By Examining Savings in Filler Metal

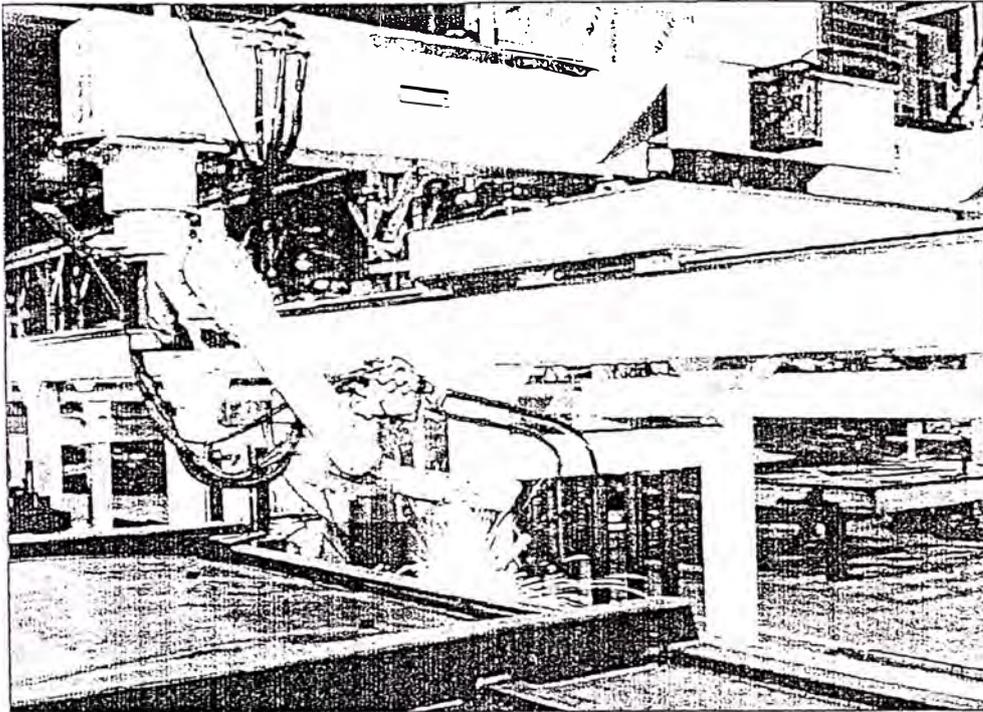
Investing in a robot reduces the amount of overwelding that occurs with manual processes. When left up to the operator, a margin of safety is usually built into every weld he makes. The end result is that the operator usually puts down more filler metal than necessary and will also make the bead longer than it needs to be. A robot is much more exact and will lay down only the amount of filler metal that is absolutely necessary. In addition, a robotic process usually equates to less spatter and less wasted filler metal. For example, a job shop helped justify the purchase of a robotic system with just the savings of less metal finishing (grinding) on the completed weld assemblies.

### 8. Justify by Reducing the Cost of Training

As was already established, it is difficult to find trained workers in today's market. What is even more challenging is in environments where code work is required, where welders have to constantly be re-qualified and keep up their skills. Some companies have gone as far as providing their own



*When interfaced with a positioner, complex parts are quickly welded downhand.*



*A robot on a gantry means big parts are not a problem.*

training facility on-site. As compared to paying a skilled welder, it can be less expensive to hire someone who can simply load and unload the robotic welding fixtures.

provide a running summary of any changes that were made in the robotic welding process during actual production time. All of these software packages are designed to help

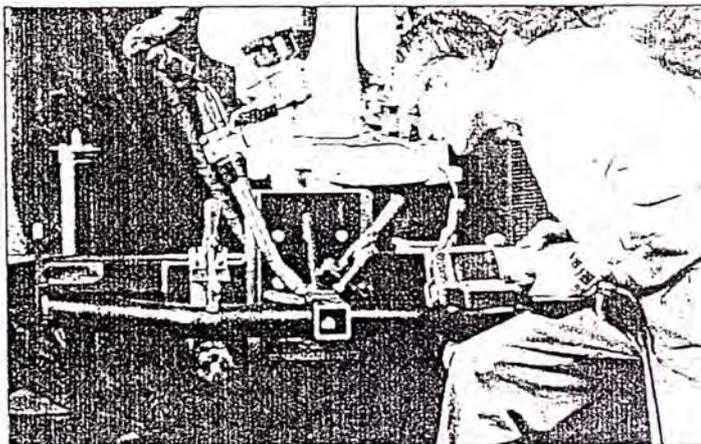
companies maintain high quality standards with new or changing personnel on the production floor.

### Closing

Hopefully these justification tools will help you be able to make a decision to use automation in your facility. In many cases, companies should be looking at automation as a question of "when" and not "if." If you are going to install a robot for the first time, make sure you look for a reputable manufacturer, such as The Lincoln Electric Company, to work closely with you to design a system custom-tailored to your individual needs. Technical support and training are important to the success of any welding automation project. Lincoln's automation systems come with a 60-day money back guarantee and over the last ten years of selling robotic welding systems, Lincoln has not yet had one system returned. Keep in mind that the goals of automation should be to decrease manufacturing cost and increase weld quality—if you can achieve that with robotics, justification may be simple.

### Justifying your investment in Automation Accountability

Today's available robotic software allows companies to improve the tracking of manufacturing processes. One example is arc data monitoring software, which monitors, records and reports weld data on a "real time" basis. This can be done over the Internet (Ethernet) to a central location in the plant. A second software program is auto-error recovery that provides for a fast recovery from an unexpected robot fault should one occur on the production floor. Lastly, password protection with logging will



*The Teach Pendant makes programming easy.*

THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY  
22801 St. Clair Ave. / Cleveland, OH 44117-1199 / P: 216-481-8100 / F: 216-486-1751

**Key Words**—Robot, robotic arc welding, welder qualification, robot welding systems, robotic welding operator, qualified robot technician

**AWS D16.4M/D16.4:2005**  
**An American National Standard**

**Approved by**  
**American National Standards Institute**  
**January 13, 2005**

# **Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel**

**2nd Edition**

**Supersedes AWS D16.4:1999**

Prepared by  
AWS D16 Committee on Robotic and Automatic Welding

Under the Direction of  
AWS Technical Activities Committee

Approved by  
AWS Board of Directors

## **Abstract**

This specification provides requirements for the qualification of robotic arc welding support personnel at three different levels—CRAW-L1, CRAW-O, and CRAW-T. The revisions in this edition align education and experience requirements more realistically with those in industry.

 **IHS** Reproduced by Global Engineering Documents  
With the Permission of AWS Under Royalty Agreement



**American Welding Society**  
550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126

# Foreword

(This Foreword is not a part of AWS D16.4M/D16.4:2005, *Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel*, but is included for informational purposes only.)

The AWS D16 Committee on Robotic and Automatic Welding was organized in 1985 to provide centralized source for the exchange of technical information between manufacturers, installers, and operators of robotic and automated equipment.

The first edition of AWS D16.4 (AWS D16.4:1999, *Specification for the Qualification for Robotic Arc Welding Personnel*) provided guidelines for the qualification of arc welding personnel. This second edition includes revisions required to harmonize this standard with the certification document for robotic arc welding personnel that is currently in use. This edition reduces the levels of qualification from four to three and aligns education and experience requirements more realistically with those in industry.

Comments and suggestions for the improvement of this standard are welcome. They should be sent to the Secretary, AWS D16 Committee on Robotic and Automatic Welding, American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

Official interpretations of any of the technical requirements of this standard may only be obtained by sending a request, in writing, to the Managing Director, Technical Services Division, American Welding Society. A formal reply will be issued after it has been reviewed by the appropriate personnel following established procedures. See Annex A for details on the full procedure of obtaining interpretations.

# Table of Contents

	Page No.
<i>Personnel</i> .....	iii
<i>Foreword</i> .....	v
<i>List of Tables</i> .....	viii
<i>List of Figures</i> .....	viii
1. Scope.....	1
2. Normative References.....	1
3. Definitions.....	1
4. Specifications for Qualification of Robotic Arc Welding Personnel.....	2
<i>Nonmandatory Annexes</i> .....	9
<i>Annex A—Guidelines for Preparation of Technical Inquiries for AWS Technical Committees</i> .....	9
<i>Annex B—Bibliography</i> .....	11
<i>List of AWS Documents on Robotics and Automatic Welding</i> .....	13

## List of Tables

Table		Page No.
1	Performance Qualifications for Robotic Arc Welding Personnel—Level 1 (CRAW-L1) .....	2
2	Performance Qualifications for Robotic Arc Welding Personnel—Level 2 (CRAW-O).....	3
3	Performance Qualifications for Robotic Arc Welding Personnel—Level 3 (CRAW-T) .....	4
4	Summary of Specifications for Robotic Arc Welding Personnel .....	5

## List of Figures

Figure		Page No.
1	Test Specimen Components, Dimensions, and Layout.....	7
2	Assembly Specifications for Test Specimens .....	8
3	Specifications for Test Welds .....	8

# Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel

## 1. Scope

This standard provides specifications for the qualification of robotic arc welding personnel. This standard does not prevent a manufacturer, fabricator, or contractor from continuing to qualify robotic welding personnel according to other standards.

Qualification is limited to those performance variables provided in Tables 1 through 4 in this standard. There are three different levels in which qualification can be achieved. The work of operators, technicians, and maintenance support personnel is included in these three levels (see Tables 1, 2, and 3).

This standard makes use of both the International System of Units (SI) and U.S. Customary Units. The latter are shown within brackets [ ] or in appropriate columns in tables and figures. The measurements may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently.

Safety and health issues and concerns are beyond the scope of this standard, and therefore are not fully addressed herein. Safety and health information is available from other sources, including, but not limited to, ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*<sup>1</sup> and applicable federal and state regulations.

## 2. Normative References<sup>1</sup>

The following AWS standards contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this AWS standard. For undated references, the latest edition of the referenced standard shall apply. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply.

1. For Informative (nonmandatory) References, see Annex B.

(1) AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*<sup>2</sup>

(2) AWS QC19, *Standard for the AWS Certification of Robotic Arc Welding Personnel*<sup>3</sup>

## 3. Definitions

Standard welding terms are defined in the current edition of AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*. Terms unique to this standard are defined herein.

**inspection.** Examination or measurement to verify whether an item or activity conforms to specified requirements.

**inspector.** A person who performs an inspection or examination function to verify conformance to specific requirements.

**qualification.** Verification by testing of the characteristics or abilities gained through training, experience, or both that enables individuals to perform certain functions.

**robotic arc welding personnel.** Individuals who may be operators, technicians, or maintenance support personnel for robotic arc welding applications.

**robotic arc welding personnel qualification.** The verification of robotic arc welding personnel's ability to meet prescribed standards for performance qualification.

**verification.** The act of reviewing, inspecting, testing, checking, auditing, or otherwise determining and documenting whether items, processes, services, or documents conform to specified requirements.

2. For ordering AWS standards, contact Global Engineering Documents, 15 Inverness Way East, Englewood, CO 80112-5776. Telephones: (800) 854-7179, (303) 397-2740; fax (303) 397-2740; Internet: [www.global.ihc.com](http://www.global.ihc.com).

3. A free copy may be obtained from AWS at <http://www.aws.org/certification/>.

## 4. Specifications for Qualification of Robotic Arc Welding Personnel

Tables 1 through 3 provide the specifications for the qualification of robotic arc welding personnel at the three levels designated by this standard. Table 1 lists skill requirements, experience and educational requirements, and training recommendations for a Level 1 (CRAW-L1) applicant. Table 2 lists skill requirements, experience and educational requirements, and training recommendations for a Level 2 (CRAW-O) applicant. Table 3 lists skill requirements, experience and educational requirements, and training recommendations for a Level 3 (CRAW-T) applicant.

To qualify at a specific Level, one must demonstrate the ability to complete the required performance objectives for that Level. Table 4 summarizes the requirements and at which level(s) they apply. AWS QC19, *Standard for the AWS Certification of Robotic Arc Welding Personnel*, details how personnel are certified and the procedures for maintaining certification.

The components for the specimen used to conduct the performance welding test (per AWS QC19) shall be of the dimensions and layout shown in Figure 1. Assembly of the components of the test specimen shall be as shown in Figure 2. Test welds shall be performed to the specifications shown in Figure 3 and shall comply with the requirements of AWS QC19.

---

**Table 1**  
**Performance Qualifications for Robotic Arc Welding Personnel—Level 1 (CRAW-L1)**

---

To qualify as a Level 1 Certified Robotic Arc Welding Operator (CRAW-L1), one shall meet the requirements in Sections A and B of Table 1. Section C lists training recommendations.

---

**A. SKILLS AND ABILITY REQUIREMENTS**

---

1. Have the ability to power up the robot and peripheral equipment such as all power sources, coolant pumps, and torch cleaners.
  2. Be capable of servicing the robotic welding torch and wire feeding system. This includes servicing the torch, contact tips, gas diffusers, insulators, nozzles, and drive rolls, and changing welding wire.
  3. Have a basic understanding of the robot as it is outlined in the company's routine maintenance procedures.
  4. Have a basic understanding of the robot control panel so that the robot can be brought back to operation after work has been performed inside the work cell. This includes resetting any safety circuits and making sure that the robot is in the home position.
  5. Have knowledge of general safety requirements.
  6. Have a working knowledge of all of the robotic peripheral equipment. Have the ability to perform routine and preventative maintenance on such items as the torch cleaner, wire feeder, torch mount, and torch cable support hardware.
- 

**B. EXPERIENCE AND EDUCATION REQUIREMENTS**

---

1. Have minimum of 1000 hours manual or semiautomatic arc welding experience.  
*Note: Hours consist of time on the job employed as a welder, and not actual arc time (i.e., time under hood).*
  2. Have a high school diploma or equivalent.
  3. Have good mechanical aptitude.
  4. Have good written and oral communication skills.
- 

**C. TRAINING RECOMMENDATIONS**

---

1. Obtain basic instruction in the operation of all robotic peripheral equipment.
  2. Obtain basic instruction covering the safe and proper operation of the robot's mechanical arm and control circuitry.
  3. Take a visual inspection course for the applicable product.
-

---

**Table 2**  
**Performance Qualifications for Robotic Arc Welding Personnel—Level 2 (CRAW-O)**

---

To qualify as a Level 2 Certified Robotic Arc Welding Operator (CRAW-O), one shall meet the requirements for Level 1, and shall meet the following additional requirements in Sections A and B of Table 2. Section C lists training recommendations.

---

**A. SKILLS AND ABILITY REQUIREMENTS**

---

1. Have the ability to visually inspect the welds on the component to the applicable standard and make changes as allowed by the welding procedure to bring the welds within specifications. The individual should have a strong welding background and should have a thorough understanding of the robotic program and its function.
  2. Have the ability to document information on any robot related problems and communicate them to the welding engineer or technician. Have good written and oral communication skills.
  3. Be capable of evaluating weld cross sections.
- 

**B. EXPERIENCE AND EDUCATION REQUIREMENTS**

---

1. Have minimum of 2000 hours or two years of arc welding experience, 1000 hours of which shall be manual or semiautomatic arc welding.  
*Note: This requirement does not imply actual arc hours but instead time working with the welding process in general.*
  2. Have any combination of post-secondary education and/or work experience totaling 3 years, with a minimum of 1 year work experience being required.
- 

**C. TRAINING RECOMMENDATIONS**

---

1. Obtain training to understand the use of the teach pendant.
  2. Obtain training to acquire the ability to evaluate weld quality when presented with a properly prepared cross-section sample.
  3. Continue education in robotic arc welding related disciplines.
  4. Complete robot operation courses provided by original equipment manufacturers or equivalent robot operation courses.
-

---

**Table 3**  
**Performance Qualifications for Robotic Arc Welding Personnel—Level 3 (CRAW-T)**

---

The person who qualifies as a Level 3 Certified Robotic Arc Welding Technician (CRAW-T) is ultimately responsible for the weld quality in their plant or department. To qualify as a Level 3, one shall meet the requirements for Levels 1 and 2 and shall meet the following additional requirements in Sections A and B of Table 3. Section C lists training recommendations.

---

**A. SKILLS AND ABILITY REQUIREMENTS**

---

1. Have the ability to make changes to the weld data, torch angles, electrode stickout, starting techniques, and other welding variables. Have an extensive welding background and a thorough understanding of the robotic interfacing system.
  2. Demonstrate a thorough understanding of all aspects of the robotic work cell. Demonstrate programming, robotic arc welding, seam tracking, fixturing, and any other welding or robotic related functions. Have the capability to enter the work cell and make changes to the weld program, main program, torch clean program, or any other related programs. Capable of fixture changes to improve part fit up and part locating.
  3. Be capable of performing file management tasks, such as saving, copying, and deleting program files.
  4. Demonstrate expertise in the welding operations including all of the arc welding robots, automated welding equipment, and all manual welding operations.
  5. Be responsible for the initial weld inspection and be familiar with the tools that measure the weldment quality.
  6. Have the ability to perform weld cross sectioning by cutting, polishing, and etching appropriate samples when necessary.
  7. Keep accurate and up to date records, including issuing revised weld procedures as needed.
- 

**B. EXPERIENCE AND EDUCATION REQUIREMENTS**

---

1. Meet all of the experience and education requirements from previous levels.
  2. Have a minimum of 3000 hours or 3 years arc welding experience.
  3. Have a two year Associates Degree in Welding/Robotics/Electrical or equivalent combination of appropriate education and experience.
  4. Hold current CWI certification (Certified Welding Inspector).
- 

**C. TRAINING RECOMMENDATIONS**

---

1. Obtain training in the proper operation of cross sectioning tools and related hardware such as plasma cutting and band saws.
  2. Obtain instruction in the applicable destructive testing methods used, such as macroetch or bend testing.
  3. Receive instruction in the operation of quality measuring tools, including applicable computer software for measuring weld cross sections.
  4. Complete programming courses offered by original equipment manufacturers or equivalent robotic programming courses.
  5. Become familiar with personal computers and relevant software.
-

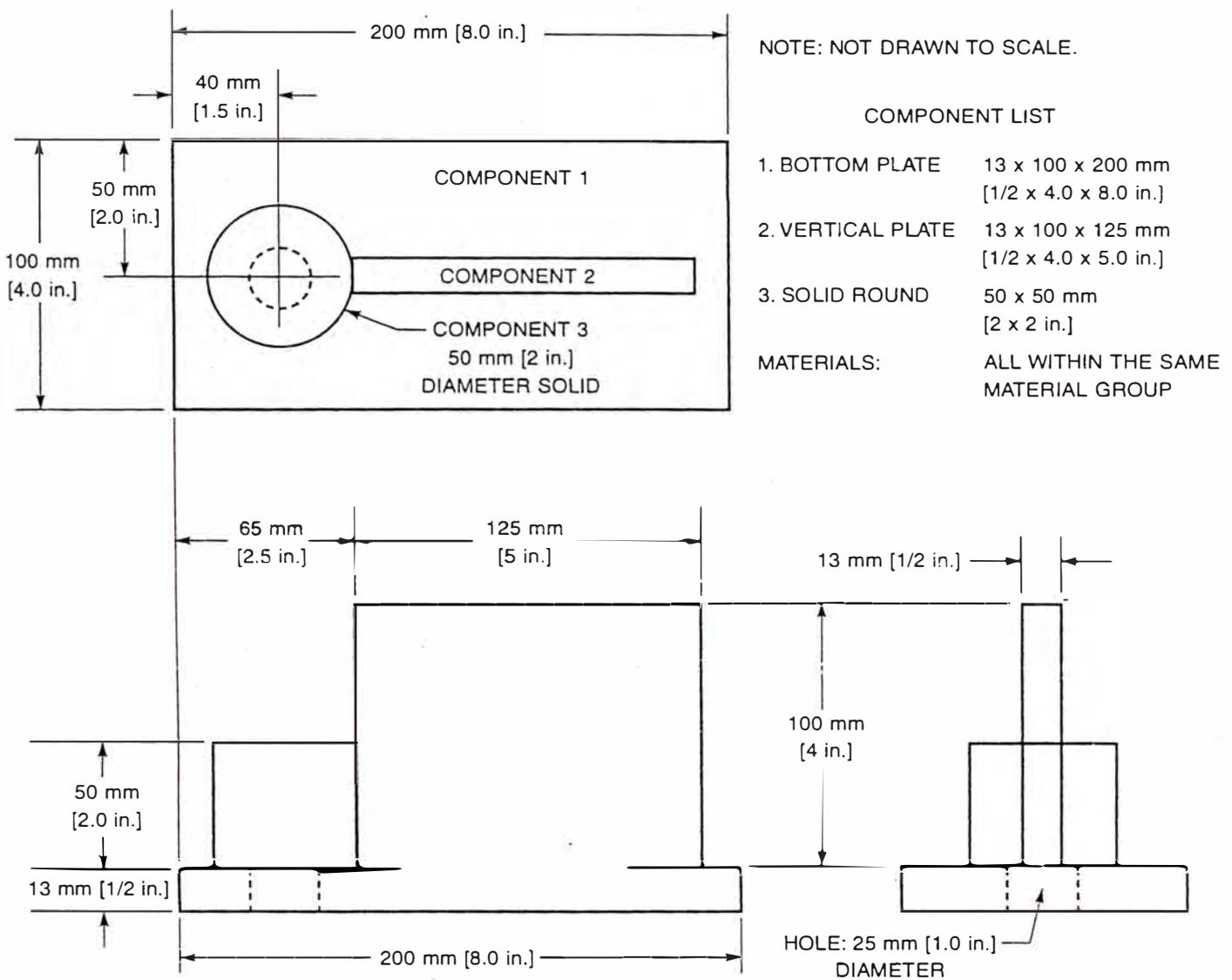
**Table 4**  
**Summary of Specifications for Robotic Arc Welding Personnel**

A. ABILITY TO PERFORM OR DEMONSTRATE:	LEVEL
1. Have the ability to power up the robot and peripheral equipment such as all power sources, coolant pumps, and torch cleaners.	1 2 3
2. Be capable of servicing the robotic welding torch and wire feeding system. This includes servicing the torch, contact tips, gas diffusers, insulators, nozzles, and drive rolls, and changing welding wire.	1 2 3
3. Have a basic understanding of the robot as it is outlined in the company's routine maintenance procedures.	1 2 3
4. Have a basic understanding of the robot control panel so that the robot can be brought back up onto the line after work has been performed inside the work cell. This includes resetting any safety circuits and making sure that the robot is in home position.	1 2 3
5. Have knowledge of general safety requirements.	1 2 3
6. Have a working knowledge of all of the robotic peripheral equipment. Have the ability to perform routine and preventative maintenance on such items as the torch cleaner, wire feeder, torch mount, and torch cable support hardware.	1 2 3
7. Have the ability to visually inspect the welds on the component to the applicable standard and make changes as allowed by the welding procedure to bring the welds within specifications. The individual should have a strong welding background and should have a thorough understanding of the robotic program and its function.	2 3
8. Have the ability to document information on all the robot related problems and communicate them to the welding engineer or technician. Have good written and oral communication skills.	2 3
9. Be capable of evaluating weld cross sections.	2 3
10. Have the ability to make changes to the weld data, torch angles, electrode stickout, starting techniques, and other welding variables. Have an extensive welding background and a thorough understanding of the robotic interfacing system.	3
11. Demonstrate a thorough understanding of all aspects of the robotic work cell. Demonstrate programming, robotic arc welding, seam tracking, fixturing, and any other welding or robotic related functions. Have the capability to enter the work cell and make changes to the weld program, main program, torch clean program, or any other related programs. Capable of fixture changes to improve part fit up and part locating.	3
12. Be capable of performing file management tasks, such as saving, copying, and deleting program files.	3
13. Demonstrate expertise in the welding operations including all of the arc welding robots, automated welding equipment, and all manual welding operations.	3
14. Be responsible for the initial weld inspection and be familiar with the tools that measure the weldment quality.	3
15. Have the ability to perform weld cross sectioning by cutting, polishing, and etching appropriate samples when necessary.	3
16. Keep accurate and up to date records including issuing revised weld procedures as needed.	3
B. EXPERIENCE AND EDUCATION REQUIREMENTS	LEVEL
1. Have minimum of 1000 hours manual or semiautomatic arc welding experience.	1 2 3
<i>Note: Hours consist of time on the job employed as a welder, and not actual arc time (i.e., time under hood).</i>	1 2 3
2. Have high school diploma or equivalent.	1 2 3
3. Have good mechanical aptitude.	1 2 3
4. Have good written and oral communication skills.	1 2 3
5. Have minimum of 2000 hours or two years arc welding experience, 1000 hours of which shall be manual or semiautomatic arc welding.	2 3
<i>Note: This does not mean actual arc hours but instead time working with the welding process in general.</i>	
6. Have any combination of post-secondary education and/or work experience totaling 3 years, with a minimum of 1 year work experience being required.	2 3

(continued)

**Table 4 (Continued)**  
**Summary of Specifications for Robotic Arc Welding Personnel**

7. Have minimum of 3000 hours or 3 years arc welding experience.	3
8. Have a two year Associates Degree in Welding/Robotics/Electrical or equivalent combination of appropriate education and experience.	3
9. Hold current CWI certification (Certified Welding Inspector).	3
<b>C. TRAINING RECOMMENDATIONS</b>	
	<b>LEVEL</b>
1. Obtain basic instruction in the operation of all robotic peripheral equipment.	1 2 3
2. Obtain basic instruction covering the safe and proper operation of the robot's mechanical arm and control circuitry.	1 2 3
3. Take a visual inspection course for the applicable product.	1 2 3
4. Obtain training to understand the use of the teach pendant.	2 3
5. Obtain training to acquire the ability to evaluate weld quality when presented with a properly prepared cross-section sample.	2 3
6. Continue education in robotic arc welding related disciplines.	2 3
7. Complete robot operation courses provided by original equipment manufacturers or equivalent robot operation courses.	2 3
8. Obtain training in the proper operation of cross sectioning tools and related hardware such as plasma cutting and band saws.	3
9. Obtain instruction in the applicable destructive testing methods used, such as macroetch or bend testing.	3
10. Receive instruction in the operation of quality measuring tools, including applicable computer software for measuring weld cross sections.	3
11. Complete programming courses offered by original equipment manufacturers or equivalent robotic programming courses.	3
12. Become familiar with personal computers and relevant software.	3



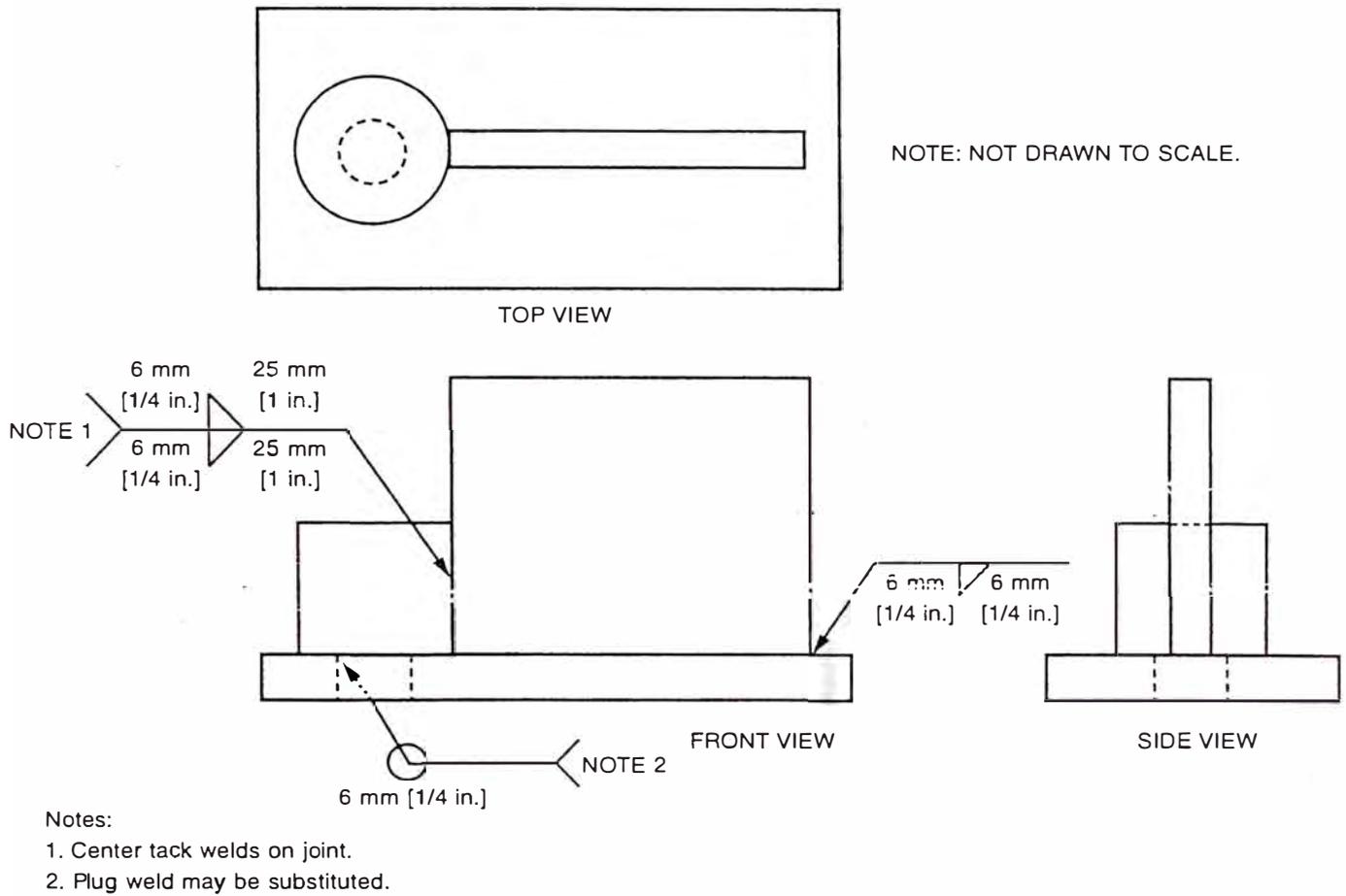
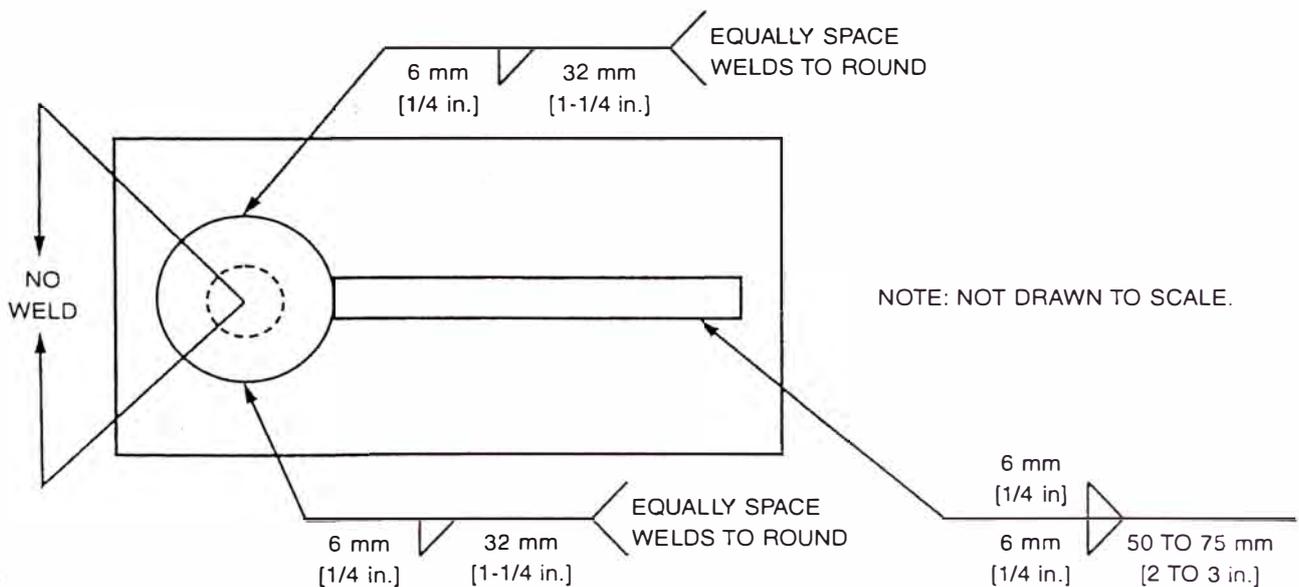


Figure 2—Assembly Specifications for Test Specimens



General Note: Intermittent welds shall have at least two increments.

Figure 3—Specifications for Test Welds

## Nonmandatory Annexes

### Annex A

# Guidelines for Preparation of Technical Inquiries for AWS Technical Committees

(This Annex is not a part of AWS D16.4M/D16.4:2005, *Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel*, but is included for informational purposes only.)

## A1. Introduction

The AWS Board of Directors has adopted a policy whereby all official interpretations of AWS standards will be handled in a formal manner. Under that policy, all interpretations are made by the committee that is responsible for the standard. Official communication concerning an interpretation is through the AWS staff member who works with that committee. The policy requires that all requests for an interpretation be submitted in writing. Such requests will be handled as expeditiously as possible, but due to the complexity of the work and the procedures that must be followed, some interpretations may require considerable time.

## A2. Procedure

All inquiries must be directed to:

Managing Director, Technical Services  
American Welding Society  
550 N.W. LeJeune Road  
Miami, FL 33126

All inquiries must contain the name, address, and affiliation of the inquirer, and they must provide enough information for the committee to fully understand the point of concern in the inquiry. Where that point is not clearly defined, the inquiry will be returned for clarification. For efficient handling, all inquiries should be typewritten and should also be in the format used here.

**A2.1 Scope.** Each inquiry must address one single provision of the standard, unless the point of the inquiry involves two or more interrelated provisions. That provision must be identified in the scope of the inquiry, along

with the edition of the standard that contains the provisions or that the inquirer is addressing.

**A2.2 Purpose of the Inquiry.** The purpose of the inquiry must be stated in this portion of the inquiry. The purpose can be either to obtain an interpretation of a standard's requirement, or to request the revision of a particular provision in the standard.

**A2.3 Content of the Inquiry.** The inquiry should be concise, yet complete, to enable the committee to quickly and fully understand the point of the inquiry. Sketches should be used when appropriate and all paragraphs, figures, and tables (or the Annex), which bear on the inquiry must be cited. If the point of the inquiry is to obtain a revision of the standard, the inquiry must provide technical justification for that revision.

**A2.4 Proposed Reply.** The inquirer should, as a proposed reply, state an interpretation of the provision that is the point of the inquiry, or the wording for a proposed revision, if that is what inquirer seeks.

## A3. Interpretation of Provisions of the Standard

Interpretations of provisions of the standard are made by the relevant AWS Technical Committee. The secretary of the committee refers all inquiries to the Chair of the particular subcommittee that has jurisdiction over the portion of the standard addressed by the inquiry. The subcommittee reviews the inquiry and the proposed reply to determine what the response to the inquiry should be. Following the subcommittee's development of the response, the inquiry and the response are presented to the entire committee for review and approval. Upon

approval by the committee, the interpretation will be an official interpretation of the Society, and the secretary will transmit the response to the inquirer and to the *Welding Journal* for publication.

#### **A4. Publication of Interpretations**

All official interpretations will appear in the *Welding Journal*.

#### **A5. Telephone Inquiries**

Telephone inquiries to AWS Headquarters concerning AWS standards should be limited to questions of a general nature or to matters directly related to the use of the standard. The Board of Directors' policy requires that all AWS staff members respond to a telephone request for an official interpretation of any AWS standard with the information that such an interpretation can be

obtained only through a written request. The Headquarters staff cannot provide consulting services. The staff can, however, refer a caller to any of those consultants whose names are on file at AWS Headquarters.

#### **A6. The AWS Technical Committee**

The activities of AWS Technical Committees in regard to interpretations are limited strictly to the interpretation of provisions of standards prepared by the Committee or to consideration of revisions to existing provisions on the basis of new data or technology. Neither the Committee nor the staff is in a position to offer interpretive or consulting services on: (1) specific engineering problems, or (2) requirements of standards applied to fabrications outside the scope of the document or points not specifically covered by the standard. In such cases, the inquirer should seek assistance from a competent engineer experienced in the particular field of interest.

## Annex B

# Bibliography

(This Annex is not a part of AWS D16.4M/D16.4:2005, *Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel*, but is included for informational purposes only.)

- (1) AWS D16.1, *Specification for Robotic Arc Welding Safety*
- (2) AWS/NEMA D16.2, *Standard for Components of Robotic and Automatic Welding Installation*
- (3) AWS D16.3, *Risk Assessment Guide for Robotic Arc Welding*
- (4) AWS AWR, *Arc Welding With Robots: Do's and Don'ts*
- (5) AWS *Safety and Health Fact Sheets*
- (6) ANSI B11.1, *Safety Requirements for Construction, Care, and Use of Mechanical Power Presses*
- (7) ANSI B15.1, *Safety Standard for Mechanical Power Transmission Apparatus* (with ASME)
- (8) ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes* (published by the American Welding Society)
- (9) NFPA 79-1994, *Electrical Standard for Industrial Machinery*
- (10) RIA 15.06, *American National Standard for Industrial Robot and Robot Systems*
- (11) UL 1740-95, *Safety Standard for Industrial Robots and Robotic Equipment*

## List of AWS Documents on Robotics and Automatic Welding

Designation	Title
D16.1	<i>Specification for Robotic Arc Welding Safety</i>
D16.2	<i>Guide for Components of Robotic and Automatic Welding Installations</i>
D16.3	<i>Risk Assessment Guide for Robotic Arc Welding</i>
D16.4	<i>Specification for the Qualification of Robotic Arc Welding Personnel</i>
AWR	<i>Arc Welding with Robots: Do's and Don'ts</i>

For ordering information, contact Global Engineering Documents, an Information Handling Services (IHS) Group company, 15 Inverness Way East, Englewood, Colorado 80112-5776; telephones: (800) 854-7179, (303) 397-7956; fax: (303) 397-2740; Internet: [www.global.ihs.com](http://www.global.ihs.com).



Home | MyFabricator | The Fabricator Blog | Subscriptions | Advertising Info | News Feeds | Article Archi

Welding > Robotic Welding Tech Cell > Robotic Welding Article List > Robotic Welding Article

## Tech Cells

### Welding

Robotic Welding  
 Aluminum Welding  
 Arc Welding  
 Art and Sculpture  
 Consumables  
 Cutting and Weld  
 Prep  
 Laser Welding  
 Metallurgy  
 Repair and Field  
 Welding  
 Resistance Welding  
 Welding Inspection

### Assembly

Bending  
 CAD/CAM Software  
 Cutting  
 Finishing  
 Folding  
 Hydroforming  
 Machining  
 Materials Handling  
 Metals/Materials  
 Power Tools  
 Punching  
 Roll Forming  
 Safety  
 Shop Management  
 Stamping  
 Testing & Measuring  
 Tool & Die  
 Tube & Pipe Fabrication  
 Tube & Pipe Production

### PRACTICAL WELDING TODAY®

## Welding robots and lean manufacturing learn to play together

By Jim Berge, Contributing Writer  
 October 11, 2005

With careful analysis and planning, automation can be an integral, cost saving component of lean manufacturing.

*Lean*, one of the hottest buzz words in manufacturing, has to do with cutting the fat out of manufacturing processes, including minimizing work-in-process (WIP); eliminating processes that add no value to the product; increasing inventory turns; and building into processes the flexibility to change from one part or process to another in the least amount of time. These all are great ideas, but why haven't companies been implementing them all along?

Many manufacturing companies historically have been able to maintain bloated or inefficient methods because of brand strength or huge profit margins. However, global competition is causing these companies to ask questions about how to survive in the coming decades. Something has to change. It's become too difficult to lower prices enough to beat the competition and satisfy customers with the status quo.

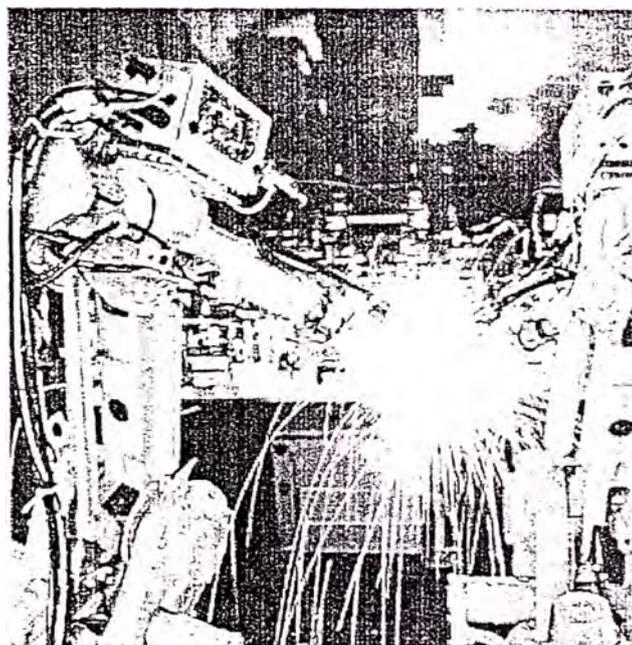
The lean paradigm addresses these concerns, and it works, which is why it has taken root and is growing quickly. But an unfortunate side effect of moving toward lean manufacturing is the trend to eliminate robotic automation, as if robots somehow are contrary to the goals of lean manufacturing. Properly planned for and strategically implemented in a lean environment, robots can effectively cut costs, increase throughput, and improve profitability. Robotic technology has come of age, and it will only become more flexible, more affordable, and more applicable to modern methods as time goes on and technology advances.

### First, the Proper Foundation

Before introducing automation, you first must understand your processes thoroughly. Introducing automation and robots into an inefficient process simply might help you be inefficient with less labor, even though you may eliminate cost from your product and maybe even experience a decent return on investment (ROI). But a time will come when you've removed as much inefficiency (excess material handling, WIP, and unnecessary labor) as possible. Then what?

The first step is to know where your costs are. How much are you *really* spending on material handling? How much does it *really* cost you to keep those stacks of inventory between processes? Can some simple material handling devices, such as robots, reduce or eliminate human labor? Can rearranging your machinery or product flow eliminate inventory stacks all around the factory?

Ninety percent of the factories I visit have significant WIP sitting between machines and in the aisles, and every piece of product required someone to move it to its present location and to move it again to the next place or machine—a costly process.



processes. A quote for an expensive flexible fixture is highly visible, and represents something you have to write a check for, whereas the salary and benefits paid to a technician to perform continuous changeovers are absorbed in overhead, and are therefore invisible. Remember, understand your processes and where your costs really lie.

Even in high-volume applications, it still is necessary to maintain flexibility, because design changes, model-year changes, and other product changes always are lurking. Although they may take longer, flexible or quick-change tooling can be a worthwhile investment.

Automation also increases throughput, decreases non-value-added labor, and makes your processes leaner by providing:

- Status lights in the robot cell to alert operators when the robot is stopped.
- Schedule of parts being welded, part in queue, and parts recently finished
- Tracking and logging of weld times, arc times, changeover times, overall cycle times, downtimes, and reasons for downtime.
- A data analysis system — Don't just collect data and put it in a file. Learn from the data and work to solve the problems and become even leaner.
- All pertinent data available in the robot cell—programming manuals, operator manual maintenance manuals, help screens, troubleshooting tips, even remote monitoring by the robot supplier to help solve service problems as quickly as possible.
- Offline programming to program new or updated parts while the robot is in production

Think intelligently about whether robotic technology can make your lean implementation even more effective. Discuss these ideas with your robotic suppliers, who can help you identify all ways that robots may be able to optimize your efforts to trim the waste in your environment and help you become as lean as possible.

Robots and lean manufacturing really can learn to play together.



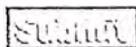
*Jim Berge is Western regional manager of Wolf Robotics Inc., 4600 Innovation Drive, Fort Collins, Co., 80525, 970-222-7044, jim.berge@wolfrobotics.com, <http://www.wolfrobotics.com/>.*

**How Do you Rate This Article?** \_\_\_\_\_

Poor    1    2    3    4    5    Great

Comments:

Email address (optional):



**Want more information?**

Learn more about this company:

- Wolf Robotics

Robotic welding technical articles

- The Pareto principle at work By: Jim Berge, Contributing Writer
- Optimizing flow through robotic welding workcells By: Jim Berge, Contributing Writer
- Construction Junction
- Get the most out of your laser By: Jeremy Barr, Contributing Writer
- More robotic welding articles

**Robotic welding related seminars, workshops, conferences, and tradeshow**

- FABTECH International and The AWS Welding Show
- Operational Excellence Seminar

**Robotic welding books, software, video**

- Automating the Welding Process
- [View more robotic welding related materials](#)



[Discuss Article](#)



[Get Newsletter](#)



[Send to a Friend](#)



[Print Version](#)



[More from this Author](#)



[Order Reprint](#)

Contact us at: FMA Communications, Inc. ☐ 833 Featherstone Rd. ☐ Rockford, IL 61107 ☐ 815-399-8700 ☐ E-mail: [info@fma.com](mailto:info@fma.com)



© 2006 FMA Communications, Inc. All rights reserved.

[Privacy Policy](#)

[Legal Stuff](#)

5

Inicio | Acerca de | Contacto | Herramientas | Noticias | **Programación y simulación de células de soldadura robotizadas**

<b>M e n ú</b>
Empresas y productos
Guía del sector
Información técnica y editorial
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <a href="#">Noticias</a></li> <li>▪ <a href="#">Hemeroteca</a></li> <li>▪ <a href="#">Informes especiales</a></li> <li>▪ <a href="#">Programa editorial</a></li> </ul>
Servicios

MetalUnivers - 07 - Mayo - Junio 2008 - Tecnimama

[Adsby Goooooogle](#)

**Equipo de soldadura**

Incluir arco, costura, punto, puleadoras y más.  
[www.MachineTools.com](http://www.MachineTools.com)

Nuevo software de Panasonic

# Programación y simulación de células de soldadura robotizadas

**Arco**

Learn How to Weld in a Sitting on More Oil Than the Middle East.  
[www.DailyWealth.com/Oil\\_Rush](http://www.DailyWealth.com/Oil_Rush)

**CNC Welding & Cutting**

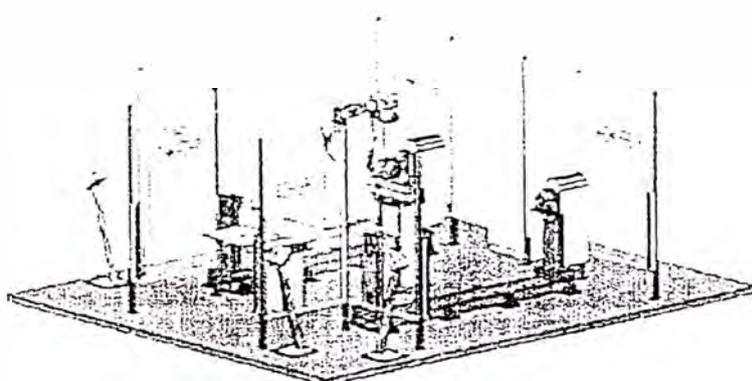
Machine. Cut or weld shapes auto-matically. Uses your PC.  
[www.torchmate.com](http://www.torchmate.com)

Inser Robótica distribuye en exclusiva el DeskTop Programming System de Panasonic, un revolucionario sistema CAD-CAM-CAE de fabricación que conecta directamente el departamento técnico con el departamento de producción de cualquier empresa.

**Tig Welding Class on DVD**

Be trained one on one from a Certified Aerospace Welder.  
[www.weldpro.us](http://www.weldpro.us)

Redacción: MUA



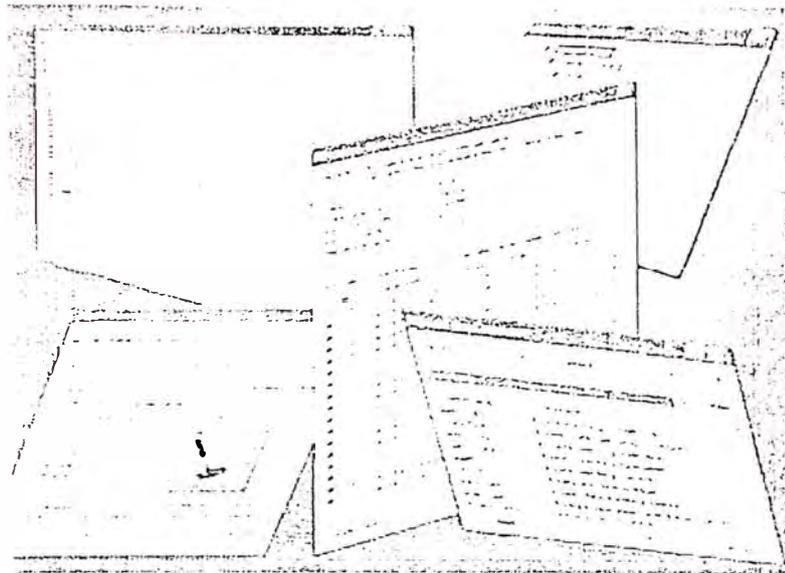
Dibujo DTPS

Panasonic ha desarrollado este sistema ante la creciente demanda de una mayor flexibilidad, aumento de la rentabilidad y facilidad de manejo de los sistemas robotizados. Desde un entorno CAD en un PC, idéntico a la instalación real (instalación, utillajes, pieza) se realiza la programación óptima del sistema pudiendo ver los resultados simulados en tiempo real (CAM) y posteriormente volcarlos al robot para la fabricación de la pieza. De la simulación se obtienen tiempos de ciclo y longitudes de cordones con lo que es posible valorar el costo de la operación de soldadura y mejorar la planificación de la producción (CAE).

**Pinzas de soldadura**

Pinzas de soldadura y repuestos brazos, electrodos, empuñadora  
[www.helu-service.de](http://www.helu-service.de)

[Advertise on this site](#)



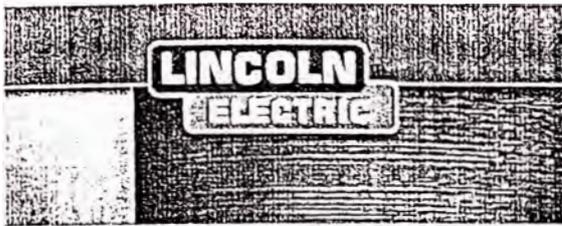
Entre las numerosas ventajas que este sistema aporta a la empresa encontramos:

- Reducción de los costes y plazos de entrega.
- Optimización de los ciclos de trabajo del robot.
- Eliminación de colisiones del robot en el "teaching".
- Posibilidad de trasladar programas entre distintas células de fabricación.
- Durante la programación, el sistema sigue fabricando, eliminando así tiempos muertos y haciendo económicamente viables las series cortas.
- Prediseño de utillajes sin que interfieran con las trayectorias del robot.
- Planificación del proceso, definiendo las fases necesarias para el mismo.
- Posibilidad de generar programas parametrizados de piezas viendo los resultados simulados en tiempo real, con lo que es posible valorar el costo de la operación de soldadura.
- Sistema "backup" de programas que hace virtualmente infinito el número de programas del robot (dependiendo de la capacidad del disco duro del PC)..
- Curva de aprendizaje del sistema muy corta, ya que el comportamiento del sistema y el interface es similar al del robot.
- Posibilidad de convertir programas de distintos modelos de robots Panasonic y transferirlos entre distintas instalaciones (para la misma pieza).

Inser Robótica entrega el programa ya personalizado para cada cliente y su sistema robotizado, con modelos 3D de la instalación y utillaje referencia del cliente ajustados a la instalación real para trabajar directamente, sin retoques. Incluye licencia de uso y curso de formación.

#### Empresas relacionadas...

- Inser Robótica, S.A.



PRODUCTS KNOWLEDGE INDUSTRY FOCUS COMPANY

Quick Links

ARTICLES ASK THE EXPERTS TRAINING CUSTOM SOLUTIONS

Articles

Latest Articles

Search Articles by Topic

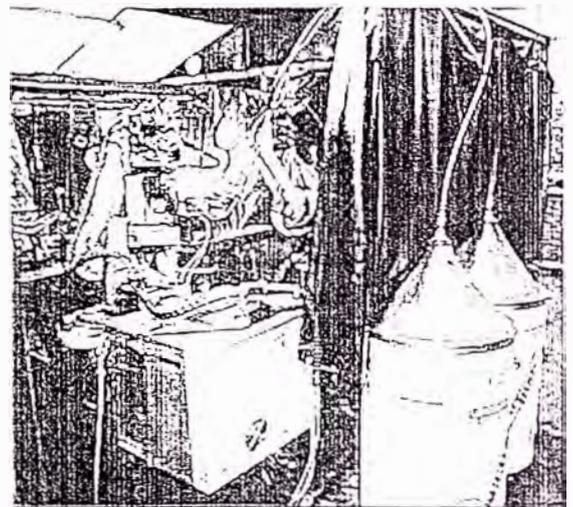
View All Articles

## Purchasing Your First Robotic Welding System



If the welding industry has anything to learn from the past decade, it is that the stakes of doing business have permanently been raised. The 1990's were characterized by an enhanced emphasis on quality, reducing costs to compete in a global market, optimizing floor space for maximum output, training and maintaining a skilled workforce. As a result, the major question for the new millennium is not if any particular metal fabricator will adopt robotic welding technology, but rather when and how. Automation will be a matter of survival, not only for large shops creating a high volume of pieces, but for the small fabricator, for whom the ability to raise productivity while reducing costs will determine the actual viability of his business.

During the decade of the 1990's, the number of new arc welding robot installations in North America grew at an average rate of 12 percent per annum. This growth continues to accelerate, as per the latest available reporting; the numbers for the first half of 1999 indicate that arc welding robot installations were up 32 percent over the same time period in 1998.



More often than not, first-time buyers of robotic systems approach the purchase decision with trepidation. They are concerned about making a mistake—a big, expensive mistake. To address this fear, we must dispel the myths surrounding robotics in general, and specifically, robotic welding systems.

### The Myths

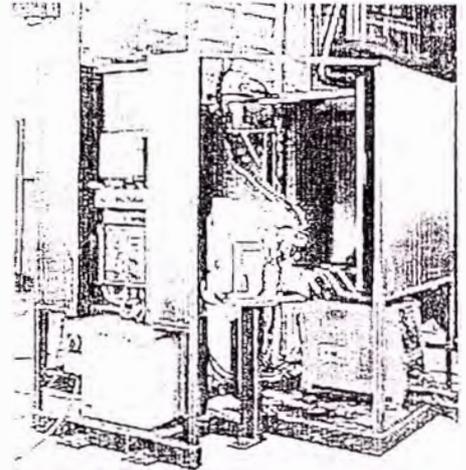
1. It takes a "rocket scientist" to program a robot.
2. Only high-quantity production runs justify installing a robotic welding cell.
3. Installing a robot will solve all welding quality problems.
4. The robot operator must be a highly trained, skilled and compensated employee.
5. Robotic welding cells are very expensive and difficult to cost

justify.

6. A robot can weld any part that can be welded manually or semiautomatically.
7. Robots cannot be used to weld very large parts or assemblies.
8. The choice of a specific brand of robotic welding cell will be critical to success.

### The Realities

1. Programming a robot is very simple. Even workers who must overcome a language barrier can learn to program a robot in two days, thanks to the simple interactive screen on the pendant.
2. It is not necessary to dedicate a robot to a single task such as making only one piece part. With the number of welding parts programs that can be stored in a robot control unit's memory, it is possible to go from one part to another part very quickly if the tooling nests are properly designed for quick change. Several different parts can be made in the same welding cell in a given day.
3. No robot can solve a welding quality problem all by itself. If the parts are not designed properly, the piece parts are not made properly, or the welding joints are not properly prepared or presented to the robot, there will be problems with quality.
4. Becoming a highly skilled welder takes years of experience, training and practice, whereas a robotic welding cell operator only has to load the part, press the appropriate buttons to activate the machine, and then unload the part. The training of a robot operator can literally take less than an hour.
5. Following the market trends of the hand calculator and the desktop computer, the actual dollar cost of a robotic welding cell has dropped dramatically in the past 10 years. During the same period software capabilities, programming ease, motion speed and accuracy have all been enhanced. The upshot of this is, that for a much lower cost, a robotic welding cell now offers far superior performance.
6. It is not true that a robot can weld any part that can be welded manually or semiautomatically. Clamping requirements, access problems or specific positioning requirements may make the use of a robotic welding cell impossible or impractical.
7. Robots can be put on tracks or gantries, giving them the ability to weld parts that are 40 to 50 ft long and 8 or 10 ft wide.
8. Software support and expert part design assistance will help to provide success in robotic welding applications. In most cases, a specific piece of hardware will not be a key success factor. Application expertise, however, is critical.



## Making the Decision

Once the myths about robotic welding cells have been debunked, a company will be ready to evaluate the benefits vs. actual costs. It cannot be stressed too strongly that this process will be most effective if it is done in conjunction with the proposed robotic cell vendor. Involving the vendor in the initial stages of piece part design will greatly enhance the fabricator's application of robotic technology to specific product line and production needs. Reputable vendors are happy to provide this assistance; they know that the successful implementation of a robotic welding system resides not in the hardware itself, but in understanding and meeting the fabricator's production needs.

The decision-making process begins with a detailed review of the following items: the parts to be welded; weld joint accessibility; repeatability of the parts; tooling nest (or fixturing) requirements; ways to compensate for distortion; and determination of the welding process to be used.

As the decision process evolves, the vendor and the fabricator will continue working together to determine the appropriate system accessories, including safety devices, the optimal layout for the robotic cell, manpower and training requirements, and service and maintenance requirements (internal vs. outside vendor support).

The robot cell layout must consider not just providing space for the work motion device, power source, robot controller and wire feed package, but how the piece part is delivered to the area, and how the finished part leaves the area. Work flow simplicity characterizes a good cell layout.

## Watch Out for Pitfalls

It should be clear by now that the vendor who views the order for a robotic welding system as a one-time-opportunity sale will not provide the total support net that is key to the customer's success. A vendor who understands the fabricator's business, and how to produce that fabricator's product with or without robotics, will provide vital input during the lengthy decision and design phase, as well as essential ongoing support after the system is on-line.

While it is true that most robotic welding systems are much simpler and easier to use than the average fabricator might think, it is also true that the move to automated welding systems presents a set of problems that did not exist (or at least were not significant) when a welder controlled the torch. The skilled welder is able to compensate for sloppy or ill-designed fixtures, varying trim lines and dimensions of

piece parts. An experienced welder is also capable of overcoming problems with the welding equipment, wire delivery or the shielding gas supply.

Robotic welding systems demand closer attention to quality in the piece part manufacturing process. In addition, clamping and fixturing must be absolutely precise. These requirements simply point out the importance of considering tooling nest design issues early in the purchase decision process.

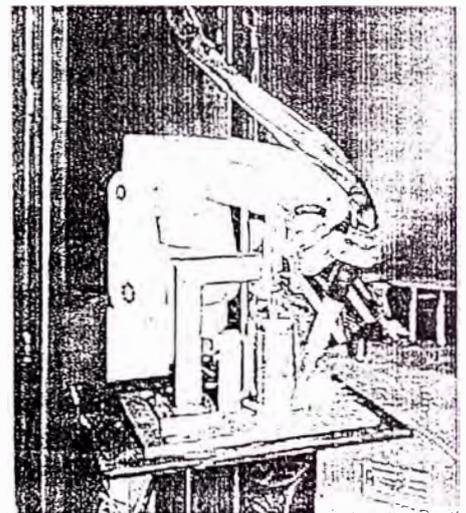
When a part is fixtured and the production tolerances become apparent for the first time, a human operator can make a choice between adjusting welding parameters and technique, or rejecting the parts. Now, robotic welding systems can incorporate vision capabilities that provide for adjusting electrode position and welding parameters to permit quality automated welding even on parts with variations.

### Cost Justification

When the proper decision-making process is followed, it is often possible to justify the cost of a robotic welding system by relying upon somewhat conventional measures. This has become truer in the past decade, as robotics have offered increasingly better performance at sharply lower prices, while labor and benefit costs have continued to rise.

The rigorous training necessary to produce skilled welders, the relative scarcity of trained welders in many regions of the country, and the potential effects of worker turnover are seldom-considered welding costs. The economic consequences of these factors may be subtle, but they are nonetheless significant.

The problem of finding enough highly skilled welders to fill a sudden, large order, has affected many companies in our industry at one time or another. Today, in fact, fewer new welders are being trained, and many experienced welders are approaching retirement. Any effort to cost-justify a robotic welding system should take into account the relative ease (and minor expense) of training an individual to load and unload a welding cell. This can take a matter of minutes or hours vs. the many years needed to develop a fully qualified welder operator. The scarcity of highly skilled labor means we must also factor into our cost-justification scenario the cost of poor quality, including rework, scrap and, most important, customer dissatisfaction.



Worker and environmental safety factors give robotic welding systems another edge in the cost-justification process. Failure to comply with OSHA and EPA standards can be expensive. Lastly, developments in

electrode technology and welding torches, when combined with automation enhanced with vision systems, permit welding at speeds great enough to achieve overall cost reductions.

### **Production Increases**

In California, a small manufacturing company that makes creepers for automotive mechanics suddenly experienced a large increase in the volume of orders for its product. With a permanent work force of about 20 employees, the company owner immediately tried to hire enough skilled welders to respond to the demand. He was unable to do so and resorted to ordering a robotic welding system that was shipped and installed within ten days. With some easy programming, simple tooling and straightforward operator training, the robot was productive very quickly. Using the system, one operator is able to weld as many creepers as four skilled welders previously did. For an investment of approximately \$65,000, the creeper manufacturer was able to quadruple the productivity of a single worker and meet his customer's needs.

In a different type of application, a company that makes the steel crossbeams that support the bodies of tractor/trailer rigs ordered a robotic welding system. In this case, the company developed its own automated tooling to "customize" the performance of a standard robotic welding cell to its specific needs. Employing several hundred people, it is a significantly larger company than the creeper manufacturer. The steel beam manufacturer invested about \$135,000 in the robotic welding cell, and approximately another \$50,000 to \$60,000 to develop the automated tooling and fixturing. With this investment, productivity was improved more than 300 percent, and quality is excellent.

### **Conclusion**

Quality, productivity and safety-this is the triad of competitiveness. Robotic welding technology now delivers all three at a lower cost, with more flexibility and with greater ease of implementation than most of us could have imagined ten years ago. Remember, the stakes are higher than ever before. It is time for responsible fabricators, large and small, to discard the myths about robotics and investigate the realities for themselves.



Lincoln Electric  
www.lincolnelectric.com

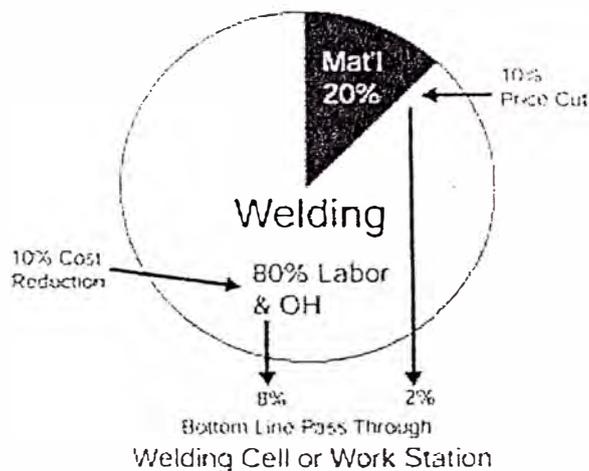
## Justifying the Cost of a Robotic Welding System

Do you think your shop is too small for a robotic welding system? Do your calculations show that you are not producing enough parts to consider automation? Do you think you would never be able to justify the cost of a system to top management? If you answered "yes" to any of the above questions, you may be surprised to note that shops who may have never considered automation before, are now turning to robotic systems in record numbers.

The reasons? First, a changing economy is revealing that there are not enough welding operators in today's marketplace. Rather than attending vocational schools to be trained as welders, more and more of this country's high school graduates are headed to college. This means that there are not enough young welding operators coming in to the industry to replace those that are retiring. Because of this, companies are spending an incredible amount of money recruiting and training welders - much more money than many companies realize.

Second, robotic welding in the past was thought of as something only for high volume part producers such as automotive suppliers. But, technology has come a long way in the last few years and now rapid part changeovers and interchangeable tooling nests (or fixtures) mean that even a company that produces small batches of a number of different parts, may be able to take advantage of automation.

### Welding Fabrication – Associated Costs

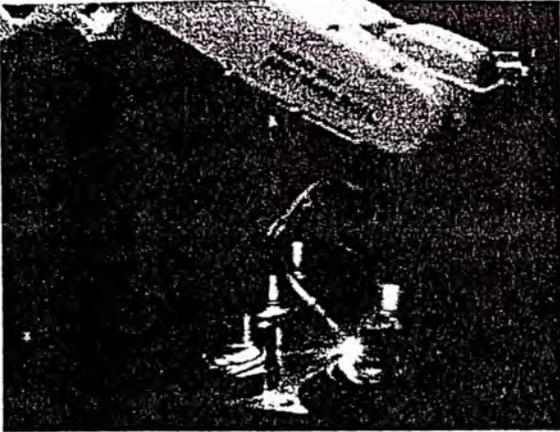


The goals of automation should be to decrease manufacturing cost or increase weld quality. In this article, we will explore some of the reasons companies may be able to justify the cost of a robotic welding system. With the cost of a complete cell starting at approximately \$60,000 - it may be more affordable than you think.

#### 1. Justify Costs By Calculating a Fully Burdened Labor Rate

Most companies look at what they pay their employees in hourly wages plus benefits and determine that it is far more cost effective than investing in a robot. What many don't factor in is the fully burdened labor rate. This rate takes into consideration such things as the cost of the building, taxes, utilities, transportation, etc. - all the costs of doing business. The company which looks at a fully burdened labor rate might be surprised to note that it could be as much as \$80 to \$90 per hour per employee as compared to the employee's direct rate of pay which may only be \$35 to \$40 an hour.

#### 2. Justify By Realizing Added Productivity



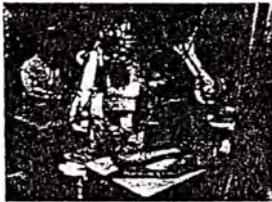
With one setup, six parts are welded

Of course, one of the main ways to justify the cost of a robot may be to look at the productivity that your company could receive versus what you are currently achieving with your manual or semi-automatic welding systems. In many cases, welding with a robot is two to five times as fast as other methods. This means that every hour, there could be two to five times the number of parts completed than you are doing now. For example, the Tandem MIG system, which uses two arcs in unison, coupled with robotics has helped several automotive component manufacturers greatly increase plant productivity.

And, if you have a difficult application, don't automatically assume that robotic welding is not for you. Today's newest fixtures can hold up to 20 parts which means that integral designs and difficult geometry's can easily be accommodated.

### **3. Justify by Recognizing Reliability**

As much as you hate to admit it, employees can sometimes be unreliable - they don't show up for work or have bad days. Robots are reliable - they are there everyday and can work numerous hours without taking a break or stopping for lunch. In addition, you will not experience employee turnover with robots - they are loyal to your company and will not leave after they've been trained. Everyone from steel furniture manufacturers to automotive firms have found this to be true.



Productivity soars in minimal floorspace with one worker and two welding robots.

### **4. Justify by the Ability to Increase Volume**

When you get a new contract or decide to expand the scope of your operations, robots can easily handle the extra volume. Also, since they need less floor space than an employee does, as business increases, you don't have to worry about building, renting or buying extra space. In most cases, robots show a return on investment in six months.



Each part can be welded exactly the same

### **5. Justify by Eliminating Variability**

A robot will put the same weld in the same spot every time. Because of this, it is usually able to help a company realize increased quality and efficiency. With robotics, companies invest in making good parts upfront, not trying to correct problems after they occur as is the case with manual or semi-automatic welding in many instances. Also, with robots, a visual inspection is usually all that is needed to check the part - semi-automatic or manual welding may require additional testing such as random destructive testing, radiography or a dye penetrate test.

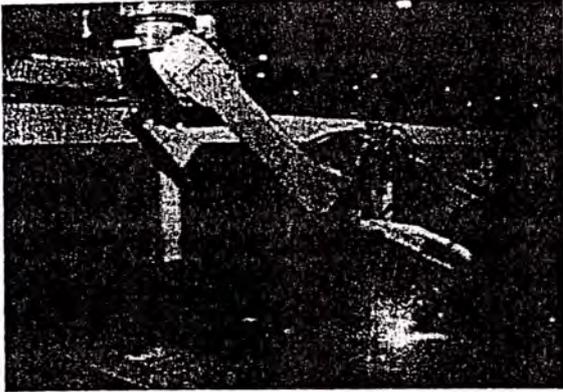
### **6. Justify By Calculating the Increased Number of Parts**



When interfaced with a turntable, complex parts are quickly welded downhand.

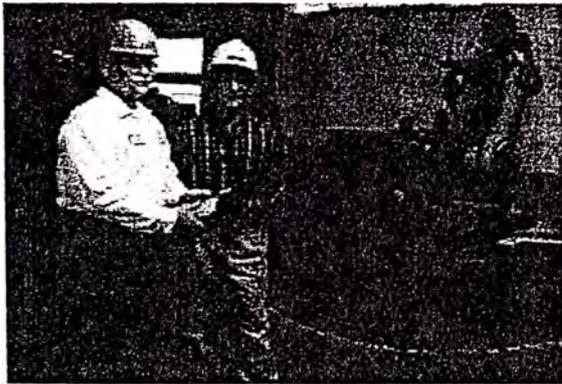
As was discussed above, some companies feel that they don't have the volume of parts to warrant investing in a robotic system. But, tooling is now being designed for rapid changeovers. For instance, companies are taking advantage of U-shaped tables that can surround the robotic welding unit and offer room for a number of different tooling nests. The robot can be programmed to run all day in position A with a particular set of tooling nests, or it can change between positions A, B and C - doing small batches of each part. These tooling nests have also been designed for rapid changeovers so that a couple of motions will allow the operator to completely change out one tooling nest for another. And, since the robot can store many different programs in its memory, the operator just has to change from one program to the other and the robot will be welding a completely different part.

### **7. Justify By Examining Savings in Filler Metal**



A robot on a gantry means big parts are no problem.

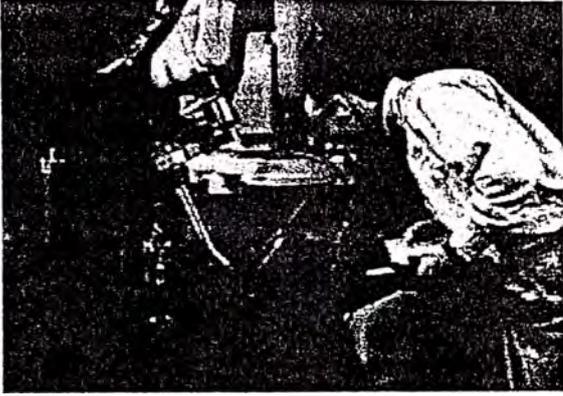
Investing in a robot reduces the amount of overwelding that occurs with manual processes. When left up to the operator, a margin of safety is usually built into every weld he makes. The end result is that the operator usually puts down more filler metal than necessary and will also make the bead longer than it needs to be. A robot is much more exact and will lay down only the amount of filler metal that is absolutely necessary. In addition, a robotic process usually equates to less spatter and less wasted filler metal. For example, an automotive stamping company helped justify the purchase of two robotic system with just the savings of less metal finishing (grinding) on the completed weld assemblies.



Students learn quickly with a few hours of instruction

### **8. Justify by Reducing the Cost of Training**

As was already established, it is difficult to find trained workers in today's market. What is even more challenging is in environments where code work is required, where welders have to constantly be re-qualified and keep up their skills. Some companies have gone as far as providing their own training facility on-site. As compared to paying a skilled welder, it can be less expensive to hire someone who can simply load and unload the robotic welding fixtures.



The Teach Pendant makes programming easy.

### **9. Justify by Improved Manufacturing Accountability**

Today's available robotic software allows companies to improve the tracking of manufacturing processes. One example is arc data monitoring software, which monitors, records and reports weld data on a "real time" basis. This can be done over the Internet (Ethernet) to a central location in the plant. A second software program is auto-error recovery that provides for a fast recovery from an unexpected robot fault should one occur on the production floor. Lastly, password protection with logging will provide a running summary of any changes that were made in the robotic welding process during actual production time. All of these software packages are designed to help companies maintain high quality standards with new or changing personnel on the production floor.

### **Closing**

Hopefully these justification tools will help you be able to make a decision to use automation in your facility. In many cases, companies should be looking at automation as a question of "when" and not "if." If you are going to install a robot for the first time, make sure you look for a reputable manufacturer, such as The Lincoln Electric Company to work closely with you to design a system custom-tailored to your individual needs. Technical support and training are important to the success of any welding automation project. Lincoln's automation systems come with a 60-day money back guarantee and over the last ten years of selling robotic welding systems, Lincoln has not yet had one system returned. Keep in mind that the goals of automation should be to decrease manufacturing cost or increase weld quality - if you can achieve that with robotics, justification may be simple.



EFAQ

o Fax Nr./No	00.51.14. 520508	Von/From Fax (11) 4392-6092 ☎ (011)4392-6090	
		e-mail: kunioshi@kuka.ind.br	
ne	Ricardo Pasco	Name	Roberto Kunioshi
/Dept		Abt./Dept.	Managing Director
Company:.	FIMA		KUKA Automação do Brasil
	Lima - Peru		Rua Carlos Ayres, 542, S. B. C.
t/Page 1 von/of 8		Datum/Date	21/06/00

Subject: Your fax to KUKA in Germany, 20/06/00

Dear Mr. Pasco,

According to our telephone conversation today, please find enclosed copy of our catalogues about the arc welding package and robots.

Our main target is to develop with you the necessary system or cell to your production needs.

KUKA Automação do Brasil is a KUKA Schweissanlagen GmbH subsidiary. We are responsible for the South America Market, since 1.996.

Our facility has 2.200 sq. m and we have Engineering, Installation and Service team locally. For the robots, we have installed a complete training centre and spare parts.

Please send us the drawings of your main parts to be welded, informing the production rate and the number of shifts.

If you need further information, don't hesitate to call me. The directions are in the fax head.

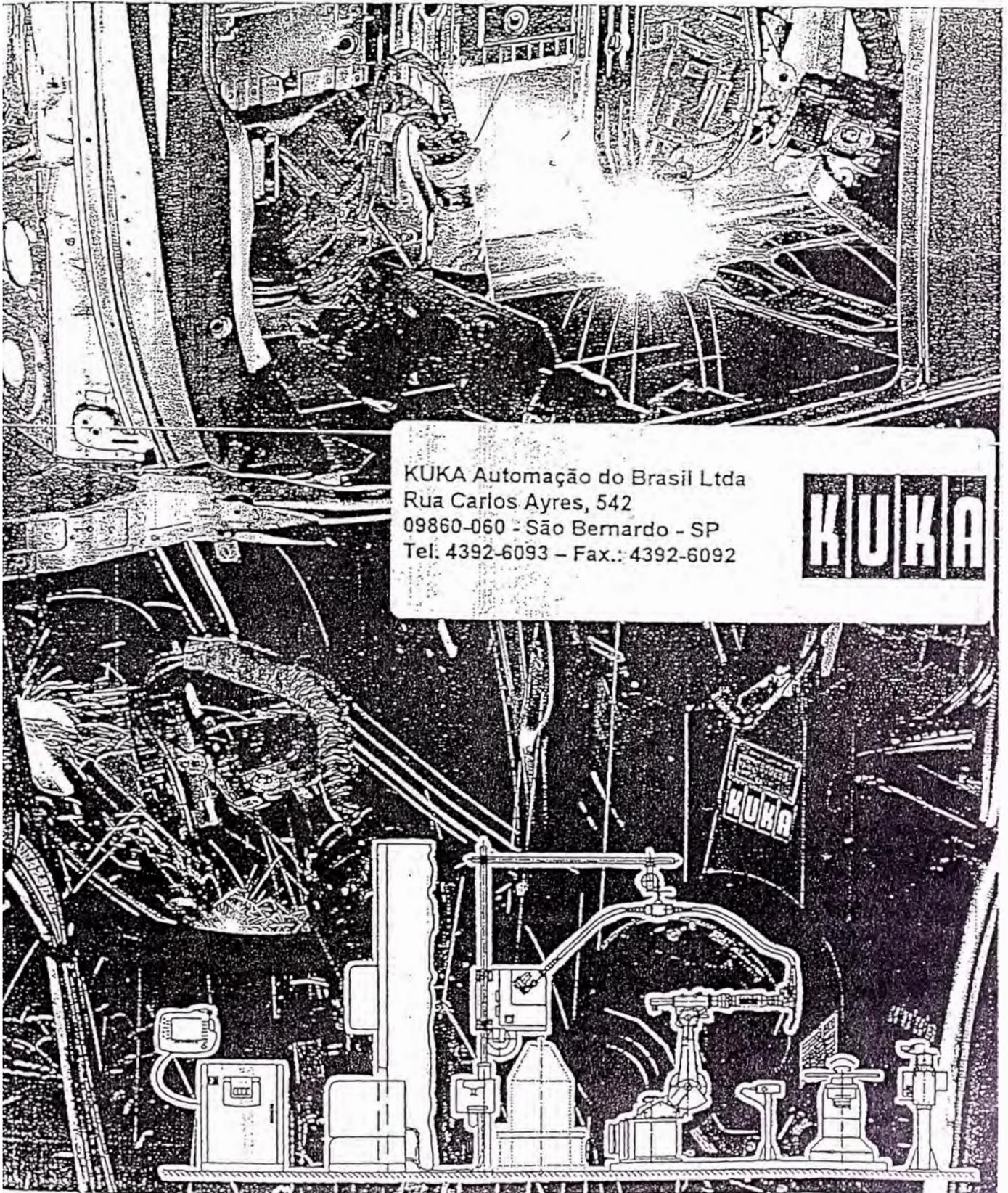
Best regards,

KUKA Automação do Brasil

R. Kunioshi



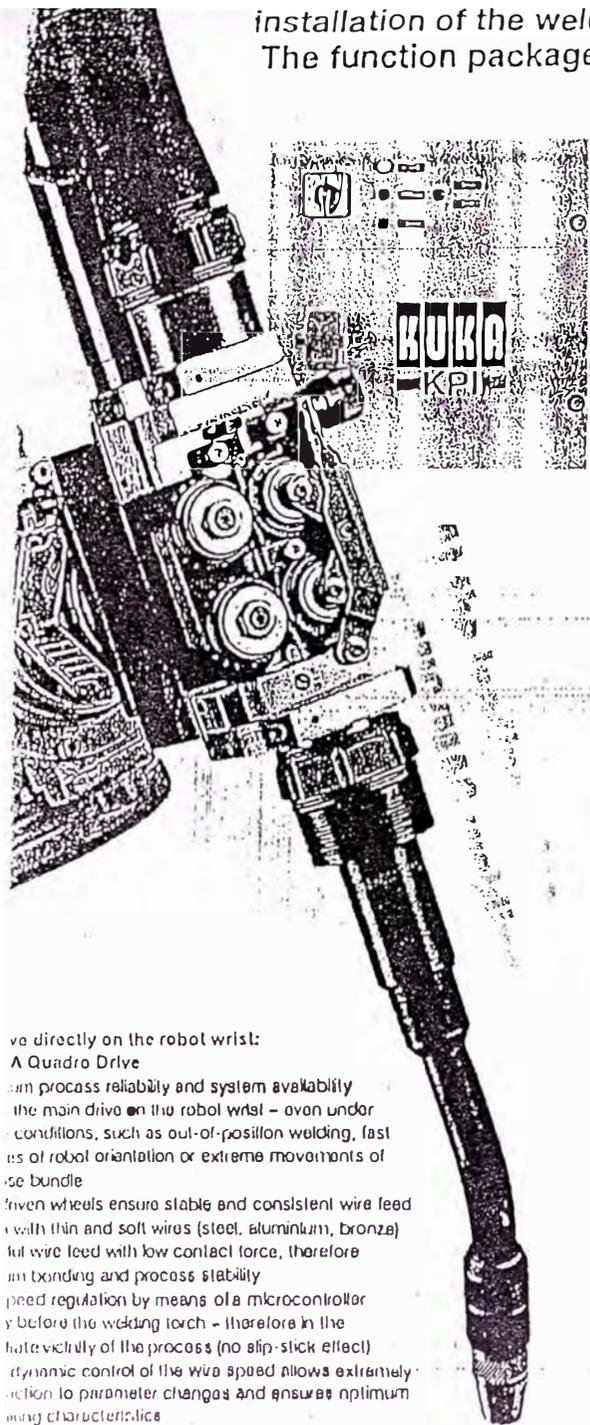
modular, powerful, reliable:  
JKA arc welding function package 



KUKA Automação do Brasil Ltda  
Rua Carlos Ayres, 542  
09860-060 - São Bernardo - SP  
Tel. 4392-6093 - Fax.: 4392-6092

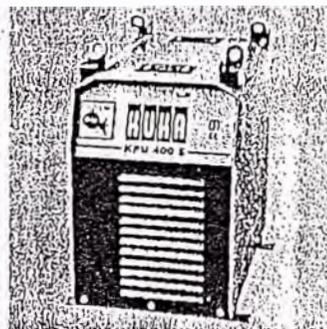


installation of the welding controller and power source cables.  
The function package is designed for optimum process reliability and maximum system availability and flexibility.



...ve directly on the robot wrist:  
A Quadro Drive  
...um process reliability and system availability  
...the main drive on the robot wrist – even under  
...conditions, such as out-of-position welding, fast  
...s of robot orientation or extreme movements of  
...se bundle  
...driven wheels ensure stable and consistent wire feed  
...with thin and soft wires (steel, aluminum, bronze)  
...ful wire feed with low contact force, therefore  
...im welding and process stability  
...speed regulation by means of a microcontroller  
...y before the welding torch – therefore in the  
...late velocity of the process (no slip-stick effect)  
...dynamic control of the wire speed allows extremely  
...ction to parameter changes and ensures optimum  
...ing characteristics  
...change coupling at the torch and hose bundle ends

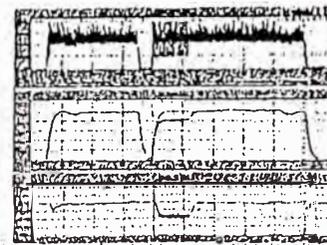
- Process controller KPI arc**
- Microcontroller technology
  - Communication via field buses (CAN, optionally INTERBUS-S, Profibus)
  - Customer-specific welding power sources can be controlled
  - Modular design with easy maintenance
  - Diagnosis capability via PC or KUKA Control Panel
  - Remote maintenance, remote update
  - Expansions as optional plug-in modules:
    - Two-wire welding
    - Parameter monitoring for quality assurance
    - Sensor equipment (through-the-arc, touch, seam tracking sensors)



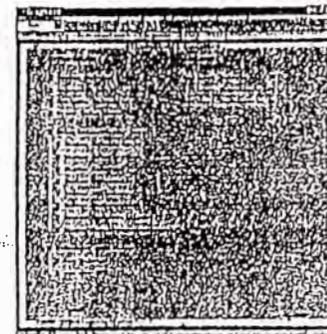
- Welding power source KFU 400 S**
- Primary switched-mode inverter for MIG/MAG and pulsed operation
  - Synergistic operation via master/slave voltage
  - Fast update via a serial interface
  - Specially developed for robotic operation:
    - Reproducibility ensured – no calibration or parameter adaptation required
    - No operator control elements on the power source – operation via the KUKA Control Panel
  - Compact dimensions/stackable
  - Two-wire welding possible due to master/slave coupling
  - Touch sensor functionality available as standard



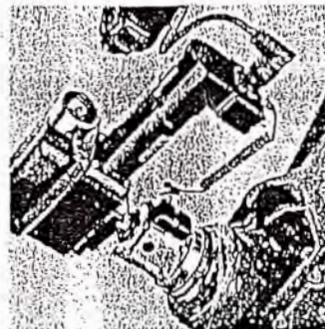
- Programming and operator control**
- The robot and the welding process are programmed and optimized as a single unit using the common hand-held terminal, the KUKA Control Panel
  - Motion and welding parameters are edited and saved individually for each component and seam



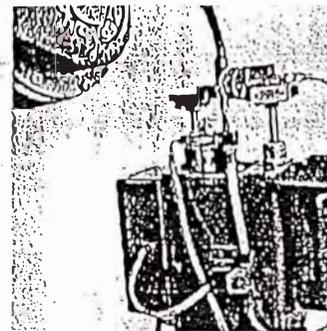
- KUKA parameter monitoring**
- Path-related monitoring of the welding parameters integrated into the KUKA function package
  - Operator-friendly handling by means of a simple teaching method
  - Good weld for each component is stored as a reference file



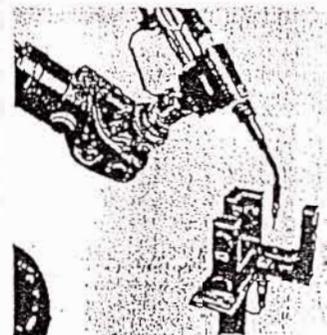
- KUKA diagnosis tool (local or remote diagnosis)**
- Reduction of downtimes – remote diagnosis worldwide via data cable
  - Microcontroller-based logic for monitoring process and component status
  - Graphic diagnostic display via service PC or KUKA Control Panel



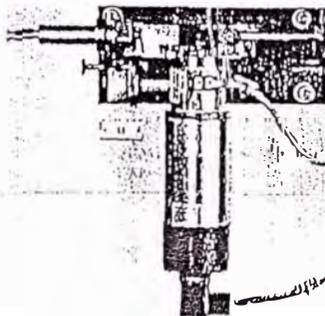
- Hose bundle**
- Maintenance-friendly standard hose bundle with quick-action coupling at both ends
  - Various hose bundle lengths available



- Torch cleaning unit**
- Optimum and tool-protecting cleaning procedure due to freely programmable cutter speed, cutter torque limitation and cleaning sequence (revolution/velocity)
  - Two blower units (internal/external)
  - Spray device for anti-slick agent

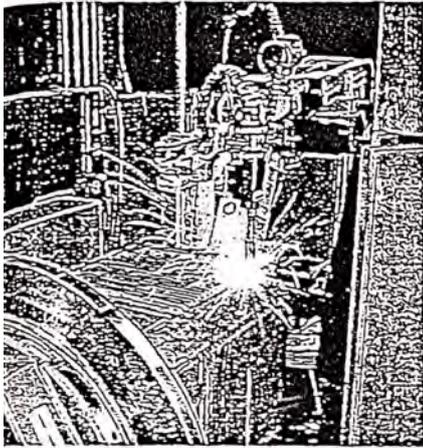


- Tool center point (TCP) monitoring and correction device**
- Reproducible positioning of the welding torch due to:
    - automatic monitoring and correction of the TCP (free end of the wire) in X and Y directions
    - exact measurement in the unaffected area of the wire, the wire lip being extended before the measurement. The wire lip is subsequently retracted to its initial position again.



- KUKA Sensor Drive wire feeder**
- High system availability due to extreme reduction of the wire frictional force in the hose bundle
  - Sensor-monitored, sensitive control of the feed force for thin and soft wires and long hose bundles
  - Force changes at the wire spool and have no effect on the feed force

ells, systems, standard or individual designs:  
rom KUKA you get the right solution.



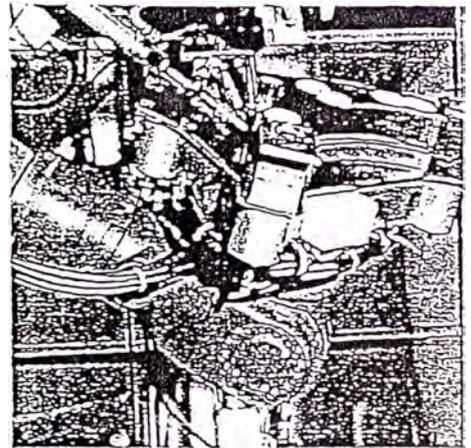
#### Classic robotic cells

- The robot guides the welding torch along the seam
- The workpiece is clamped on stationary tables or on single- or multi-axis component positioners



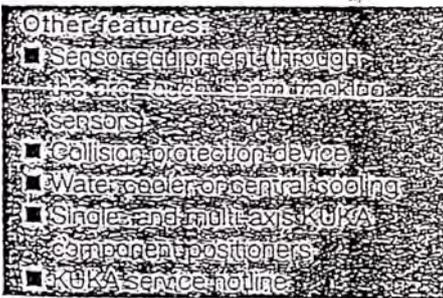
#### Welding under a stationary torch and component handling

- The component is manipulated under the stationary torch by the robot
- Flexible component handling in the optimum welding position by the robot
- High welding speed and tolerance acceptability with excellent weld quality due to optimum positioning
- The robot links several process stations (e.g. MIG/MAG and spot welding)
- High component flexibility
- Simple smoke extraction
- Reduced investment volume



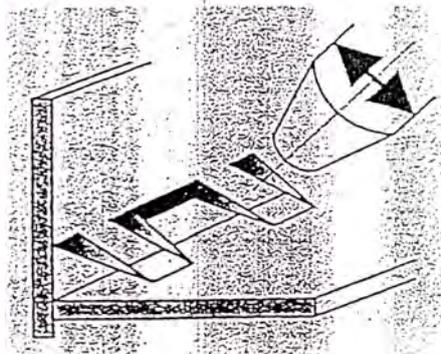
#### KUKA two-wire welding

- KUKA two-wire welding combines the advantages of welding under a stationary torch with the enhanced performance of two-wire welding
- Use of the standard KUKA welding equipment
- Separate parameter selection due to two welding power sources and two wire feeders as well as two independent welding torches
- Variable distance and angle between the torches



## The software package for out-of-position welding and aluminium KUKA Thermopulse technique

- Technology software for extending the ranges of application of arc welding, e.g. in thin-sheet/thick-plate welding of steel and aluminium



- Geometry, velocity and technology weaving functions are freely selectable and combinable
- Advantageous particularly in very difficult welding tasks accompanied by a demand for high-quality welds

KUKA Schweissanlagen GmbH  
Blücherstrasse 144  
D-86165 Augsburg  
Telefon +49-(0)821/797-0  
Telefax +49-(0)821/797-1991

KUKA International:  
Benelux, Brazil, China, France,  
Italy, Japan, Mexico, Russia,  
Spain, Sweden, UK, USA

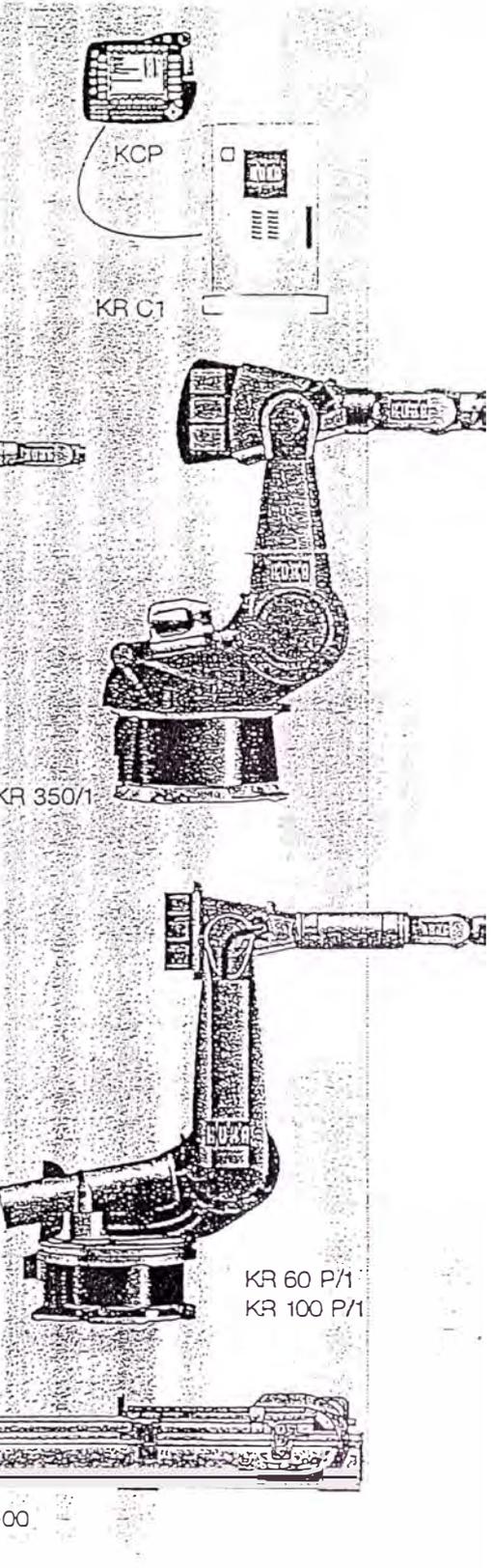
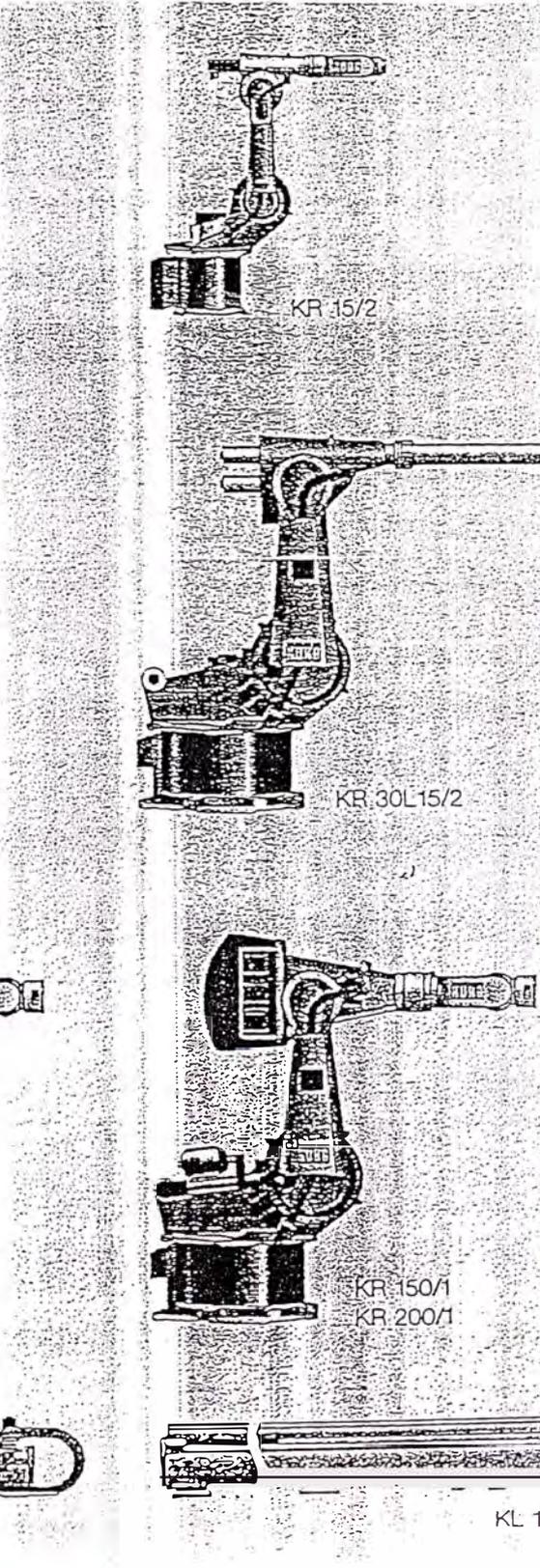
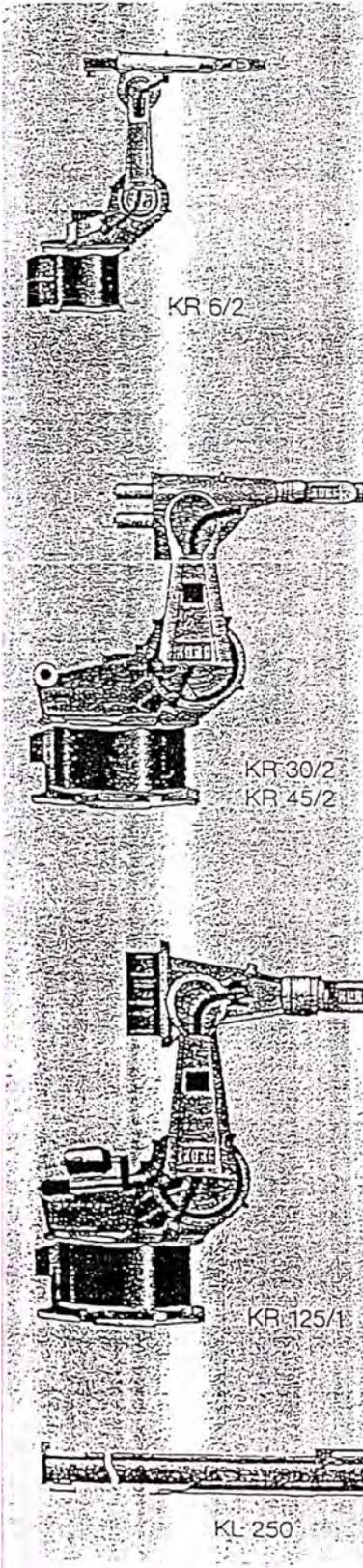




## Gamma dei robot

## Gama de robots

## Gama de robôs



																						
Carga via	6 kg	10 kg	15 kg	30 kg	45 kg	125 kg 100 kg 90 kg	150 kg 180 kg 120 kg	200 kg	125 kg	100 kg	160 kg	60 kg	100 kg	125 kg	125 kg	350 kg	250 kg	1500 kg				
Carga nominal																						
Carga adictoria		10 kg	10 kg	35 kg	35 kg	120 kg 2810	85 kg 80 kg	80 kg	120 kg	50 kg	50 kg	30 kg	60 kg	80 kg	125 kg	150 kg 150 kg 150 kg	250 kg	1500 kg				
Carga adictoria		10 kg	10 kg	35 kg	35 kg	2810	80 kg	80 kg	120 kg	50 kg	50 kg	30 kg	60 kg	80 kg	125 kg	150 kg 150 kg 150 kg	250 kg	1500 kg				
Portala masa	1570	1570		2041	3086	2410	2410	2410	2410	3500	3500	3500	3500	2550	3100	2501 2701 2001						
Arctze max.																						
Arctze max.																						
Numero de e	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5 (6)	5	6	6	6	6	6	6					
Repetitidade	<±0,1 mm	<±0,1 mm	<±0,15 mm	<±0,15 mm	<±0,15 mm	<±0,2 mm	<±0,2 mm	<±0,2 mm	<±0,2 mm	<±0,5 mm	<±0,5 mm	<±0,5 mm	<±0,5 mm	<±0,3 mm	<±0,3 mm	<±0,35 mm	<±0,2 mm					
Peso (total)	205 kg	222 kg	667 kg	930 kg	880 kg	975 kg 990 kg 995 kg	1120 kg 1135 kg 1140 kg	1120 kg	1590 kg	ca. 1700 kg	ca. 1700 kg	1540 kg	1545 kg	1450 kg	1670 kg	1650 kg 1670 kg 1690 kg						
Posidon de n	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho												
Posidon de n	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho												
Posidon de m	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Valebalo/ Valebala/ Valebalo/ Valebala	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho	Piso, lecho/ Pavimento, solillor/ Clavo, lecho												
Peso (total)	205 kg	222 kg	667 kg	930 kg	880 kg	975 kg 990 kg 995 kg	1120 kg 1135 kg 1140 kg	1120 kg	1590 kg	ca. 1700 kg	ca. 1700 kg	1540 kg	1545 kg	1450 kg	1670 kg	1650 kg 1670 kg 1690 kg						
Repetitidade	<±0,1 mm	<±0,1 mm	<±0,15 mm	<±0,15 mm	<±0,15 mm	<±0,2 mm	<±0,2 mm	<±0,2 mm	<±0,2 mm	<±0,5 mm	<±0,5 mm	<±0,5 mm	<±0,5 mm	<±0,3 mm	<±0,3 mm	<±0,35 mm	<±0,2 mm					
Numero de e	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5 (6)	5	6	6	6	6	6	6					
Sistema modular de unidades lineales																						
Sistema modulare di unità lineari																						
Sistema modular constituido por unidades lineales																						
Sistema modulare costituito per unità lineari																						

El campo de aplicación (se recomienda consultar adicionalmente) Adatto per campo d'impiego (ulteriore consulenza consigliata) Adequado para o campo de aplicação (consultar recomendada) KUKA  
 Consulte la manualità e l'installazione e l'uso di KUKA. Dopo approfondita consulenza con KUKA. Após consultoria pormenorizada da KUKA.

Gamma de productos    Gamma dei prodotti    Gama de produtos

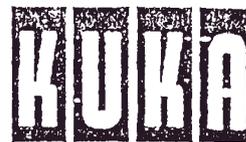
**KUKA Roboter GmbH**

- |   |   |  |
|---|---|--|
| ■ Robots articulados para cargas útiles de 6 hasta 200 Kg | ■ Robot con brazos nodati per carichi da 6 a 200 kg | ■ Robos com braço articulado para cargas nominais de 6 kg a 200 kg |
| ■ Unidades lineales para el desplazamiento del robot      | ■ Unità lineari per lo spostamento del robot        | ■ Unidades lineares para o deslocamento dos robos                  |
| ■ Robots con concepciones especiales                      | ■ Esecuzioni speciali di robot                      | ■ Conceções especiais de robos                                     |
| ■ Unidades de control de robots                           | ■ Comandi per robot                                 | ■ Conceções especiais de robos                                     |
| ■ Software de mando                                       | ■ Software di comando                               | ■ Unidades de comando de robos                                     |
| ■ Software para aplicaciones tecnológicas                 | ■ Software tecnologici                              | ■ Software de comando  |
| ■ Entrenamiento técnico servicios al cliente              | ■ Addestramento servizio                            | ■ Software de tecnologia   |
|   |   | ■ Formação assistência   |

**KUKA Schweissanlagen GmbH**

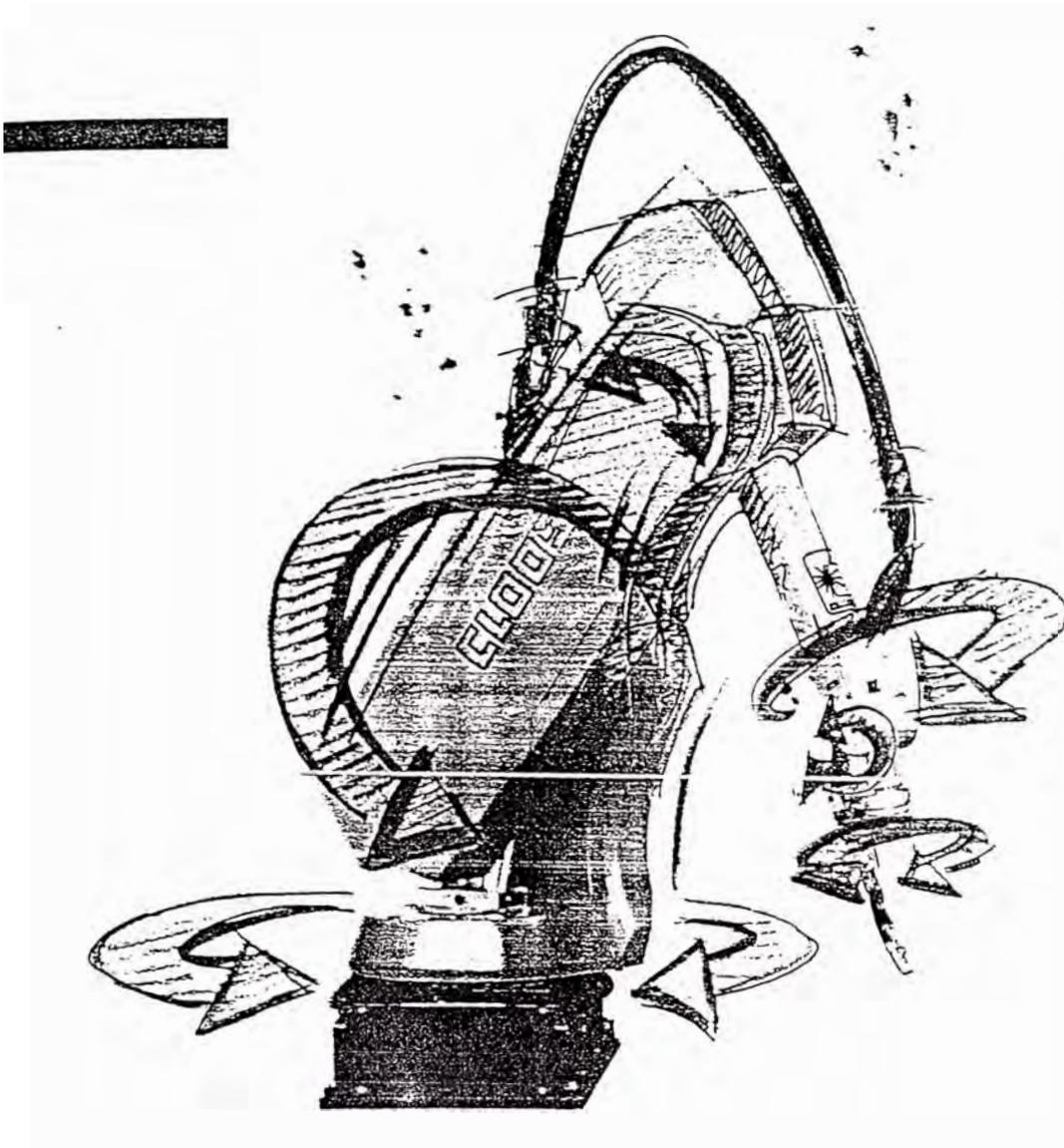
- |  |  |  |
|--|--|--|
| ■ instalaciones de soldadura al arco y por puntos  | ■ Impianti per la saldatura a punti e ad arco  | ■ Equipamento de soldadura por pontos e a arco   |
| ■ Sistemas de ensamblaje y montajes de automóviles   | ■ Sistemi per il montaggio di sottogruppi e il montaggio finale di autovetture                                     | ■ Sistemas para a montagem final dos agregados e veículos  |
| ■ Técnicas de aplicación de pegamentos, sellantes y conservantes                                       | ■ Tecniche di incollatura, sigillatura e protezione  | ■ Técnica de colagem, vedação e conservação  |
| ■ Células robotizadas para ensamblajes, cortes, maquinado, carga, concatenación de prensas, paletizado | ■ Celle di robot per assemblaggio, separazione, lavorazione, caricamento, connessione a pressione, palletizzazione | ■ Células de robô para a adaptação, separação, processamento, introdução, interligação de prensas, paletização |
| ■ Máquina de soldadura por fricción y Magnetarc  | ■ Saldatrici a frizione e Magnetarc  | ■ Máquinas de soldadura por fricção e Magnetarc  |
| ■ Soldadura lineal por alta frecuencia   | ■ Saldatura lineare ad alta frequenza  | ■ Soldadura linear de alta frequência  |
| ■ Revenido y gelatinizado por media frecuencia   | ■ Ricottura e gelificazione a media frecuencia   | ■ Revenir/gelificar à média frequência   |
| ■ Dispositivos de rebordeado   | ■ Equipaggi per flangiatura  | ■ Dispositivos de rebordar   |
| ■ Utiles de corte y conformado   | ■ Utensili per taglio e formatura  | ■ Ferramentas de corte e formação  |
| ■ Ingeniería, técnicas de automatización, logística  | ■ Engineering, tecnologia di controllo, logistica  | ■ Engenharia, tecnologia de comando, logística   |
| ■ Entrenamiento técnico, servicios al cliente  | ■ Addestramento, servizio  | ■ Formação, assistência  |

WM-Nr. 041/503/0800/49p.1.p.



**FICHA CADASTRAL**

**Razão Social:** KUKA Automação do Brasil Ltda  
**Endereço:** Rua Carlos Ayres, 542  
 CEP.: 09860-060 – Jd. Vera Cruz  
 São Bernardo do Campo – SP  
**Telefone:** 4392-6093  
 : 4392-6092  
**Tratamento Social:** Registrado na JUCESP Sob nº 35215466551 (07-DEZ-98)  
**CNPJ:** 02.912.332/0001-78  
**Inscrição Estadual:** 635.336.809.113  
**Inscrição Municipal:** 108.790-8  
**Capital Social:** R\$ 1.000.000,00 (Hum milhão de Reais)  
**Bancos Principais:** Itaú – AG.0092  
 C.C.: 08423-5 – Paço Municipal  
 SBC - SP  
**Principais Acionistas:** KUKA SCHWEISSANLAGEN GMBH  
 Augsburg – Republica Federal da Alemanha  
 KUKA ROBOTER GMBH  
 Augsburg – Republica Federal da Alemanha  
**Principais Clientes:** VOLKSWAGEN DO BRASIL LTDA  
 Via Anchieta km 23,5 Fone: (011) 753-2355  
 MERCEDES-BENZ DO BRASIL LTDA  
 Av. Alfredo Jurzykowski, 562 Fone: (011) 758-8081  
 BENTELER COMPONENTES AUTOMOTIVOS  
 Av. Marginal Sul, 80 - Campinas Fone: (019) 725-3065  
 DANA ALBARUS  
 Rua Ricardo Bruno Albarus, 201 - RS Fone: (051) 489-7513  
 SIFCO  
 Av. São Paulo, 361 – Jundiaí Fone: (011) 7398-1500  
 SCANIA  
 Av. José Odorizzi, 151 - SBC Fone: (011) 752-9471  
 AETHRA  
 Rua Carolina, 51 – Betim - MG Fone: (031) 597-3039  
**Principais Fornecedores:** SIEMENS LTDA.  
 Rua Cel. Bento Bicudo, 111 – Lapa – SP Fone: 833-4900  
 FESTO AUTOMAÇÃO LTDA  
 Rua Giuseppe Crespi, 76 – Saúde – SP – Fone: 6969-9500  
 In Pro electric do Brasil Ltda  
 Rua Coronel Frias, 288 – Ipiranga – SP – Fone: 274-8774  
 Mannesmann Rexroth Automação Ltda  
 Rua Georg Rexroth, 609 – Diadema – SP – Fone: 745-9152



**TECNOLOGIA DE SISTEMAS  
O ROBÔ INDUSTRIAL ROMAT®**

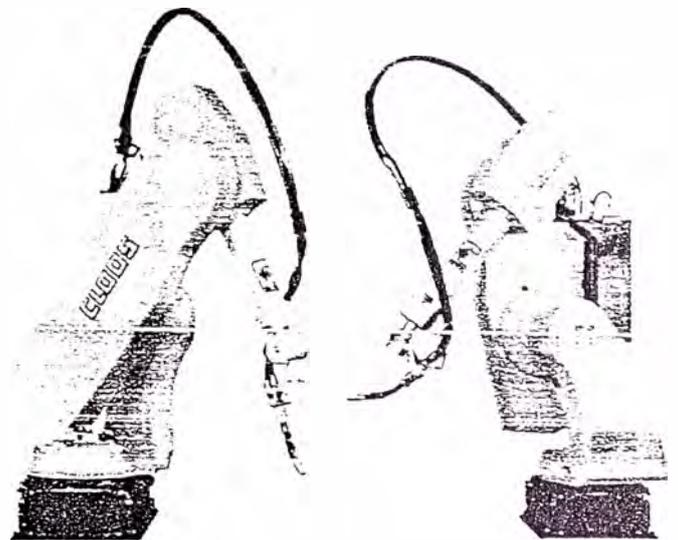
**ROMAT® INDUSTRIAL ROBOTS –  
SYSTEM TECHNOLOGY**

## MECÂNICA

A mecânica do robô industrial ROMAT® 310 e ROMAT® 260 foi concebida com articulação giratória. Os robôs, concebidos numa forma construtiva compacta, dispõem de seis eixos; o raio de ação maior é de 4.100 mm ou, de 3.600 mm de diâmetro em todas as posições. A considerável extensão da faixa de trabalho dos eixos, oferece vantagens especiais para a soldagem em linhas de montagem. O robô industrial ROMAT® 260 com seu 2° e 3° eixos mais curtos é muito adequado para soldagem em espaços apertados. Servoacionamentos-CA fornecem a força necessária e possuem a capacidade de levantamento de carga de até 15 kg. Repetibilidade na ordem de  $\pm 0,1$  mm. Através de um sistema de medição absoluto de trajeto com alta resolução, não há necessidade de sinal de referência para a mecânica do robô. A carcaça do robô foi projetada para resistir às exigentes aplicações na indústria. Os componentes do acionamento, monitoração e de controle concebidos, em módulos possibilitam um acesso rápido no caso de manutenção e outros serviços. A faixa de trabalho do robô pode ser aumentada consideravelmente através da montagem aérea, o que possibilita um acesso mais fácil às peças a serem trabalhadas.

## MECHANICS

The ROMAT® 310 and ROMAT® 260 industrial robot mechanics are designed as rotating joints. The robots have a special compact design and consist of 6 axes: the large working range has a 4.100 mm or 3.600 mm diameter in all positions. The considerable extension of the hand axis working range offers particular advantages for path welding. The ROMAT® 260 industrial robot, with its shortened 2nd and 3rd axis, is also suitable for welding in narrow spaces.



Very powerful, dynamic AC servo drives provide the required power and a carrying capacity of up to 10/15 kgs. Backlashfree precision bearings guarantee a high repeatability of  $\pm 0,1$  mm. Reference of the robot mechanics is no longer necessary due to a high-resolution absolute path measuring system. The robust housing has been especially designed for hard industrial use. Modular designed drive, monitoring, and control units enable maintenance and service work to be carried out quickly. The working range of the robot can be considerably enlarged by overhead mounting which also gives improved access to the workpiece.

Robô Industrial ROMAT® 310

ROMAT® 310 industrial robot

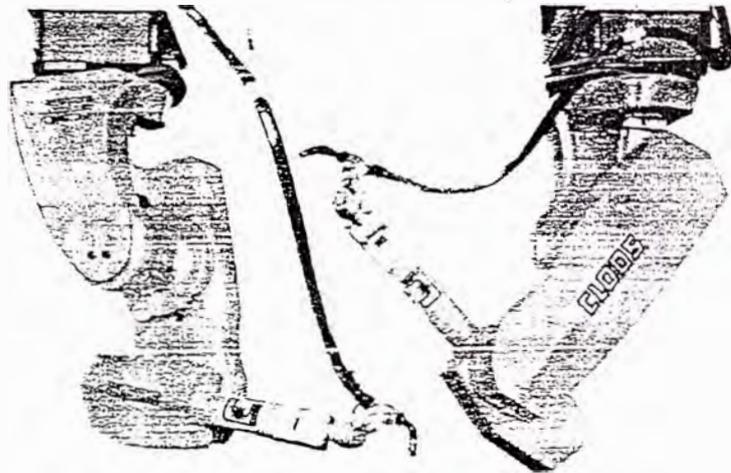
## ROTROL® CONTROLLER

The ROTROL® 32 T/M robot controller offers the operator all the advantages of software designed especially for the requirements of the welding industry.

This software is based on powerful PC-standard processor components and ensures good movement behaviour and high path accuracy of the robot during welding. The main part of the control is a 32 bit CPU, which enables 6 internal robot axes and 6 external peripheral axes to be controlled simultaneously.

*Robô Industrial ROMAT® 260 (esquerda) e o ROMAT® 310 em posição aérea*

*ROMAT® 260 (left) and ROMAT® 310 industrial robots in overhead position*



## CONTROLE ROTROL®

O controlador do robô ROTROL® 32/T/M oferece ao operador todas as vantagens de um software especialmente projetado para as exigências da indústria da soldagem. Este software está baseado em potentes componentes de processadores padrões-PC garante um bom comportamento de movimento e alta precisão de trajetória do robô durante a soldagem. A parte principal do controle é a CPU de 32 bit, que permite o controle simultâneo de 6 eixos internos do robô e de 6 eixos de periféricos externos. Além das funções do software padrão, existem muitas outras opções relacionadas à prática, como transformação-3D, geração de pontos no espaço via comando e programa, transformação TCP, programação em multicamadas, administração fácil dos parâmetros de soldagem, bem como procura de costura do solda e funções de sensor. Uma memória de trabalho de 440 kB, onde podem ser armazenados simultaneamente 32 programas, possibilitam o processamento de programas amplos e complexos de soldagem. O arquivamento é feito através de um Drive de disquete de 3,5". O controle oferece um amplo suporte em todas as situações de erro, isto é, durante a elaboração do programa e durante o processamento do programa.

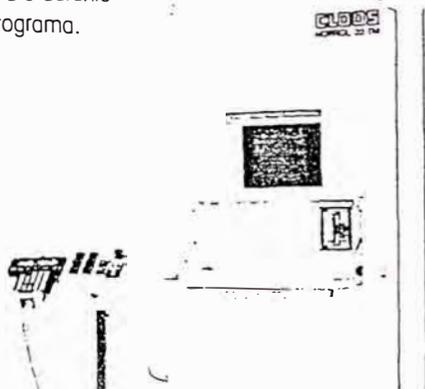
In addition to the standard software functions, there are many additional practical options, such as 3D transformation, generation of spatial points via program command, TCP transformation, multi-layer programming, easy administration of weld-

ing parameters, master-slave operation as well as seam tracking and sensor functions.

A 440 kB working memory, in which 32 programs can be stored simultaneously, enables extensive and complex welding programs to be handled.

A 3.5" disk drive is used.

The control offers extensive support in all error situations, i.e. when writing a program and during the program run.



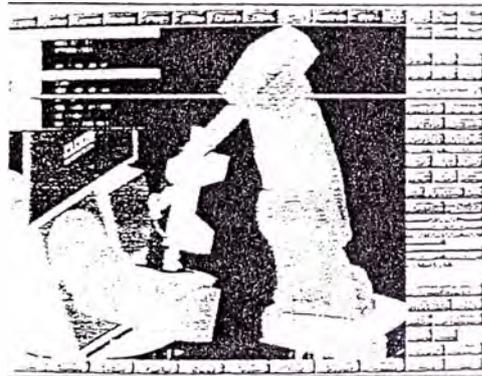
*Controlador ROTROL® 32 T/M com monitor e teclado*

## PROGRAMAÇÃO

A unidade portátil de programação (PHG) de formato ergonómico com teclado de membrana com guia para os dedos e ponto de ação tangível possibilita a programação On-Line orientada por menu, a inspeção e a correção de programas muito extensos. Um processador integrado e um Display LCD de 4 x 40 caracteres possibilita a entrada de comandos e informações pontuais de texto claro.

Uma tecla de confirmação montada lateralmente garante a segurança necessária durante a corrida de prova. Uma outra possibilidade é escrever os programas usando o teclado e o monitor com superfície de operação orientado. Também é possível conectar todas as unidades atuais de programação Off-Line que oferece inúmeras vantagens de programação.

Para a administração do programa e sua modificação pode ser usado opcionalmente o software adicional CAROLA-EDI, que pode ser rodado em qualquer PC encontrado no comércio.



*Célula de soldagem por robô ROMAT na programação 3D-CAD-off-line*

*ROMAT robot cell 3D-CAD-off-line programming*

## PROGRAMMING

Menu-guided on-line programming, inspection and correction of extensive programs are possible due to the comfortably shaped, portable teach pendant (PHG) with its clear foil keyboard with finger guidance and tangible action point. An integrated processor and a 4 x 40 character LCD display make it possible to enter commands and point information in clear text. A dead man's handle on one side

surface. It is also possible to connect all current off-line programming units which give numerous advantages for programming. For program administration and modification the additional CAROLA-EDI software can be used independently of the robot controller if required. This software can be run on any PC.



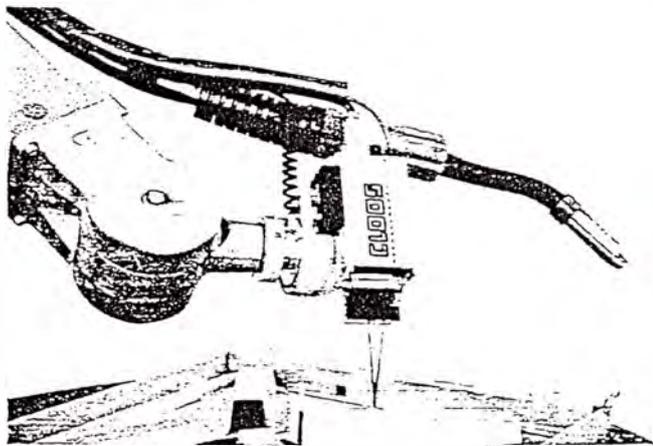
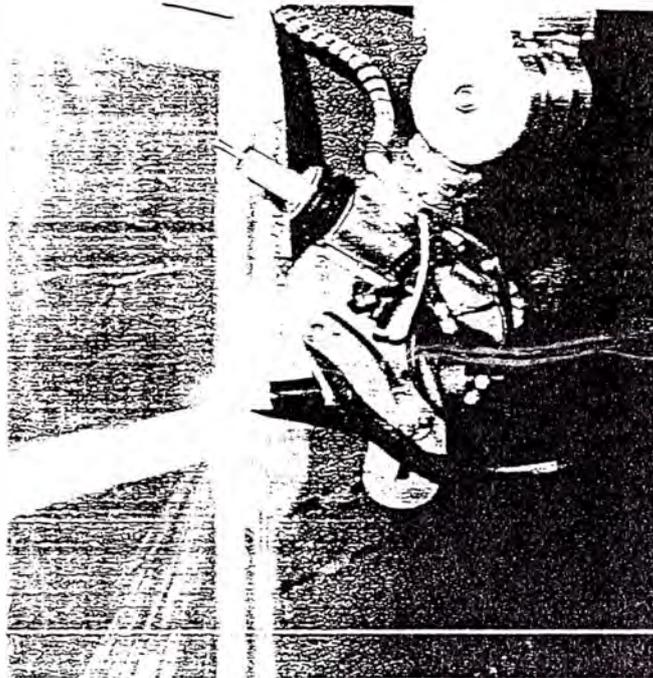
*Proteção de soldagem com blindagem de segurança e PHG integrado para seleção dos parâmetros de soldagem*

## SENSORES

Para o sistema de Robôs ROMAT® existe um amplo programa de sensores. Além do sensor de arco, desenvolvido pela CLOOS e aplicado, com sucesso durante anos na aplicação industrial, outros sensores táteis e óticos podem ser aplicados para o reconhecimento e acompanhamento da costura de solda e corte por chama.

*Reconhecimento da posição espacial da peça com sensor tátil*

*Recognition of spatial position of the workpiece with tactile sensor*

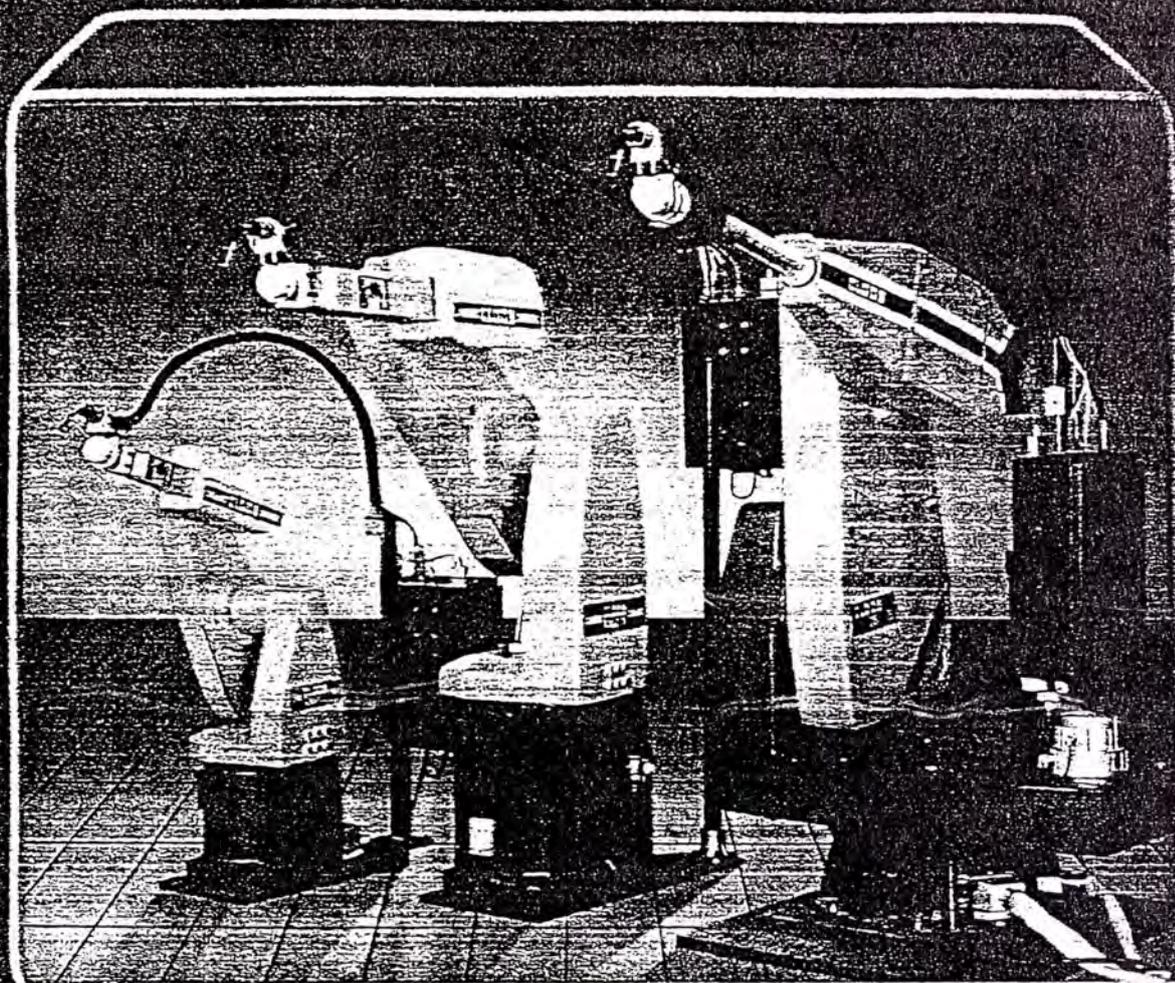


## SENSORS

An extensive range of modern sensors is available for ROMAT® robot systems. In addition to the arc sensor which has been successfully used for many years and which was developed by CLOOS, further tactile and optical sensors are used for the recognition of welds and seam tracking as well as for flame cutting.

*Medição de cancos com sensor a laser de distância a Laser tipo CLDS 90/60*

*Edge measurement of a top seam with optical laser distance sensor type CLDS 90/60*

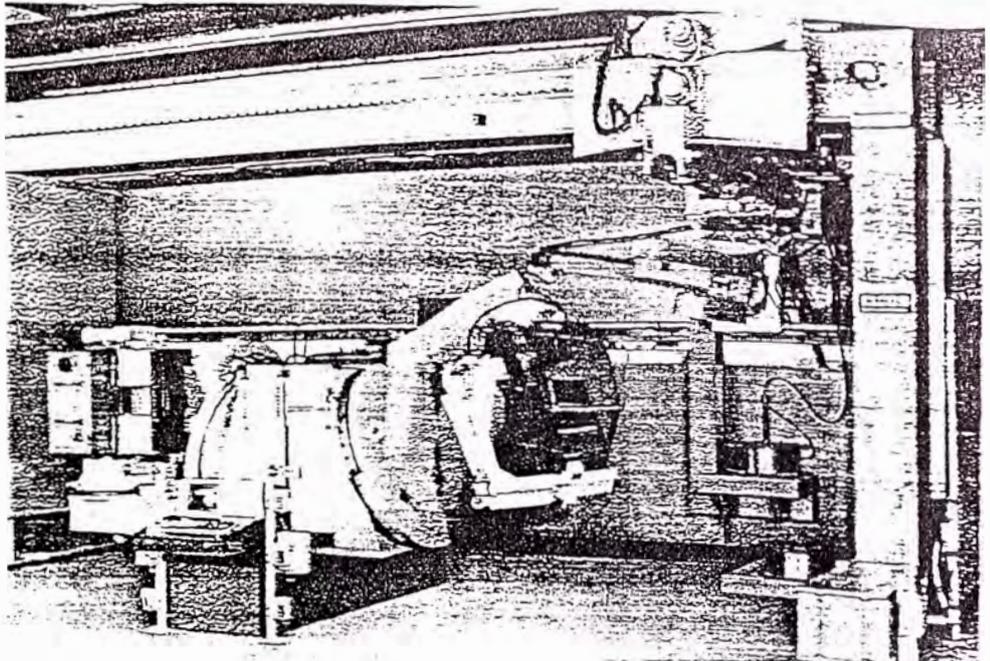


**CLOOS**  
**SCHWEISSROBOTER**

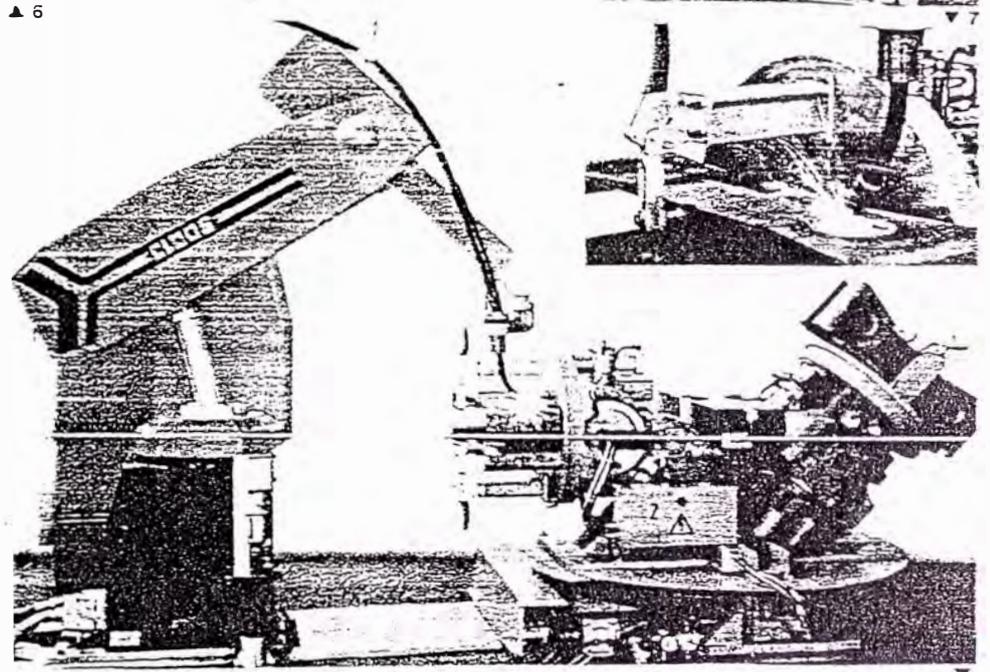
**WELDING ROBOTS**

\* Anwendungsbeispiele  
 \* Possible Applications

3. Synchron angetriebene Roboterportal-schweißanlage mit 2 Linear-Verfahrsachsen zur Arbeitsbereichvergrößerung des Roboters und 2 Werkstückpositionierachsen.  
 3. a. Ausschnitt aus der in Bild 3 abgebildeten Gesamtanlage. Geschweißt werden mit dem ROMAT 76 Schweißroboter mit Nahtsucheinrichtung Teile aus dem Waggon-Bau.  
 Gantry-type robotic welding system equipped with two longitudinal carriages which enlarge the working range of the robot and two workpiece positioners.



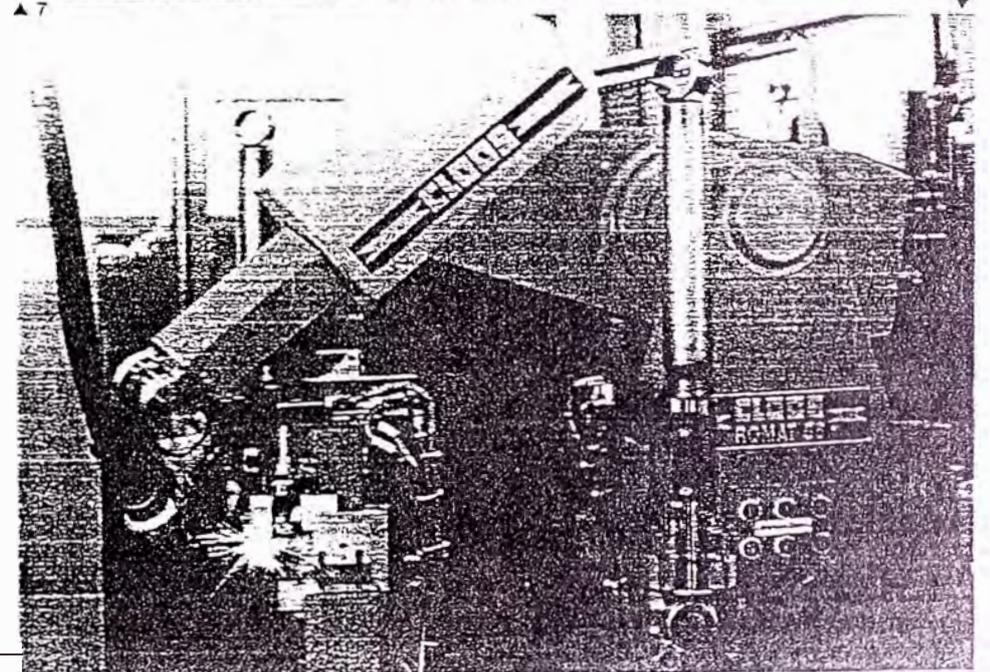
4. 10-achsige freiprogrammierbare Roboterschweißanlage. Die Werkstückpositionierer der Type WPEK gewährleisten ein Schweißen der Maschinenbaueinheiten in Wannenlage unter Verwendung der Nahtsucheinrichtung.  
 Freely programmable robotic welding plant with 10 axes. The workpiece positioners type WPEK enable welding of machine housings in bead weld position while utilizing the seam search facility.



5. Roboter-Schaltschrank-Schweißanlage, bestückt mit zwei ROMAT 55 und zwei 180° schwenkbaren Wechselwerkzeugen.  
 Meß-Sensoren am Roboter ermöglichen eine automatische Überbrückung von Abkanttoleranzen.  
 Automated welding production of switch boards by means of 2 ROMATs 55 with two 180° indexing units.  
 Additional sensors at the robot take care of tolerances of box dimensions, which inevitably occur during bending process.

6. 12-achsiges Roboterportalschweißsystem mit ROMAT 76 und Orbit-Werkstückpositionierer zum Schweißen von Vibrationswalzengehäusen.  
 Gantry-type welding system with 12 axes with ROMAT 76 and ORBIT workpiece positioner for welding of oscillating cylinders.

7. ROMAT 76 mit 2 Werkstückpositionierern der Type WPEK sowie 180° Dreheinrichtung für den Transport der Bauteile von der Einlege- in die Schweißstation.  
 7. a. Ausschnitt aus der Gesamtanlage Bild 7. Geschweißt werden Teile aus dem Fahrzeugbau unter Verwendung der Nahtsucheinrichtung.  
 ROMAT 76 with 2 workpiece positioners type WPEK and 180° turning device for transportation of the components from the loading station into the welding station.  
 7. a. Section of the welding plant shown in picture 7. Welding of car components while utilizing the seam search facility.



8. MAG-Roboterschweißanlage ROMAT 56 mit Einlege- und Schweißstation zum Schweißen von Gasdruckstoßdämpfern.  
 MAG robotic welding cell ROMAT 56 with loading and welding station for welding of gas pressure dashpots.

Jaraguá do Sul (SC), 19 de julho de 2000.

À  
Fima S/A  
Lima - Perú

Att. Sr. Ricardo Pasco

Prezado Senhor,

~~Agradecemos vosso interesse nos equipamentos Cloos e informamos que somos representantes desta empresa em alguns países da América Latina.~~

Anexamos a este catálogos com informações adicionais.

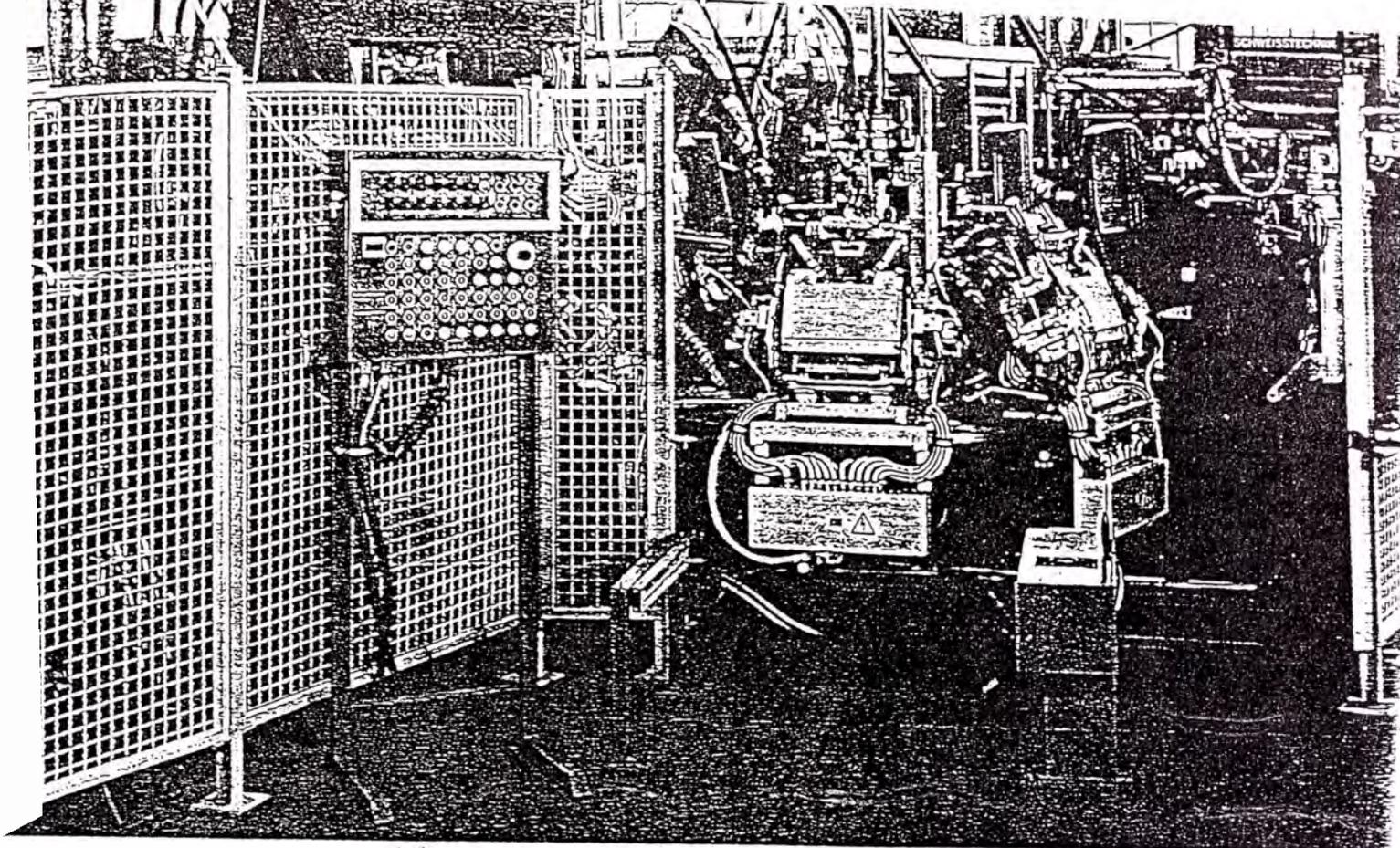
Em resposta ao vosso questionamento quanto ao preço dos robôs industriais, informamos valor aproximado de US\$ 45.000,00, que variam de acordo com a aplicação.

Colocamo-nos à disposição para maiores esclarecimentos.

Sem mais para o momento, subscrevemo-nos

Atenciosamente,

*Solange Giese*  
Deuma do Brasil Ltda.



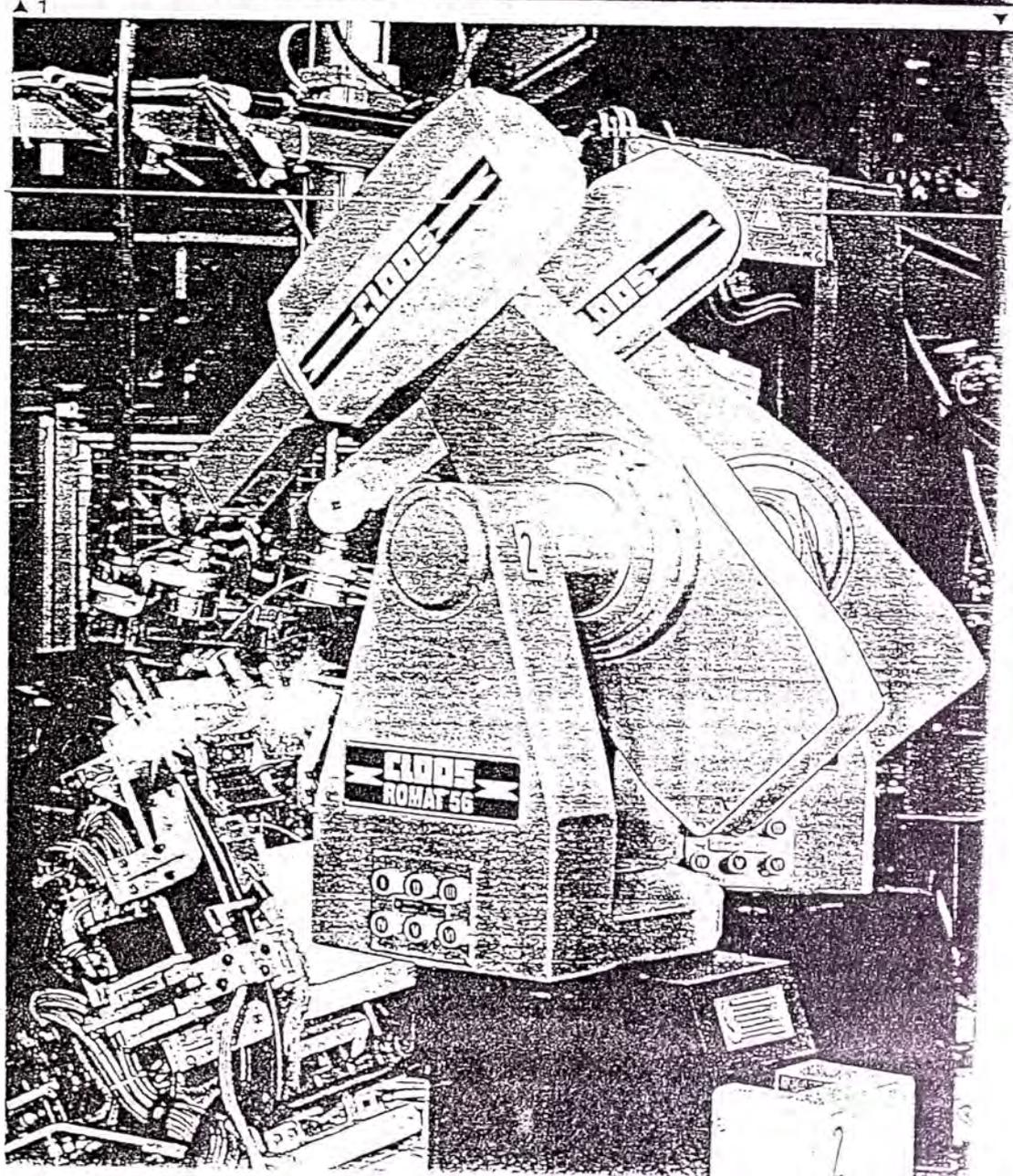
Die folgende Abbildungen dokumentieren die breite Anwendungspalette der von CLOOS konzipierten und gelieferten Robotersysteme.

The following pictures show the wide application range of the robot systems designed and supplied by CLOOS.

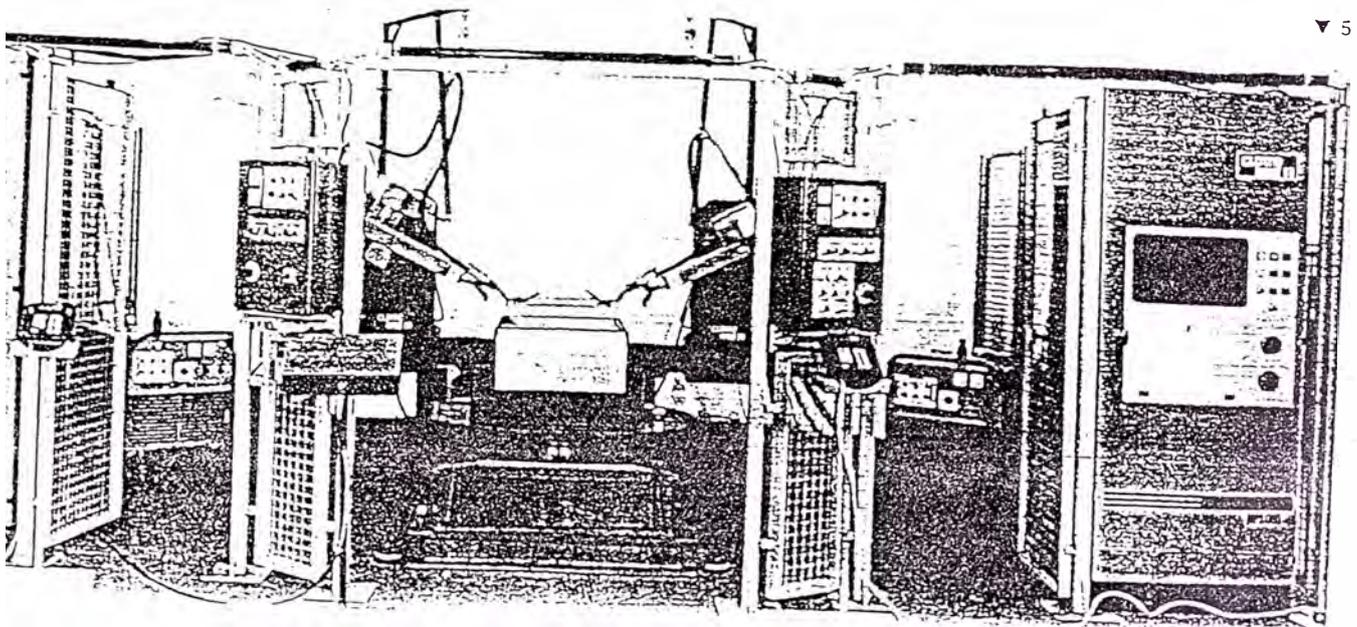
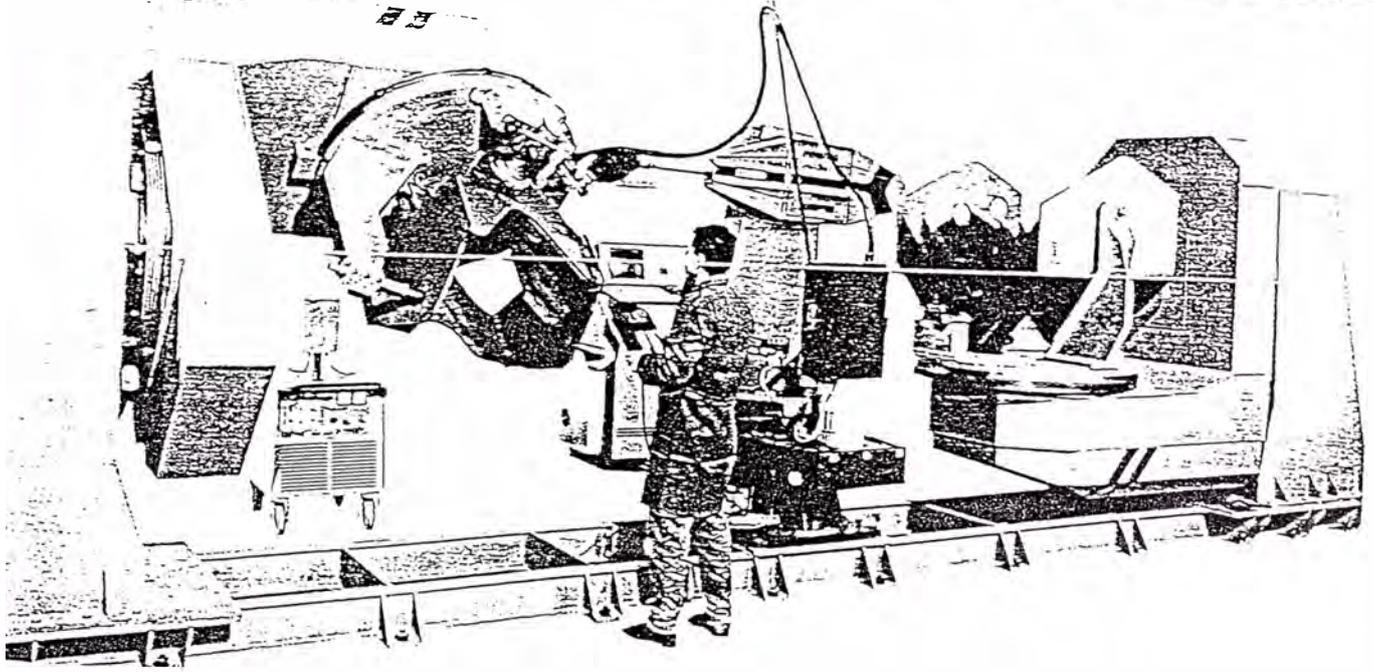
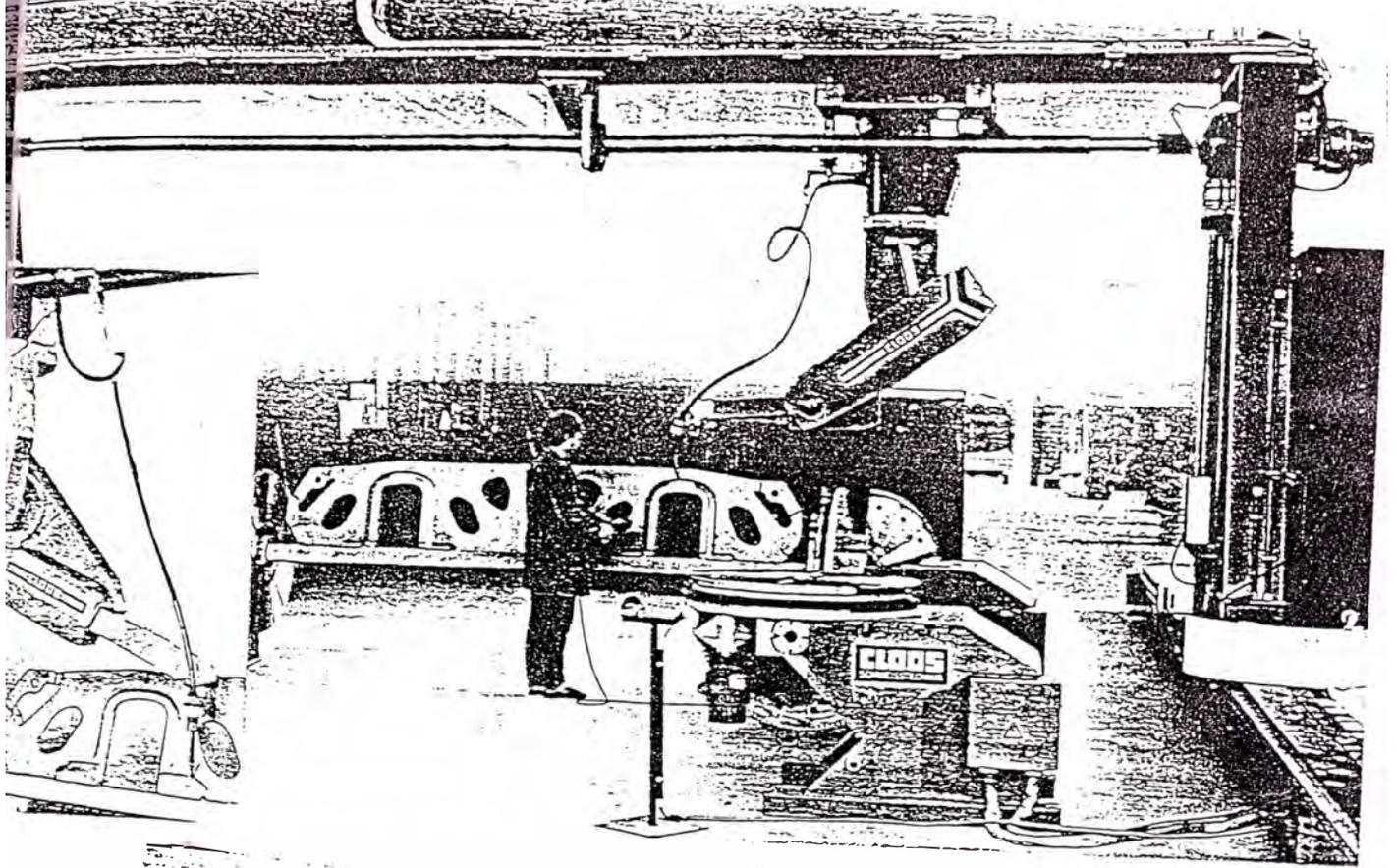
### Anwendungsbeispiele Possible Applications

Kombinierte Sonderschweißeinrichtung und Roboterschweißanlage zum Schweißen von PKW-Vordersitzlehnen. Die 5-Stationen-Taktischanlage ist mit 3 Schweißstationen ausgerüstet, wobei 6 Schweißpistolen über Sonderanrichtungen an der ersten Station positioniert sind. An den beiden anderen Schweißstationen sind jeweils 2 Schweißroboter ROMAT 56 eingesetzt.

Combined special purpose welding unit and robotic welding plant for welding of squabs. The 5 station indexing table plant is equipped with 3 welding stations, whereby 6 welding torches are positioned over special equipment at the first station. At each of the two other welding stations, two welding robots type ROMAT 56 are installed.



2. Ausschnitt aus Gesamtanlage Bild 1, Schweißstation 2.  
Section of the complete concept shown in picture 1, welding station no. 2.



## Applications

Synchron angetriebene Roboterportal-schweißanlage mit 2 Linear-Vorfahrachsen zur Arbeitsbereichvergrößerung des Roboters und 2 Werkstückpositionierachsen.

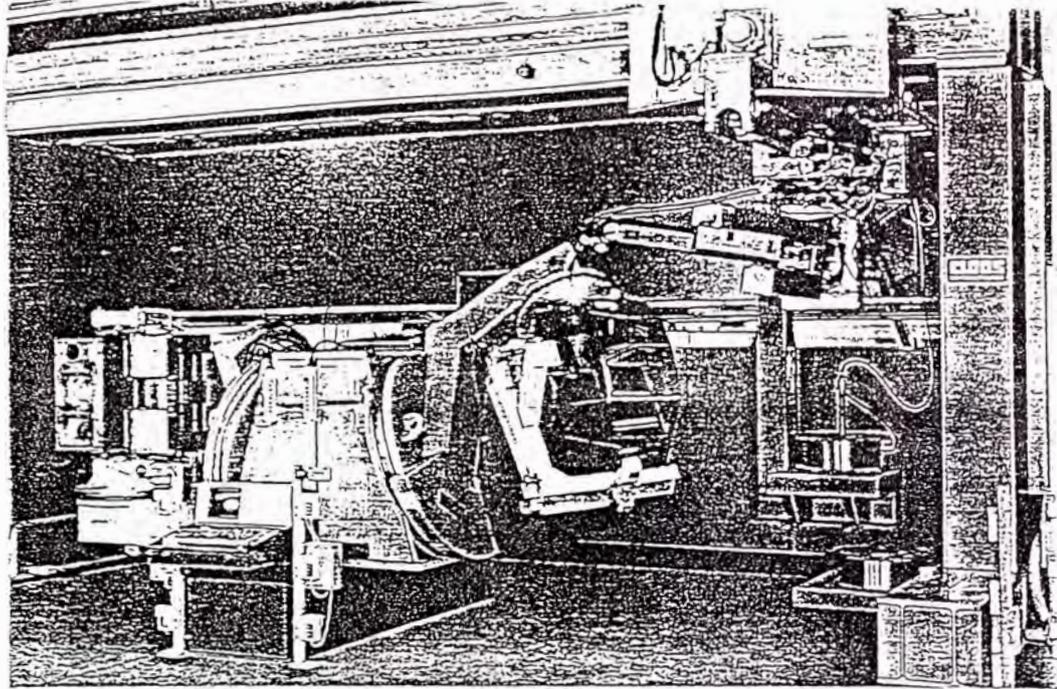
3. a. Ausschnitt aus der in Bild 3 abgebildeten Gesamtanlage. Geschweißt werden mit dem ROMAT 76 Schweißroboter mit Nahtsucheinrichtung Teile aus dem Waggon-Bau.

Gantry-type robotic welding system equipped with two longitudinal carriages which enlarge the working range of the robot and two workpiece positioners.

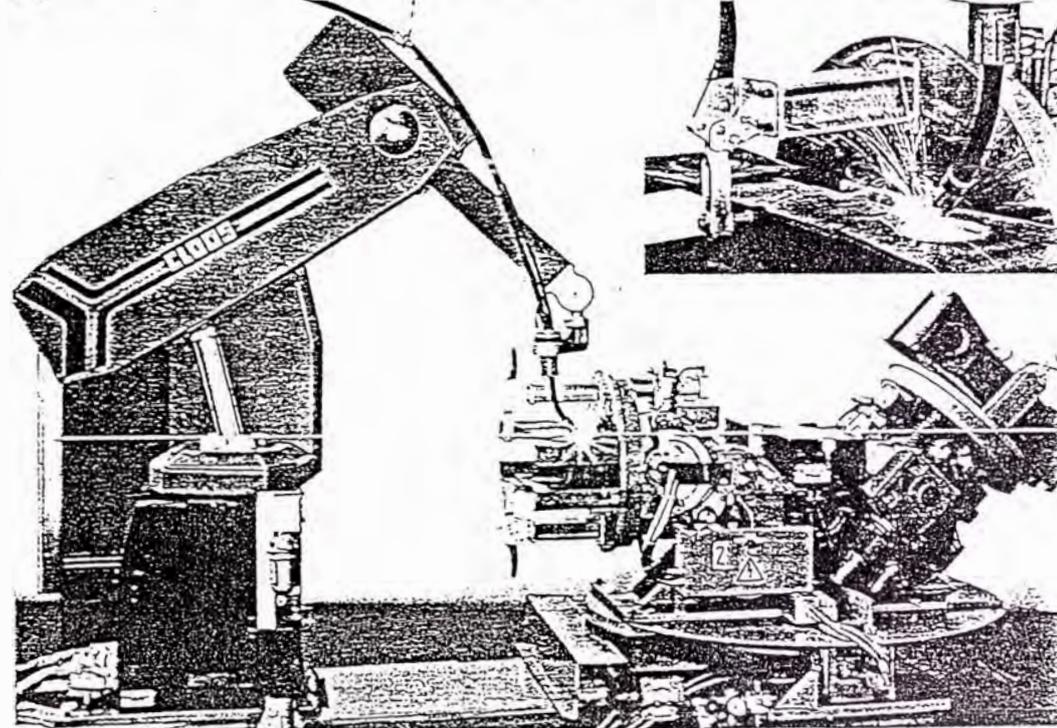
3. a. Section of the welding system shown in picture 2. The ROMAT 76 welding robot with seam searching facility works wagon components.

10-achsige freiprogrammierbare Roboterschweißanlage. Die Werkstückpositionierer der Type WPEK gewährleisten ein Schweißen der Maschinenbaugehäuse in Wannenlage unter Verwendung der Nahtsucheinrichtung.

Freely programmable robotic welding plant with 10 axes. The workpiece positioners type WPEK enable welding of machine housings in bead weld position while utilizing the seam search facility.



▲ 6



5. Roboter-Schaltschrank-Schweißanlage, bestückt mit zwei ROMAT 55 und zwei 180° schwenkbaren Wechselwerkzeugen.

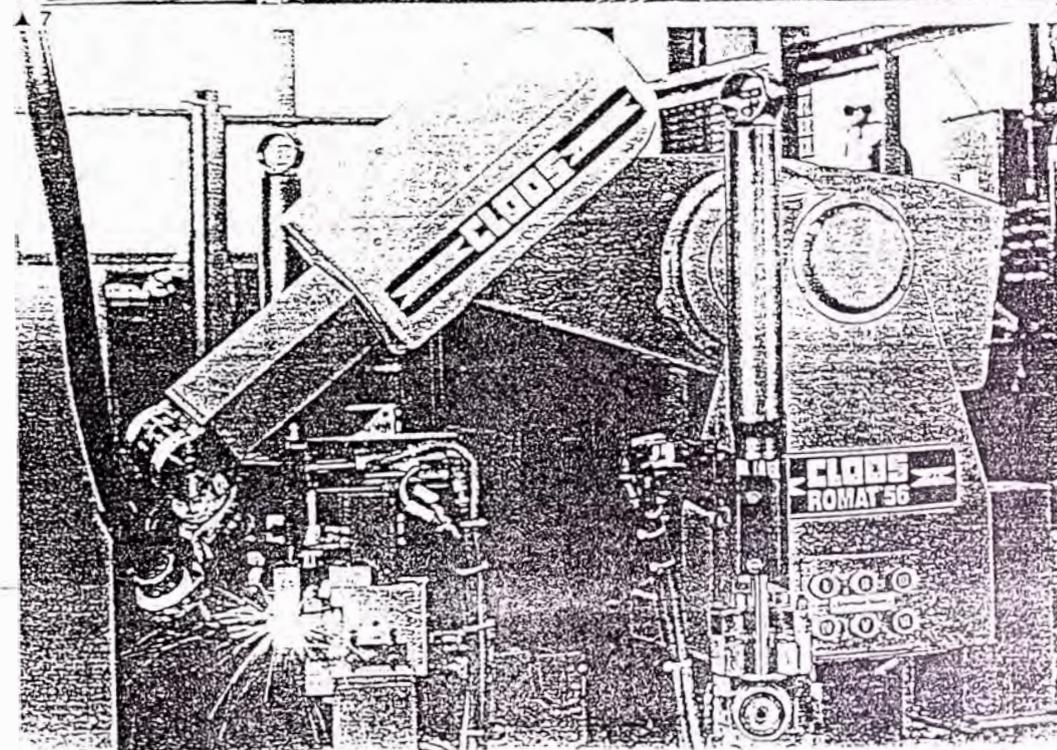
Meß-Sensoren am Roboter ermöglichen eine automatische Überbrückung von Abkanttoleranzen.

Automized welding production of switch boards by means of 2 ROMATs 55 with two 180° indexing units.

Additional sensors at the robot take care of tolerances of box dimensions, which inevitably occur during bending process.

6. 12-achsiges Roboterportalschweißsystem mit ROMAT 76 und Orbit-Werkstückpositionierer zum Schweißen von Vibrationswalzengehäusen.

Gantry-type welding system with 12 axes with ROMAT 76 and ORBIT workpiece positioner for welding of oscillating cylinders.



7. ROMAT 76 mit 2 Werkstückpositionierern der Type WPEK sowie 180° Dreh-einrichtung für den Transport der Bauteile von der Einlege- in die Schweißstation.

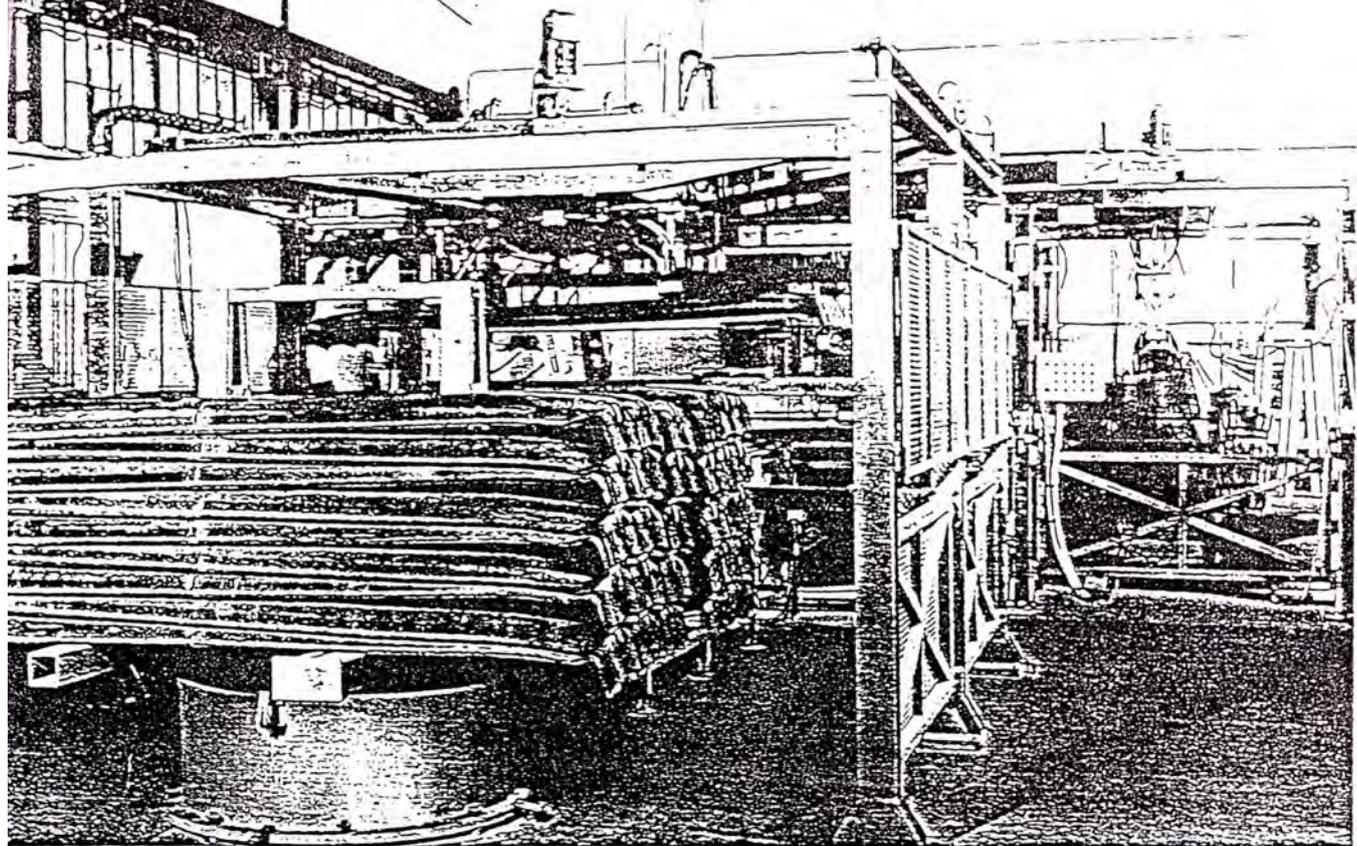
7. a. Ausschnitt aus der Gesamtanlage Bild 7. Geschweißt werden Teile aus dem Fahrzeugbau unter Verwendung der Nahtsucheinrichtung.

ROMAT 76 with 2 workpiece positioners type WPEK and 180° turning device for transportation of the components from the loading station into the welding station.

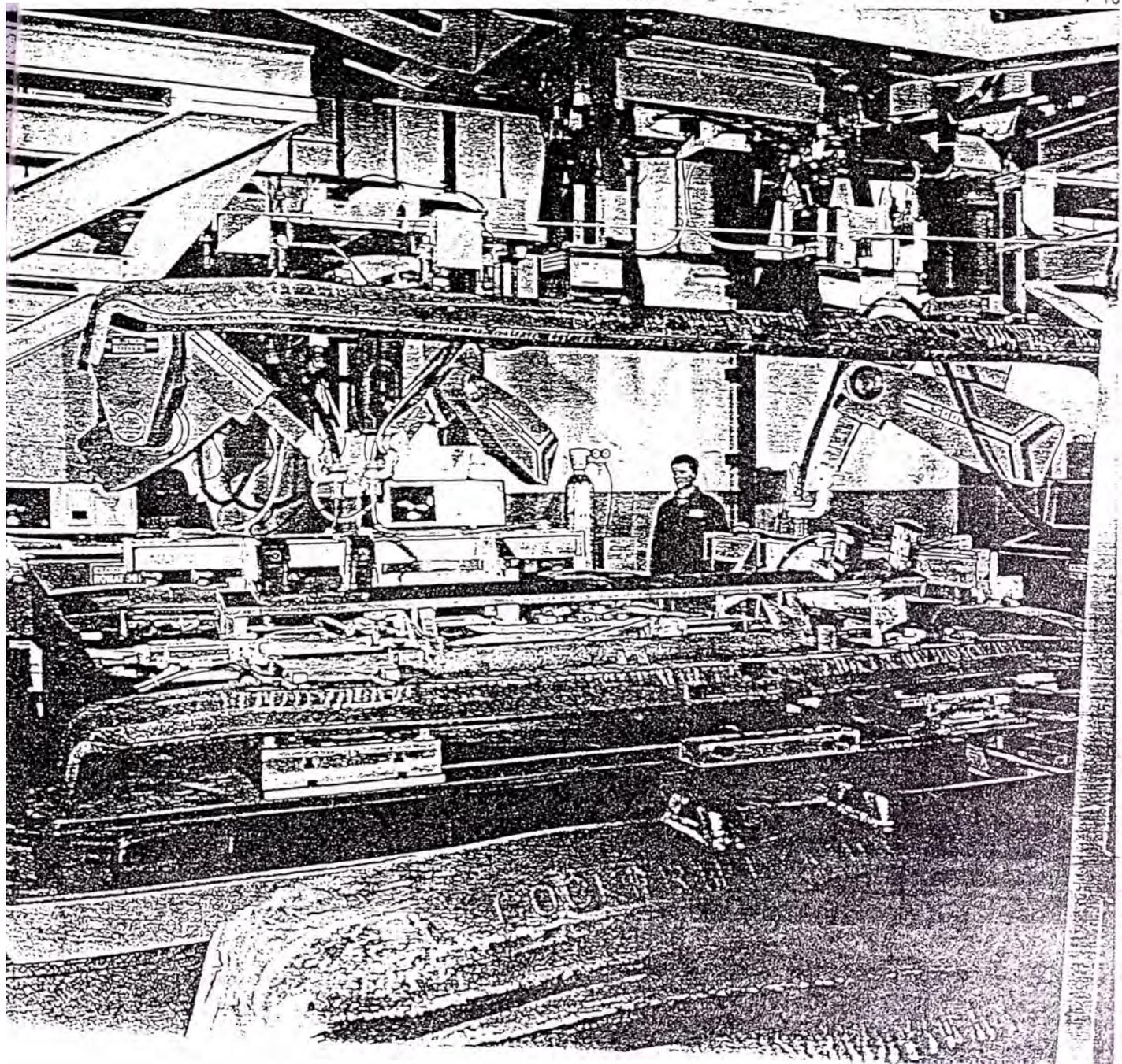
7. a. Section of the welding plant shown in picture 7. Welding of car components while utilizing the seam search facility.

8. MAG-Roboterschweißanlage ROMAT 56 mit Einlege- und Schweißstation zum Schweißen von Gasdruckstoßdämpfern.

MAG robotic welding cell ROMAT 56 with loading and welding station for welding of gas pressure dashpots.



Y 10



PROYECTO "INSTALACION DE ROBOT DE SOLDADURA" - CRONOGRAMA

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Nombres de los recursos
1	Inicio del Proyecto	0 días	lun 04/08/03	lun 04/08/03	Gerente General
2	Formación del Equipo de Proyecto	5 días	lun 04/08/03	vie 08/08/03	Jefe de Proyecto
3	Planeamiento de Recursos Humanos	10 días	lun 11/08/03	vie 22/08/03	Jefe de Proyecto/RR HH
4	Análisis de piezas fabricadas por soldadura en planta	10 días	lun 11/08/03	vie 22/08/03	Ing. De Diseño/ Procesos
5	Cuantificación del Volumen anual de piezas por WPS	5 días	lun 25/08/03	vie 9/09/03	Ing. De Diseño/ Procesos
6	Establecer parámetros funcionales del robot	5 días	lun 01/09/03	vie 05/09/03	Ing. De Procesos/ Metodos
7	Definir accesorios	10 días	lun 08/09/03	vie 19/09/03	Ing. De Procesos/ Metodos
8	Definir Lenguaje de Programación	5 días	lun 22/09/03	vie 03/10/03	Ing. De Procesos/ Metodos
9	Entregar perfil del robot	10 días	lun 29/09/03	lun 13/10/03	Jefe de Proyecto
10	Solicitar cotizaciones	25 días	mar 14/10/03	lun 17/11/03	Logística
11	Solicitar presupuesto de compra	15 días	mar 18/11/03	lun 08/12/03	Jefe de Proyecto
12	Evaluación y selección de cotizaciones	10 días	mar 09/12/03	lun 22/12/03	Jefe de Proyecto
13	Evaluación técnico económica	5 días	mar 23/12/03	mar 30/12/03	Jefe de Proyecto
14	Cotización final y pedido de repuestos	10 días	mié 31/12/03	mié 14/01/04	Jefe de Proyecto
15	Aprobación del presupuesto y de la orden de compra	15 días	jue 15/01/04	mié 04/02/04	Gerente General
16	Operación de leasing y emisión de orden de compra	10 días	jue 05/02/04	mié 18/02/04	Finanzas/Logística
17	Recepción de información técnica del modelo elegido	10 días	jue 05/02/04	mié 18/02/04	Logística
18	Diseño de nuevos procedimientos de fabricación	30 días	jue 19/02/04	mié 31/03/04	Ing. De Diseño
19	Layout	5 días	jue 19/02/04	mié 25/02/04	Ing. De Procesos
20	Acondicionamiento del lugar de ubicación	5 días	jue 26/02/04	mié 03/03/04	Ing. De Mantenimiento
21	Cimentación	5 días	jue 04/03/04	mié 10/03/04	Mantenimiento/Logística
22	Instalaciones eléctricas y de iluminación	15 días	jue 04/03/04	mié 24/03/04	Ing. De Mantenimiento
23	Sistema de seguridad de la celda de soldadura	10 días	jue 04/03/04	mié 17/03/04	Ing. De Mantenimiento
24	Selección de operarios del robot	5 días	jue 05/02/04	mié 11/02/04	Jefe de Proyecto/RR HH
25	Capacitación teórica	90 días	jue 12/02/04	vie 18/06/04	RR HH
26	Embarque y llegada del robot	65 días	jue 19/02/04	vie 21/05/04	Logística
27	Desaduanaje	5 días	lun 24/05/04	vie 28/05/04	Logística
28	Recepción del robot	2 días	lun 31/05/04	mar 01/06/04	Logística
29	Instalación	3 días	mié 02/06/04	vie 04/06/04	Ing. De Mantenimiento
30	Protocolo de prueba	1 día	lun 07/06/04	lun 07/06/04	Ing. De Mantenimiento
31	Prueba en vacío	2 días	mar 08/06/04	mié 09/06/04	Mantenimiento/Procesos
32	Puesta en marcha	5 días	jue 10/06/04	mié 16/06/04	Mantenimiento/Procesos
33	Capacitación en el área de trabajo	10 días	jue 10/06/04	mié 23/06/04	Técnico Proveedor
34	Periodo de prueba en producción	40 días	jue 17/06/04	lun 18/08/04	Ing. De Procesos
35	Prueba de los nuevos procedimientos de fabricación	30 días	jue 17/06/04	lun 02/08/04	Ing. De Diseño/ Procesos
36	Cierre del proyecto	0 días	lun 16/08/04	lun 16/08/04	Gerente General

