



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“AUTOMATIZACIÓN DEL
PROCESO DE PROYECCIÓN
TÉRMICA MEDIANTE UN
BRAZO ROBOT”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA PRESENTA:

ABRAHAM RUIZ RAMOS

DIRECTOR DE TESIS: M. I. EDUARDO GARDUÑO



MÉXICO, D. F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS:

A nuestra máxima casa de estudios:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.

A nuestra facultad:

FACULTAD DE INGENIERÍA

A mi asesor y director de tesis:

M. I. EDUARDO GARDUÑO.

Por compartir su tiempo y sus conocimientos.

Al personal de Manufactura Avanzada:

Por su apoyo en la realización de este proyecto.

A todo el personal que me brindo su apoyo en los laboratorios de Metalografía, Pruebas Mecánicas y en el Microscopio electrónico.

A mis padres:

***VICENTE RUIZ VALENCIA (IN MEMORIAM)
NEMESIA RAMOS LOPEZ***

A mi esposa:

ALMA BERTHA RAMIREZ RAMIREZ

A mis hermanos:

***VIRGINIA
ANGEL
MAGDALENA (IN MEMORIAM)
VICENTE***

A mis familiares:

Tíos, primos, sobrinos y a todos aquellos que directa o indirectamente siempre me apoyaron para la terminación de mi carrera.

Para ustedes con agradecimiento.

ABRAHAM RUIZ RAMOS.

Í N D I C E

	Página.
INTRODUCCIÓN.	1

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROCESO DE PROYECCIÓN.

1.1	INTRODUCCIÓN.	2
1.2	CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE PROYECCIÓN TÉRMICA.	3
	1.2.1 PROCESO DE PROYECCIÓN POR FLAMA.	3
	1.2.2 PROCESO DE PROYECCIÓN POR ALAMBRE.	5
1.3	MATERIALES PARA LA PROYECCIÓN.	7
	1.3.1 MÉTODOS PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVOS.	7
1.4	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE POLVOS.	9
	1.4.1 TAMAÑO DE GRANO.	9
	1.4.2 ANÁLISIS QUÍMICO Y DE FASES.. . . .	10
	1.4.3 MORFOLOGÍA DE LOS GRANOS.	11
	1.4.4 DENSIDAD APARENTE Y FACILIDAD DE FLUJO.	12
1.5	PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.	12
1.6	APLICACIONES EN LA INDUSTRIA.	18

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL EQUIPO DE PROYECCIÓN TÉRMICA AUTOMATIZADO.

2.1	INTRODUCCIÓN.	21
2.2	IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD.	22
	2.2.1 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.	24
2.3	DISEÑO CONCEPTUAL.	25
	2.3.1 GENERACIÓN DE SOLUCIONES.	25
	2.3.2 AMBIENTE DE TRABAJO.	25
	2.3.3 GENERACIÓN DE IDEAS.	26
	2.3.4 EVALUACIÓN DE SOLUCIONES.	26
2.4	PROCEDIMIENTO PARA MINIMIZAR LA VULNERABILIDAD DEL CONCEPTO.	27
2.5	FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL EQUIPO.	34

CAPÍTULO III FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA.

3.1	DISEÑO DE DETALLE.	36
3.2	ESPECIFICACIONES DEL CONCEPTO DE DISEÑO.	36
3.3	DISTINTOS TIPOS DE MODELADO.	38
3.4	REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO MEDIANTE EL MODELADO DE SÓLIDOS.	39
3.5	SELECCIÓN DE MATERIAL.	43
3.6	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN (MECÁNICA) DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA.	46
	3.6.1 SOPORTE DE LA PISTOLA ROCIADORA.	46
	3.6.2 CARCASA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.	47
	3.6.3 ACTUADOR DEL GATILLO.	48
	3.6.4 SOPORTE DEL MOTOR ACCIONADOR DE LA VÁLVULA DE GAS.	48
	3.6.5 BRAZO ACCIONADOR DE LA VÁLVULA DE GAS.	49
3.7	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN (ELECTRÓNICA) DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA.	50

CAPÍTULO IV BANCO DE PRUEBAS.

4.1	INTRODUCCIÓN.	58
4.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD.	58
4.3	PREPARACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO.	59
	4.3.1 PROGRAMA DEL BRAZO MECÁNICO Y DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.	60
	4.3.2 RESULTADO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.	61
4.4	HUELLAS DE PROYECCIÓN.	61
4.5	PRUEBAS.	63
	4.5.1 RUGOSIDAD.	64
	4.5.2 MORFOLOGÍA SUPERFICIAL.	67
	4.5.3 ESPESOR DE LA CAPA.	68
	4.5.4 ANÁLISIS QUÍMICO POR MEDIO DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.	70
4.6	CÁLCULO DEL TIEMPO DE PROYECCIÓN TÉRMICA PARA UN ESPESOR DETERMINADO.	71
4.7	CÁLCULO DEL COSTO.	74
4.8	EJEMPLO DE UNA PROYECCIÓN TÉRMICA DEFICIENTE.	75
4.9	FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA.	76

CAPÍTULO V
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1	ANÁLISIS DEL OBJETIVO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA MEDIANTE UN BRAZO MECÁNICO.	80
5.3	COMENTARIOS.	81
	ANEXOS.	82
	BIBLIOGRAFÍA.	91

INTRODUCCIÓN

En la terminología más simple, el recubrimiento por rociado térmico comprende el calentamiento del material, en forma de polvo o de alambre, hasta fundirlo. El material se transporta mediante una corriente de gas o de aire comprimido para su depósito, creando una estructura de superficie en un determinado sustrato. El material de recubrimiento puede consistir de un solo elemento, pero frecuentemente se puede agregar una aleación ó compuesto con propiedades físicas y químicas que únicamente se pueden obtener mediante el recubrimiento por rociado térmico.

En forma breve, los recubrimientos térmicos son una forma altamente redituable de agregar características para un óptimo funcionamiento en un determinado sustrato. Las variaciones en este tema técnico son virtualmente ilimitadas. Los recubrimientos pueden ser metálicos, cerámicos, polímeros o cualquier combinación que se necesite para obtener un amplio rango de características físicas.

En la actualidad existen distintos procesos de recubrimiento, cada uno con distintas características. Dentro de estos procesos podemos mencionar el sistema de rociado térmico, sistema de proyección por alta velocidad de oxígeno y combustible, sistema de plasma, sistema de alambre, entre otros. Se pueden aplicar en forma manual, mecánica y/o con un robot programado a través de un software.

Muchas industrias utilizan los recubrimientos para prolongar la vida de sus productos, aumentar su eficiencia y reducir costos de producción y de mantenimiento. Los recubrimientos por rociado térmico pueden ser el medio más redituable para proteger la superficie del sustrato contra el desgaste o la corrosión. Otras aplicaciones primordiales de los recubrimientos por rociado térmico comprenden la restauración de medidas, obtención de tolerancias precisas, así como modificación de las propiedades térmicas y/o eléctricas.

El objetivo de esta tesis es automatizar el proceso de proyección térmica mediante un brazo mecánico de tipo industrial (MOTOMAN) acoplado a este una pistola de rociado térmico por flama, esto con la finalidad de obtener recubrimientos superficiales homogéneos que permitan ahorros monetarios, un recubrimiento más óptimo y de mejor calidad, así como una mayor producción a bajo costo.

Esto se realizará buscando siempre una forma práctica, fácil y amigable para el usuario y a su vez con bajos costos para su producción.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se explicarán los distintos tipos de procesos existentes para la proyección térmica, rociado metálico o metalización de piezas, así como las características de éstos y dando a conocer los diferentes materiales que pueden utilizarse para tal proceso. También se darán a conocer los diferentes pasos que se deben llevar a cabo para la preparación de la pieza, dentro de los cuales se debe proporcionar una buena limpieza para así obtener la adherencia de nuestro material proyectado y con ello llegar al resultado deseado, figura 1.1.

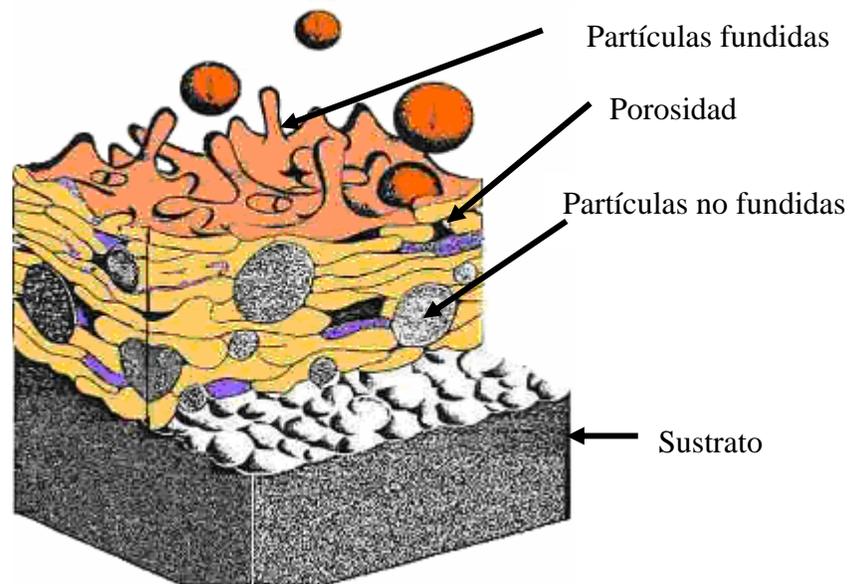


Fig. 1.1 Diagrama esquemático de rociado térmico donde el material es impulsado a alta velocidad y temperatura hacia la pieza de trabajo.

Las técnicas de rociado térmico utilizan sistemas de combustión, plasma rociado y aporte por arco eléctrico. Los recubrimientos pueden aplicarse bajo condiciones atmosféricas normales o en ambientes altamente controlados. Esta técnica se puede aplicar además en forma manual, mecánica y/o con un robot programado a través de un software.

Dentro de la clasificación de los procesos para la proyección se pueden mencionar los siguientes: proyección por flama, proyección por alambre, proyección por plasma, proyección por alta velocidad de oxígeno y combustible comúnmente conocido como HVOF y un último que es el de proyección por detonación. Estos procesos son utilizados dependiendo del tipo de material con el cual se realiza el recubrimiento. Este trabajo se enfoca principalmente en el

proceso de proyección por flama, esto debido a que es el más comúnmente utilizado debido a su fácil manejo y aplicación. También se darán a conocer las ventajas y desventajas de este último con respecto a los otros procesos, los cuales tienen un cierto grado de automatización, la cual se explicará más adelante.

En la actualidad existen distintas necesidades y dependiendo de éstas se utiliza el proceso de proyección térmica más conveniente. Se pueden obtener ahorros en los costos de reparación de cada pieza, pero en ocasiones es más costoso rehabilitar la pieza que adquirir una nueva, esto debido a que a parte de dar a la pieza reconstruida las propiedades específicas con las que fue elaborada, se puede ampliar su gama de propiedades para obtener un mejor tiempo de vida.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE PROYECCIÓN TÉRMICA

Los procesos de proyección térmica se clasifican dependiendo del tipo de combustible a utilizar:

Proceso de combustión. Dentro de este proceso se subdividen en :

- Rociado por flama
- HVOF (High Velocity Of Flame)
- Detonación

Proceso eléctrico. Dentro de este proceso se clasifican los siguientes tipos de proyección.

- Arco eléctrico
- Plasma

1.2.1 PROCESO DE PROYECCIÓN POR FLAMA

El proceso de proyección por flama fue utilizado por primera vez en 1902 por el ingeniero suizo M. U. Schoop. Este proceso es el más antiguo de todos.

En este tipo de procesos se utilizan polvos metálicos como material de aporte, el cual se funde por medio de un proceso de combustión en los que se involucran diferentes gases los cuales son: el *oxígeno* como base el cual es utilizado como carburante y se puede utilizar el *acetileno, nitrógeno o propano* como combustible, esto dependiendo del material a fundir.

El principio fundamental de este proceso es el llevar a cabo la fundición del material en la punta de la pistola, en la cual el material fundido sale disparado con la ayuda de la inyección de aire comprimido, proyectando con ello el material sobre la superficie de trabajo, la cual es preparada previamente y por medio de la rugosidad del material base se logra que se adhiera a ésta de tal forma que se crea una estructura coherente como lo muestra la figura 1.2.

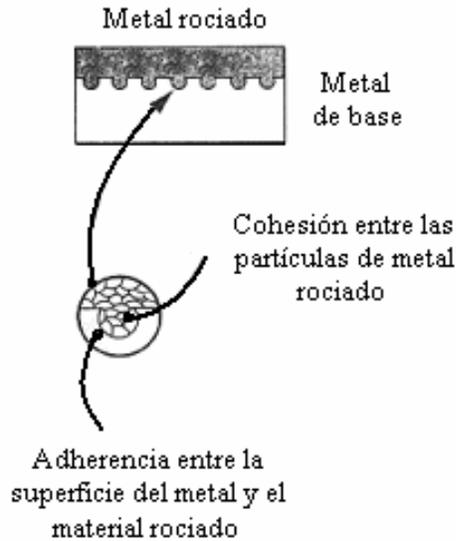


Figura 1.2 Liga de la superficie

Con este proceso se pueden tratar los materiales a reparar con un punto de fusión por debajo de los $2,750^{\circ}\text{C}$ (5000°F). Dentro de las piezas de trabajo se pueden reparar madera, plástico, así como otros materiales blandos y metales como el aluminio, ya que gracias a que las partículas de metal rociadas son transportadas por un flujo de aire, esto ayuda como un entorno refrigerante dando como resultado la no alteración de las características físico-térmicas de la pieza a renovar. En la figura 1.3 se muestra un diagrama básico de un equipo de proyección por flama y en la figura 1.4 se muestra la estructura principal de una pistola de proyección.

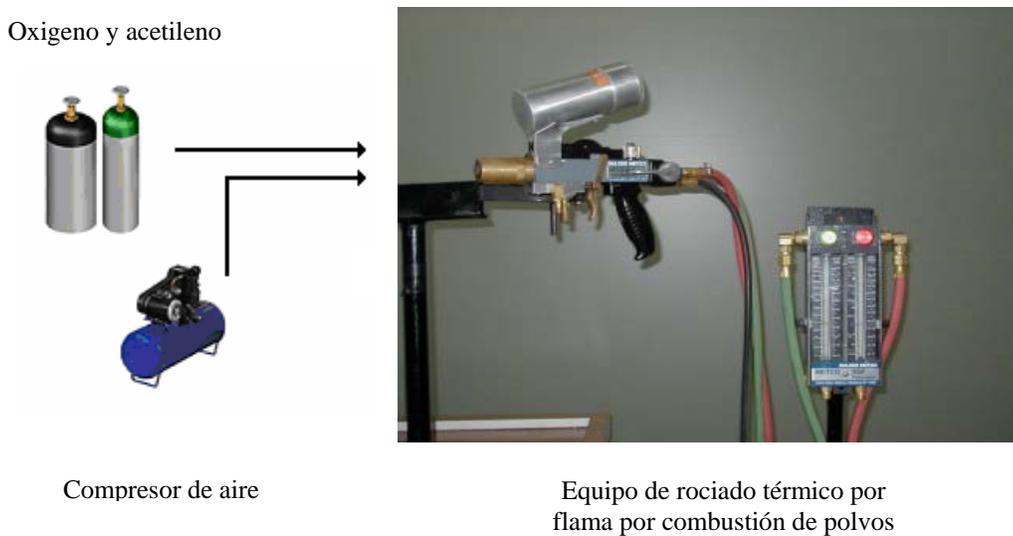


Figura 1.3 Diagrama de un equipo de rociado térmico por flama

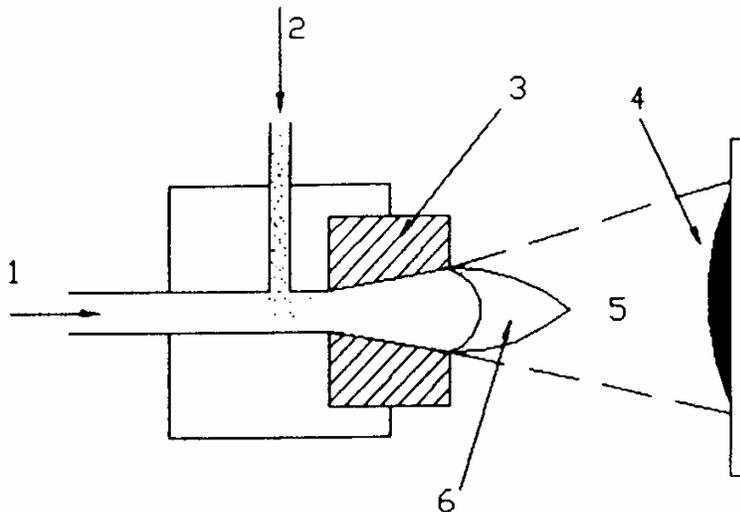


Figura 1.4 Esquema de rociado térmico por flama (FS). 1. Flujo de los gases (combustible y oxígeno); 2. Inyección de polvos; 3. Protección del soplete; 4. Recubrimiento; 5. Corriente de partículas; 6. Combustión de la flama

Este tipo de proceso es el más comúnmente utilizado en la industria, ya que es empleado en procesos específicos de manufactura minoritaria, dando como resultado bajos costos en la manutención y reparación de piezas de equipos.

1.2.2 PROCESO DE PROYECCIÓN POR ALAMBRE

Este proceso fue llevado a cabo por primera vez en 1938 y se desconoce quién fue la primera persona en ponerlo en marcha. Este consiste en la utilización de dos electrodos de alambre, uno de carga positiva (+) y el otro de carga negativa (-), los cuales son alimentados en forma continua por medio de carretes.

En el interior de la pistola los dos electrodos al entrar en contacto por medio de una carga eléctrica, hacen que se unan y en combinación del agente combustible se funden y el material es expulsado de la pistola de proyección con ayuda de un flujo de aire comprimido en forma de finas partículas, las cuales viajan hasta impactarse en la pieza a recubrir. El contacto entre los electrodos se realiza en forma de pulsaciones a una velocidad de 100 veces por segundo aproximadamente.

En éste tipo de procesos se pueden tener dos electrodos de materiales distintos como máximo, un tipo para el cátodo y otro para el ánodo, produciendo con ello una mezcla homogénea y con ello dando una superficie resistente al desgaste. Debido a que este proceso utiliza la energía eléctrica para su funcionamiento se emplean moto generadores o fuentes de energía de estado sólido, ya que se deben de ocupar corrientes de entre 50 y 650 amperes, esto hace que la rapidez del proceso sea mayor con respecto a los demás procesos llegando

a alcanzar velocidades de desplazamiento de hasta 60 metros por segundo con depósitos de 0.3 a 0.5 milímetros. Para un mejor resultado del proceso, la pistola rociadora debe de estar separada del material a proyectar o pieza en reparación entre 25 y 30 centímetros (10 a 12 pulgadas) y con esto utilizar el 100 % del material de rocío.

Este proceso involucra algunos factores de riesgo; dentro de ellos se encuentra la alta velocidad a la que se debe realizar el trabajo provocando con esto humos, polvos y gases nocivos para la salud del operario, dando como resultado que éste utilice equipo de protección como lo son gafas con vidrios de sombras del número 4 o 5 según lo requiera, así como la utilización de pantallas protectoras en la pistola de proyección. Un ejemplo de equipo de proyección por alambre se ilustra en la figura 1.5 y un diagrama básico de la pistola de proyección por alambre se ilustra en la figura 1.6.

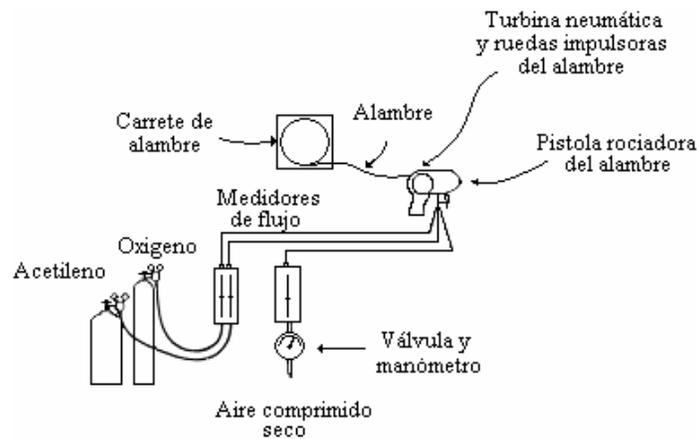


Figura 1.5 Equipo de proyección por alambre

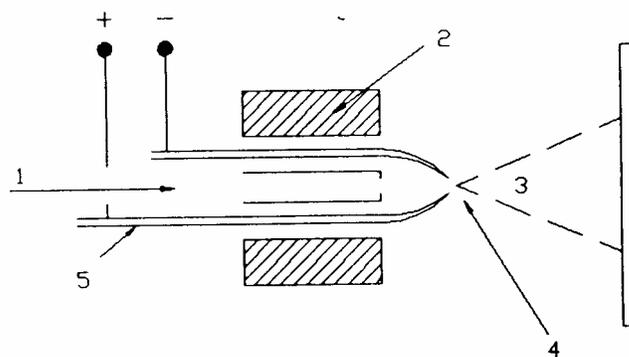


Figura 1.6 Esquema de rociado térmico por arco. 1. Gas atomizador; 2. Protección del soplete, 3. proyección de las partículas fundidas; 4. Arco eléctrico; 5. Electrodos consumibles

1.3 MATERIALES PARA LA PROYECCIÓN

Los materiales usados para recubrimiento por rociado son principalmente los polvos, barras y alambres. Los últimos son metales o aleaciones que son usados solamente para los procesos de rociado por arco(AS) y rociado por flama (FS-alambre)

También existen otros materiales para recubrimiento mediante rociado térmico como son cintas y recubrimientos mediante selladores (epóxicos o resinas de silicona).

1.3.1 MÉTODOS PARA LA PRODUCCIÓN DE POLVOS

Los métodos de fabricación de polvos dependen principalmente del tipo de material que se va a utilizar como se menciona en los siguientes casos:

Los metales y aleaciones usualmente se preparan mediante alguno de los métodos de atomización y en otras ocasiones por sinterizado. Los óxidos y los cerámicos son manufacturados por fusión o sinterizado seguido por presión, pero también por métodos de calcinación.

La composición de polvos se puede hacer por medio de una técnica conocida como la técnica de revestido.

Probablemente el método de fabricación de polvos más versátil es el rociado en seco que contiene pequeñas partículas de cierto material, que se mantienen unidas en un aglomerado esférico con unión o enlace orgánico. Los polvos preparados de esta forma pueden mejorar su densificación mediante el sinterizado. Algunas veces, para modificar la composición del polvo, las partículas preparadas por alguno de los métodos anteriormente mencionados son mezcladas.

Algunos de los polvos más usados actualmente son:

- Los metales (molibdeno) y aleaciones (aleaciones autofundentes. Ni, 16 wt. % Cr, 3.5 wt. % Si, 4.5wt. % Fe, 1 wt. % C).
- Óxidos cerámicos (Al_2O_3).
- Mezclas cerámicas - metálicas (grafito revestido de Ni o WC aglomerado con 12 wt. % Co).
- Carburos (Cr_23C_6).
- Otros polvos por ejemplo, aleaciones aluminio - silicio aglomerado con 47 wt. % poliamida.

A continuación se presentan algunas tablas donde se muestran qué polvos son fabricados por dichos procesos:

Tabla 1.1 Polvos típicos producidos a partir del método de atomización

Polvo	Composición Química (wt. %)	Medio de Enfriamiento	Tamaño de grano(μm)	Nombre comercial
Metales	Al Ni	Gas Gas	-48+5	Amdry 3033 Valco 2120
Aleaciones	BAI. Ni 20 Cr BAI.Ni 15 Cr, 4.5 Si, 4Fe 3B	Agua Gas inerte		Amperit 250 CSM N60

Tabla 1.2 Producción de polvos típicos usando la fusión (sinterizado) y triturado

Polvos	Composición Química (wt.%)	Método de producción	Tamaño de grano (μm)	Nombre comercial
Óxidos Óxido de cromo	99.5	Fusión y triturado		Amperit 704
	BAI. Cr ₂ O ₃ , 5Si O ₂ , 3TiO ₂	Sinterizado y triturado	-120+45	Metco 136 CP
Óxido de aluminio con Óxido de titanio	BAI. Al ₂ O ₃ , 3 TiO ₂	Fusión y triturado	-45+22	Amdry 6204
Cementados Carburo de tungsteno con cobalto	BAI. WC, 12Co BAI. WC, 10Co	Fusión y triturado sinterizado y triturado	-74+45	Valco 5101 Al-1071
Carburos Carburos de cromo	Cr ₂ C ₃	Fusión y triturado	-106+30	Amdry 304

Tabla 1.3 Polvos comúnmente producidos usando el método de Aglomerado y densificación

Polvo	Densificado	Composición Química (wt%)	Tamaño de grano	Nombre comercial
<i>Metálico</i> Molibdeno	Sinterizado	Mo		Amperit 102
<i>Cerámicos</i> Cromo- Silice		BAI. Cr ₂ O ₃ , 5SiO ₂	-63+15	
Zircónia-ytria	Plasma RF	BAI. Zr O ₂ , 8 Y ₂ O ₃		Amdry 6610
<i>Cementados</i> Carburo de tungsteno con cobalto		BAI. WC 12Co		Valco 5104

Tabla 1.4 Polvos Típicos Revestidos

Polvo	Composición química (wt. %)	Tipo de recubrimiento	Tamaño de grano(μm)	Nombre comercial
Níquel aluminio	BAI. Ni, 4.5 Al	Poroso	-88+45	Metco 450
Al 12Si con poliamida	BAI. AlSi, 47 poliamida,	Poroso		Amdry
Ni- grafito	6 Enlace BAI. Ni, 40 Grafito	Denso		Amperit 2000

1.4 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE POLVOS

Los parámetros más importantes de los métodos de caracterización son: *tamaño de grano, composición química de fases, forma, porosidad interna (correlacionada con densidad aparente) y grado de fluidez.*

1.4.1 TAMAÑO DE GRANO

El tamaño de grano a seleccionar para el análisis se realiza por medio de los siguientes métodos:

- Análisis mecánico por tamizado
- Rayos X
- Dispositivo para dispersión de rayos láser

Tabla 1.5 Equivalencias entre tamaños de mallas, números de normas ASTM: B214-86 y DIN 32529

Número de malla (ASTM)	Tamaño de grano (tamaño de tamiz) (μm)	Número de designación DIN	Tamaño de grano (μm)
100	150	0	-22.4+5.6
120	125	1	-45+22.4
140	106	2	-90+45
200	74	3	-45+5.6
230	63	4	-63+16
325	44	5	-106+32
400	37	6	-125+45

1.4.2 ANÁLISIS QUÍMICO Y DE FASES

Los usuarios de polvos están interesados en especial en la siguiente información:

La composición química promedio de varias partículas, la distribución de elementos dentro de las partículas de polvo y fases cristalinas presentes en los polvos.

1.4.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de los polvos se puede determinar con el uso de variadas técnicas analíticas. La más común es la llamada emisión de plasma por espectroscopia (ICPES) o la técnica de espectroscopia por fluorescencia de R-X.

1.4.2.2 DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS

Las partículas aglomeradas o polvos recubiertos contienen diferentes fases (elementos) y pueden ser de importancia si están distribuidas de forma homogénea o no en la partícula (polvos aglomerados) o si el recubrimiento cubre la superficie correctamente y en su totalidad. Para obtener esta información es necesario la obtención de un estudio metalográfico de la sección transversal de las partículas de polvo. La distribución en 2D de los elementos se puede obtener mediante la dispersión de rayos X (espectroscopia) (WDS). Estas técnicas de análisis son opcionales para muchos microscopios electrónicos de barrido (SEM).

1.4.2.3 ANÁLISIS DE FASE

El análisis de las fases presentes se puede conocer mediante difracción de rayos X. Los equipos modernos están computarizados y equipados con un catálogo de fases cristalinas, lo que facilita la identificación.

1.4.3 MORFOLOGÍA DE LOS GRANOS

La observación de la forma de los granos permite reconocer la técnica de fabricación. Para obtener información completa sobre la composición del polvo, es necesario observar los granos externos así como los internos. Lo anterior se puede hacer con especímenes preparados por encapsulado del polvo en resina y sucesivamente rectificado y pulido. Los especímenes son observados con un microscopio óptico.

Tabla 1.6 Correlación entre morfologías internas y externas de grano y método de producción de polvos

Morfología externa		Morfología interna	
Granos	Técnica	Granos	Técnica
Esferas con superficie densa	Atomización por gas Aglomerado y densificado, Sol-gel	Esferas sin poros	Gas Atomizador Sol-gel
Esferas con superficie rugosa Periferia irregular	Rociado-secado Atomización Agua	Esferas porosas Esferas huecas	Aglomerado Aglomerado ó aglomerado y densificación
Bloque angular	Fusión y triturado Sinterizado y triturado Triturado Calcinación	Bloque angular denso Bloque angular poroso Recubrimiento con revestimiento denso	Fusión y triturado Sinterizado y Triturado Calcinación Revestimiento denso

1.4.4 DENSIDAD APARENTE Y FACILIDAD DE FLUJO

Las mediciones de densidad aparente y fluidez están normalizadas por las normas ASTM B 329-76 y B 213-83, respectivamente. La medida de densidad consiste en un muestreo con pesos y volúmenes calibrados en un tazón (0.25 cm³) y la medición de fluidez consiste en medir el tiempo necesario en que fluye una muestra de 50 gr. de una porción de polvo a través de una boquilla calibrada en un tubo de 2.54 mm de diámetro.

1.5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las superficies sometidas a recubrimiento mediante el rociado térmico deben ser preparadas adecuadamente. A continuación se citan los métodos de preparación más comunes:

- Desengrasado (usando solventes orgánicos comunes, acetona o algunas veces vapor como desengrasante - especialmente para piezas grandes).
- Formado de la pieza (si es necesario), para ser posteriormente cubierta y luego rectificadas hasta obtener la medida deseada.
- Mascarilla, previa a la preparación de superficies rugosas.
- Rugosidad, preparación de superficies que serán recubiertas.
- Mascarilla, previa al rociado térmico.

La mascarilla previa a la preparación de superficies rugosas se hace con el uso de diferentes tipos de mascarillas. Sólo el silicón o teflón se puede usar como mascarilla para superficies rugosas o para ciertos procesos de recubrimientos por rociado térmico. Es importante cuidar que la temperatura de la superficie a tratar se mantenga constante si el rociado térmico es lento.

La mascarilla previa a la rugosidad es comúnmente hecha con telas, caucho o plástico.

La mascarilla previa al rociado térmico se hace con metales o cintas de fibra de vidrio, que se cortan a las dimensiones deseadas. También existen líquidos compuestos disponibles en el mercado, que previenen la adhesión de partículas calientes durante el rociado térmico y se pueden disolver con agua después del proceso. Los barrenos y las ranuras en la pieza rociada térmicamente se pueden proteger con teflón o insertos metálicos.

Las técnicas de preparación de superficie más comunes incluyen lo siguiente:

- *La macro rugosidad*, que consiste en cortar hilos en “V” o cortar ranuras en espiral. Esta técnica podría ser aplicada si el granallado no es recomendable para obtener una buena adherencia del recubrimiento en superficies grandes. En este caso la macro rugosidad es seguida de continuo granallado de acabado áspero.
- *Preparación de superficie rugosa por agentes químicos*, que no es muy frecuente en laboratorios externos debido a la incompatibilidad de fabricación en otros talleres. Usa rociadores para recubrir las piezas. Es recomendado un agente compuesto de una parte por volumen del 20% de ácido sulfúrico y tres partes por volumen del 10% de ácido nítrico para cada superficie de cobre a preparar antes del rociado. Los tiempos de preparación de la superficie rugosa por acción química son de 10 horas. Los aceros inoxidables pueden prepararse usando un agente de dos partes por volumen de ácido nítrico al 40% y tres partes por volumen de ácido clorhídrico al 20%. El tiempo del proceso debe de ser de 10 min.
- *El Granallado*, es la técnica más común para preparar una superficie rugosa que consiste en: Proyectar un abrasivo para dar limpieza y rugosidad a la superficie antes del recubrimiento por medio de la técnica de rociado térmico, figura 1.7.

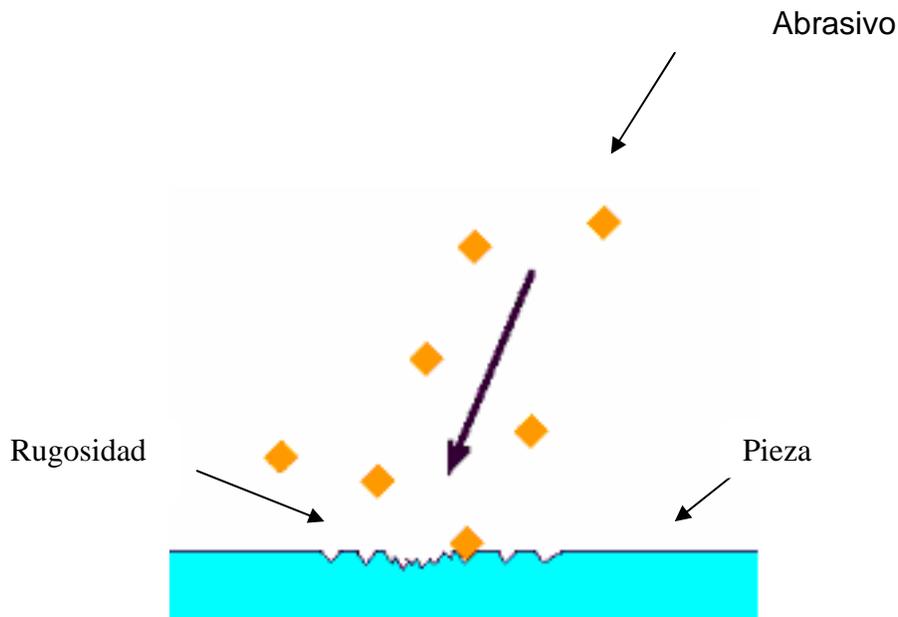


Figura 1.7 Proyección de un abrasivo hacia la pieza de trabajo

Los tipos de abrasivos más usados son:

- Granos de acero o hierro fundido

- Esferas metálicas
- Arenas cerámicas como sílice, alumina o carburo de silicio



Figura 1.8 Óxido de aluminio

El tamaño del abrasivo depende tanto del espesor de la pieza a granallar como también del tipo de rugosidad para el área a granallar. Cabe de mencionar que la arena sílica fina generalmente se usa para acabados finos y la alúmina para acabados burdos. Otro punto importante es la reducción del tamaño del abrasivo debido al proceso de granallado. El abrasivo debe ser cambiado con frecuencia dependiendo de la presión, fuerza de impacto y de la dureza de las piezas a granallar. En la Tabla 1.7 se muestran algunas propiedades de diferentes tipos de abrasivos para el granallado.

Tabla 1.7 Propiedades de algunos abrasivos

Abrasivo	Forma	Dureza (MOHS) (Rockwell Rc)	Densidad (Lbs/ft³)	Típica presión de trabajo (Psi)	Número de usos Recomendables	Tamaño (Malla)
Óxido de aluminio	angular	8-9 (40-66)	125	20-90	3-5	12-325
Arena de acero	angular	8-9 (40-66)	230	20-90	50-100	10-325
Garnet	angular	8	130	30-80	3-5	16-325

La preparación de las piezas rugosas debe hacerse con mucho cuidado. El granallado de acabado áspero puede crear esfuerzos en la superficie, en consecuencia la pieza sufre deformación después del tratamiento. Debido a lo anterior se recomienda en muchas ocasiones el uso de abrasivo fino y baja

presión. El abrasivo es alimentado a la boquilla por gravedad o por succión (ver figura 1.9). El aire que proviene del compresor (3) se introduce en la cámara (2), donde se expande. Al pasar el aire por la cámara, genera una presión de vacío que succiona el abrasivo (5) del contenedor (4) y lo transporta a través de la manguera (6) hasta la salida de la boquilla (1). Al salir por la boquilla ésta se impacta al sustrato o pieza.

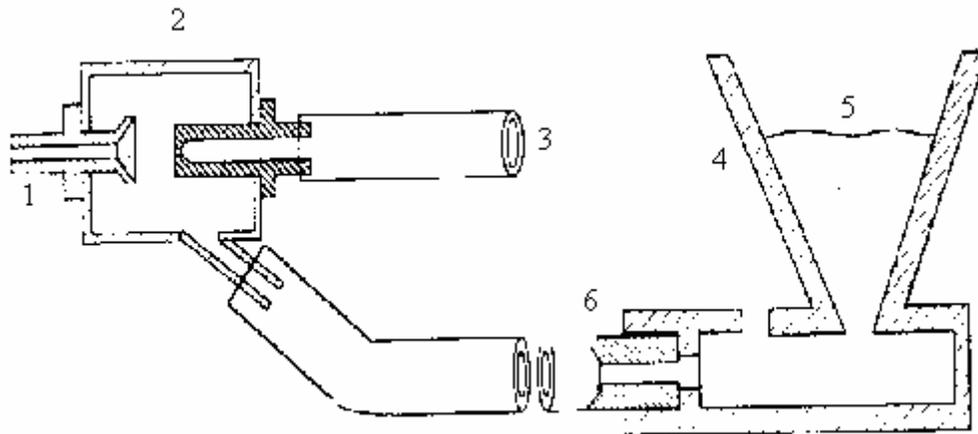


Figura 1.9 El sistema de succión de granalla; 1. Boquilla; 2. Cámara de descompresión; 3. Entrada de aire comprimido; 4. Contenedor de abrasivo; 5. Abrasivo; 6. Manguera

Existen en la industria diferentes equipos de granallado, pero los más utilizados son los portátiles, las cabinas y los tipo cuartos como se observa en las figuras 1.10, 1.11 y 1.12.



Figura 1.10 Granallador Portátil

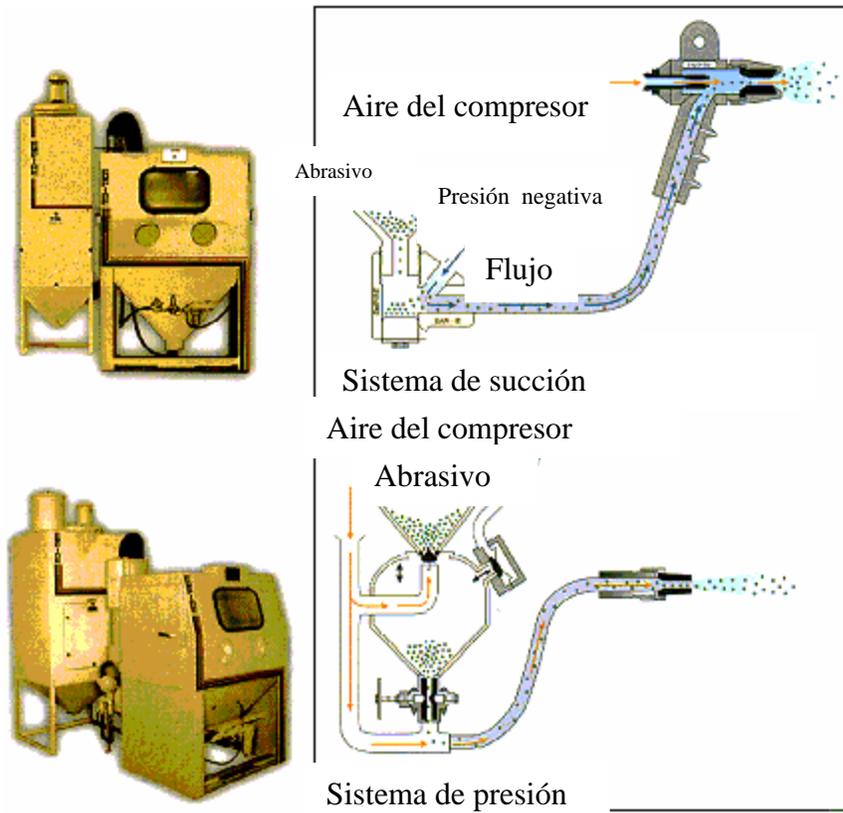


Figura 1.11 Principales operaciones del sistema de granallado por succión y presión (tipo cabina)



Figura 1.12 Granallador tipo cuarto

Es recomendable que el granallado se haga en un área abierta ya que la acumulación de polvo en un espacio cerrado es dañino para la salud.

Actualmente, los sistemas de granallado están automatizados para producción en serie. Los parámetros que intervienen en el granallado son entre otros: tiempo, presión y ángulo de granallado depositado en la superficie rugosa del sustrato. Algunos resultados obtenidos recientemente (Granallado de Inconel 718 con sistema de vacío y abrasivo de alúmina) se exponen en la figura 1.13. El parámetro de la rugosidad de la superficie (Ra^1) máxima se obtuvo después de un corto tiempo de granallado. El granallado prolongado no genera necesariamente superficies más rugosas (figura 1.13a). De forma similar, el granallado sólo permite ángulos menores a 90° para obtener una superficie rugosa en un corto tiempo. Finalmente, la Ra crece linealmente con el incremento de presión de granallado (figura 1.13b).

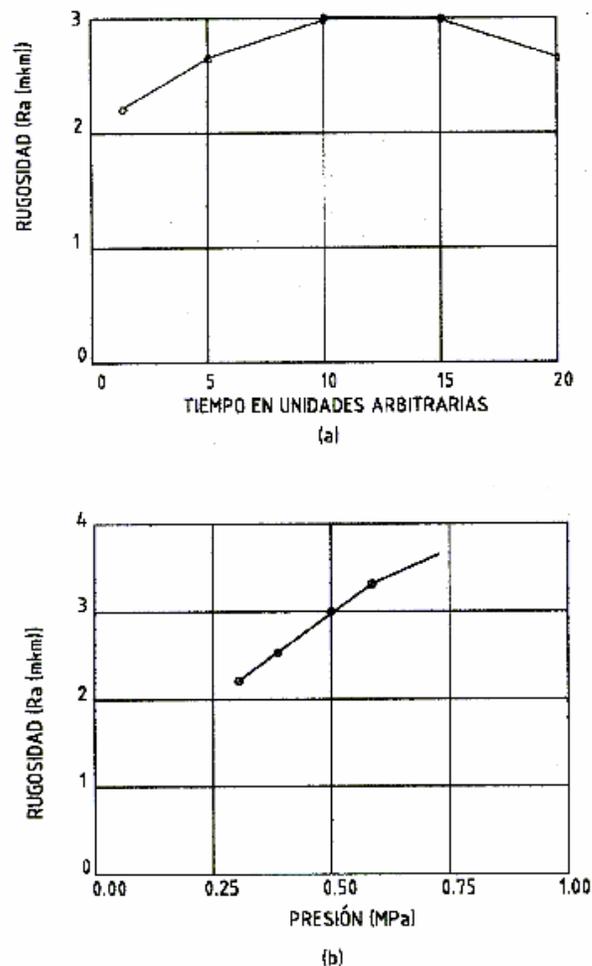


Figura 1.13 La rugosidad Ra del inconel 718 sustrato alúmina usando un alimentador de $2000 \text{ g}/\text{min}$ con unidades arbitrarias (a) y granallado a presión (b)

¹ Rugosidad promedio entre las crestas y valles de la superficie.

1.6 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

En la solución particular de un problema se puede tener el siguiente procedimiento:

- Identificación del problema (desgaste, abrasión, etc.).
- Especificación de las propiedades del recubrimiento.
- Proponer soluciones, polvos para el rociado térmico, técnica de rociado térmico y tratamiento previo al rociado térmico.
- Evaluación de los resultados de la técnica de rociado térmico y si los datos son utilizados desde un punto de vista económico.

EJEMPLOS DE APLICACIONES DE LOS RECUBRIMIENTOS POR ROCIADO TÉRMICO EN DIVERSAS INDUSTRIAS.

A continuación se enuncian algunas de las preocupaciones en las diferentes industrias en donde se puede encontrar la proyección térmica.

MEDICINA

La principal aplicación del rociado térmico en la medicina son las prótesis (ortopedia y dental). Las prótesis son construidas de materiales bio-inertes tales como acero inoxidable, aleaciones de CoCrMo o TiAlV.

Los recubrimientos usados para estos propósitos deben de cumplir los siguientes requerimientos.

- Porosidad (20-40%).
- Biocompatibilidad y estabilidad en el cuerpo.
- Buena adhesión para la prótesis.
- El recubrimiento no tiene que ser rechazado después del crecimiento del hueso.



Figura 1.14 Aplicación en la medicina

CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINAS INDUSTRIALES

El potencial del rociado térmico en la construcción de máquinas industriales (textil, agroalimentaria, construcción de bombas, etc.) fue reconocido desde hace tiempo y muchas de las partes substituidas son ahora reconstruidas.

- Bombas agroalimentarias. En la aplicación de transportación de líquidos (producción de yogurt, chocolate, etc.) en las máquinas agroalimentarias ocurre deslizamiento y rotación de los pistones fácilmente y hay desgaste abrasivo (debido a las partículas en el líquido).
- La superficie de los pistones. Generalmente es protegida con un recubrimiento cerámico.
- Bombas de vacío. Las bombas de vacío tienen pistones y éstos son sometidos al deslizamiento por la superficie. Son protegidos por recubrimientos cerámicos.

MINERÍA INDUSTRIAL

Apuntaladores hidráulicos.

Los apuntaladores hidráulicos son usados en la minería del carbón y están sometidos a la acción agresiva del agua. El recubrimiento depositado sobre la parte interna de los apuntaladores tiene las siguientes características.

- Resistencia a la corrosión.

- Resistencia al desgaste.

Para conocer estos requerimientos, el diseño de la composición es 60 vol% (aleaciones autofundentes) NiCrSi, 25% vol% bronce CuSn y 5 vol% Mo S2. El recubrimiento se deposita sobre la parte interna (diámetro de 250mm). El rociado térmico alarga la vida de los apuntaladores por mucho tiempo.

AERONÁUTICA E INDUSTRIA ESPACIAL

Hoy las aplicaciones en los turbo reactores representan gran parte del mercado de rociado térmico (20-40%) del total. El rociado térmico es aplicado en partes de los turbo reactores tales como ventiladores del compresor, alabes de las turbinas, etc.

SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

Se utiliza éste sistema para la protección de concreto propenso a la corrosión especialmente en puentes. Esto se evita aplicando una capa de zinc por medio de rociado térmico, la cual actuará como un sistema ánodo de sacrificio colocado sobre la superficie del concreto de los puentes, así como a las varillas propensas a la corrosión en donde actuará como un elemento activo frente al acero de la varilla, es decir, se oxida y cede electrones a ésta evitando que se corra. Se colocan cables conductores para la unión entre ambos metales. El electrolito es el concreto debido a los iones en él contenidos.

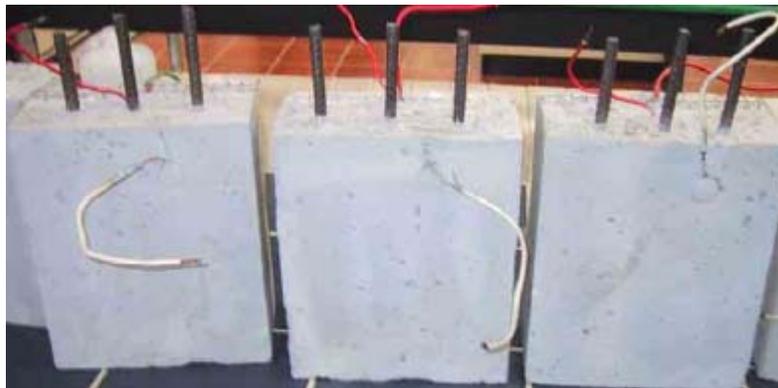


Figura 1.15 Ejemplo de probetas con zinc termo rociado

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL EQUIPO DE PROYECCIÓN TÉRMICA AUTOMATIZADO

2.1 INTRODUCCIÓN

Es necesario comprender el concepto de diseño y la idea que se requiere plasmar, ya que de ahí se debe partir para comenzar la creación y la automatización del proceso. Para ello se deben conocer las bases para la utilización de técnicas y tecnologías ya existentes en el mercado actual.

Cuando se piensa en lanzar un producto nuevo al mercado, es necesaria la intervención de varias disciplinas, ya que no solo la ingeniería es la única en tener todos los créditos debido a que son varios los factores que intervienen.

Se deben tratar todos los problemas que conllevan al diseño dentro de la ingeniería, ya que se pueden encontrar ciertas complicaciones al tratar de aplicar distintos conceptos.

Para la realización de un buen proyecto se necesitan tener buenos conceptos del diseño, así como también mantenerse dentro de una disciplina y un orden dentro del desarrollo de éste. Todas las personas que están involucradas dentro del proyecto deben tener un amplio criterio para así poder tomar las mejores decisiones.

El diseño debe ser instruido y aplicado progresivamente en una amplia gama de recursos de información, así como de técnicas para incrementar la destreza dentro de éste, aplicando con ello la habilidad de la ingeniería.

El diseño es la actividad sistemática necesaria para la identificación de problemas humanos dentro de un mercado bastante amplio, así como la venta del producto terminado dentro de un mercado de grandes exigencias.

Los cimientos del diseño consisten en la ubicación de las necesidades del usuario, las especificaciones del diseño del producto, diseño conceptual, diseño de detalle, diseño de manufactura y la salida del mercado. "Todo diseño comienza en una necesidad", la cual, cuando ésta complazca al usuario, entrará en un mercado exclusivo de competición.

Del concepto de la necesidad, una Especificación del Diseño del Producto (PDS) debe ser elaborada, la cual interactuará para el mejoramiento de los diseños subsecuentes dentro de las bases del diseño.

La PDS es un margen de restricción en la actividad del diseño total, ya que coloca las limitantes para los diseños subsecuentes.

Un análisis de cualquier producto existente revelará el flujo obtenido desde el proyecto hasta la venta de éste en el mercado. Esta actividad será referida como la base del diseño.

En todas las etapas dentro del proceso, las bases del diseño son operadas interactivamente y éstas aparecen paulatinamente. Entonces, las bases del diseño podrán aparecer en cualquier punto del proceso y que ciertos puntos de éste interactúen será inevitable, pero esto se puede minimizar si se llevan las bases del diseño con rigurosa exactitud.

Las interacciones ocurren debido a que cambian las circunstancias (esto es, que cambien las características de los productos), causando que la PDS evolucione en conjunto con las bases del diseño.

Para colocar el diseño a ser utilizado efectiva y eficientemente, es necesaria la utilización de técnicas del diseñador o equipo de diseño en el desarrollo del diseño. Estos utilizarán un *kit* de herramientas necesarias para concretar el producto, las cuales pueden ser técnicas de análisis, síntesis, toma de decisiones, modelaje, etc., que se pueden aplicar a cualquier diseño.

Los dos tipos de herramientas a utilizar son la disciplina, o la tecnología dependiente o independiente. Es necesario considerar y entender “él todo” como un concepto de diseño total, concernido en la creación de productos colocando esto en un marco de planeación y organización como se muestra en la figura 2.1 (en donde el autor Stuart Pough describe los pasos que sigue un producto antes de salir al mercado). Se comenzará a buscar una idea de los productos que deberán ser utilizados y de cómo se colocarán en la estructura del proyecto.

2.2. IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD

Debido a los distintos problemas que se presentan en la utilización del proceso de proyección térmica, es necesario encontrar una solución eficaz ayudando con esto a un ahorro de tiempo, dinero y esfuerzo, es decir, la reducción de merma de material, mayor producción, la eliminación casi total del factor hombre, lo que conlleva a la notoria disminución de los índices de accidentes dentro del área de trabajo, así como una amplia gama de calidad dentro del proceso que no se puede obtener de la mano del hombre, ya que este se ve afectado por distintos factores como lo pueden ser la fatiga, la inestabilidad en la aplicación del proceso, entre otros.

Dentro del proceso de Proyección, uno de los problemas que se presentan además de los ya mencionados, nos encontramos con la mesa de trabajo, ya que ésta muestra la problemática de no soportar cuerpos a revolución y cuerpos con múltiples superficies.

También se pueden mencionar que algunos parámetros se ven afectados a la hora de la proyección debido a la inestabilidad de sujeción en la mano del ser humano; estos

parámetros son: espesor constante, la no porosidad y la única forma en la que se pueden conseguir en su máxima expresión es realizando la *automatización del proceso*.

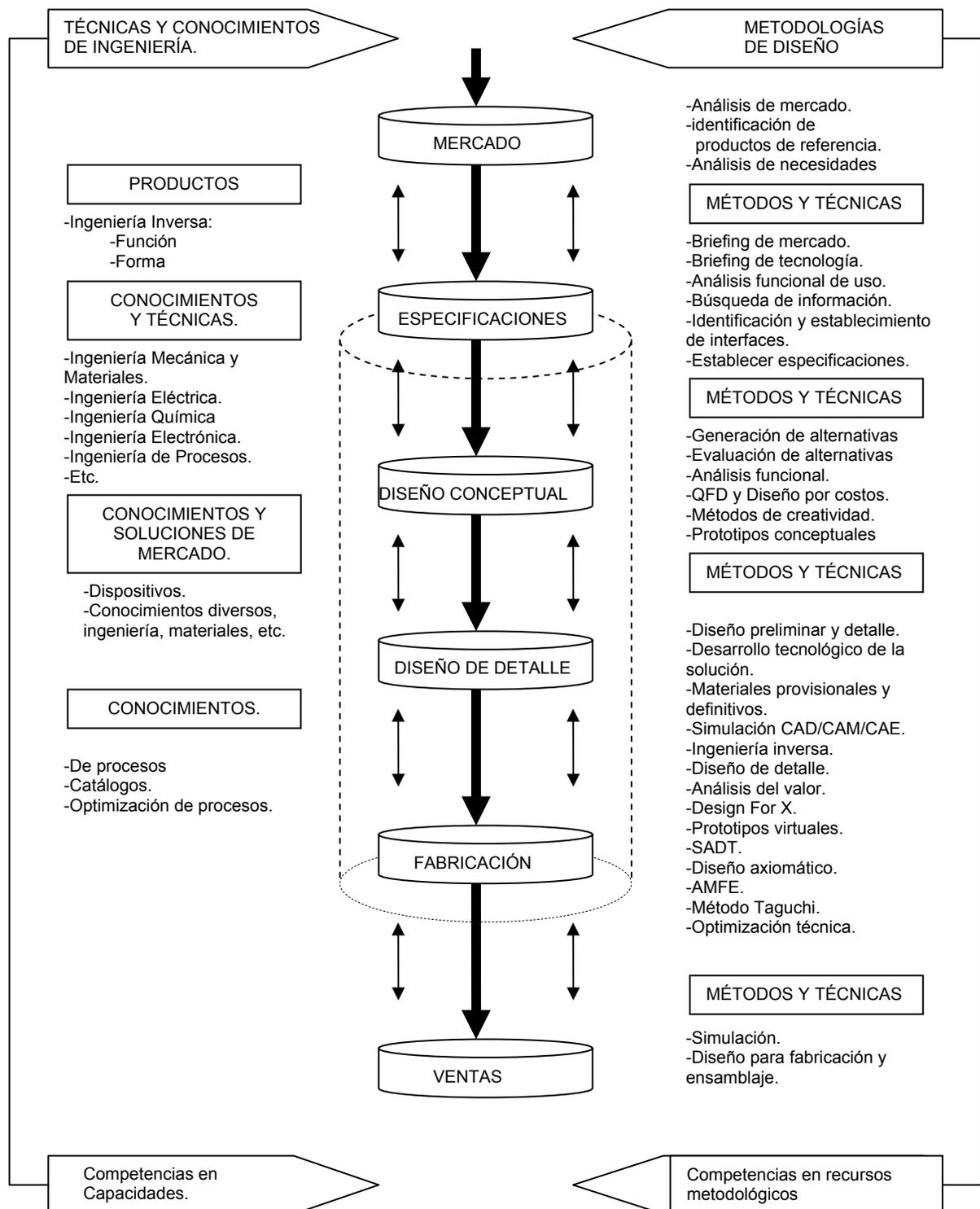


Figura 2.1 Modelo de Pugh de diseño y desarrollo de productos.

En este trabajo se realizará el montaje de una pistola de rociado térmico en un brazo mecánico (MOTOMAN), en el cual surge el inconveniente de que al fabricar la base de dicho elemento tenemos que analizar el diseño y los pesos requeridos utilizando materiales ligeros para tal proceso, tomando en cuenta que esto último se torna como una gran limitante, ya que el brazo mecánico en su estructura de soporte nos muestra la desventaja de inestabilidad al exceder el peso para el cual fue diseñado. Con esto tenemos que idear un proyecto en el cual se facilite el accionamiento de manera automática del equipo para la proyección sin que se presente algún problema.

2.2.1 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.

1. Funcionamiento.

Montada la pistola al brazo mecánico por un soporte principal, como primer paso se debe dar abertura a la válvula de paso de los gases en forma gradual, hasta que exista una adecuada presión para lograr proyectar el material de aporte y a su vez, se debe producir la combustión por medio de una chispa. Después de ello, se debe activar el gatillo para que el polvo utilizado para el rociado comience a salir del contenedor colocado en la parte superior de la pistola de rociado térmico. Por último se debe desactivar el gatillo y cerrar la palanca de los gases.

2. Peso.

Dentro de las especificaciones de diseño es la más importante, ya que el conjunto formado por: el soporte principal para acoplar la pistola al brazo mecánico, la pistola con el polvo a proyectar y los elementos de la automatización no debe exceder de 6 Kg, que es el peso máximo que puede manejar la muñeca del brazo mecánico, según indicaciones del fabricante.

3. Material.

Los elementos para acoplar la pistola de proyección térmica al brazo mecánico deben ser de un material ligero y que puedan soportar el peso del sistema de automatización.

4. Instalación.

Todos los componentes deben montarse con herramientas tradicionales, como son: desarmador, pinzas, llaves allen, etc.

5. Costo.

Se deben usar materiales y dispositivos comerciales para asegurar un bajo costo.

6. Manufactura.

Los elementos para acoplar la pistola de proyección térmica al brazo mecánico deben ser fabricados con el equipo disponible en los Talleres de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la U. N. A. M.

7. Prueba.

Se deben realizar las pruebas necesarias para afinar o corregir el buen funcionamiento de los componentes.

8. Seguridad.

Se tomarán todas las medidas de seguridad que recomienda el fabricante.

2.3 DISEÑO CONCEPTUAL

La idea conceptual de la base del diseño es primordialmente la generación de soluciones para conocer las necesidades primarias, es decir, las PDS (Especificación de Diseño del Producto). Cualquier valor de diseño tiene su origen en la PDS. El diseño conceptual se puede definir entonces como la totalidad del elemento proyectado, la cual es la suma de todos los subsistemas o los componentes que van a crear ese sistema. Esta fase conceptual se divide en dos componentes cíclicos:

- 1) La generación de soluciones para conocer la necesidad primordial.
- 2) La evaluación de estas soluciones para seleccionar la más aplicable para enfrentarse a la PDS.

2.3.1 GENERACIÓN DE SOLUCIONES

Se deben generar soluciones para conocer a la PDS, ya que es necesario determinar la necesidad primaria del usuario, colocando con ello ideas que satisfagan a éste. Al tener una buena idea, ésta se necesitará verificar ya que tal vez la PDS no sea aplicable en todas las áreas. Siendo el caso, es necesario regresar a cambiar algunos conceptos y después verificar la PDS, ya que puede llegar a cambiar también. Se necesitará una gran cantidad de ideas, ya que al tener una mínima experiencia dentro del área a tratar, surgirán problemas que será necesario resolver. Se deberá trabajar bajo las leyes de la Física y será necesario utilizar lo que ya se tiene establecido para con ello idear nuevas soluciones.

2.3.2 AMBIENTE DE TRABAJO

Para una buena percepción de la necesidad y las soluciones requeridas, es necesario trabajar dentro de un ambiente adecuado; un cuarto equipado con un diseño

confortable, iluminación adecuada, buena ventilación, espacio en paredes para colocación de herramientas, capacidad para cierto número de personas, con acceso a información, etc.

2.3.3 GENERACIÓN DE IDEAS

Es recomendable trabajar individualmente, ya que está demostrado que haciéndolo así las ideas son más creativas que estando en grupo, no así en la industria ya que en ésta existen mejores resultados realizándolo con un grupo bien organizado. Ya teniendo las ideas para conocer las PDS's, lo siguiente es colocarlas. Se debe ser capaz de expresar las ideas en forma gráfica, por medio de diagramas o modelos generalmente en tercera dimensión. No solo basta con mostrarlos, también es necesario que el diseño sea claro de entender, no solo para el diseñador sino también para las personas que se encuentran observándolo.

2.3.4 EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

Se debe de llegar a un acuerdo con los participantes en cuanto a cuál de los criterios es el adecuado, esto por medio de las PDS's. Conociéndose estos será necesario que los participantes se mentalicen sobre el cuál de éstos deberá ser colocado dentro de una matriz. Se deben comparar los distintos diseños dados proporcionando ventajas y desventajas entre ellos. Será necesario distinguir entre lo cuantificable y lo no cuantificable. Los componentes primarios de la fase conceptual para la base del diseño son:

- Generación del concepto y expresión individual, basado en las PDS's.
- Generación de un criterio en grupo.
- Evaluación de conceptos como un grupo de actividades.

En la práctica “la mala elección del concepto en una situación de diseño dada, puede raramente ser recuperada por un diseño de detalle brillante”. Para lograr maximizar el nivel de calidad en la fase se requiere:

1. Generación de ideas individuales con las PDS's en mente; no hacerlo al azar, realizar un proceso propio.
2. El significado de manifestar esas ideas; dibujos, documentos, modelos o cualquier medio que clarifique los conceptos para el grupo.
3. Generación de ideas y racionalización de conceptos en grupo.
4. Una requisición absoluta en la selección de conceptos, aceptación o juicio de ellos hasta que el grupo haya quedado sin ideas y la situación sea exhaustiva.

5. Generación de un criterio de evaluación de los elementos de las PDS's como una actividad de grupo.
6. Una aceptación completa y absoluta en quitar una decisión hecha; la experiencia del pasado es sólo para probar lo correcto con lo incorrecto en un mundo competitivo.
7. Una metodología de selección que no sea una creatividad restringida durante el proceso de selección de conceptos y con ello simulando la creación de estos que aún no han sido sustraídos.

Las matrices son tal vez la mejor forma de estructurar o representar un proceso de evaluación, por medio del cual se dará un control a este. Se evaluarán las soluciones alternativas para ver cuál puede satisfacer mejor al criterio. Ésta matriz no es matemática, es decir, es solo par expresar ideas.

2.4 PROCEDIMIENTOS PARA MINIMIZAR LA VULNERABILIDAD DEL CONCEPTO

FASE I

- 1) Es esencial que todas las ideas y soluciones sean generadas contra el plano de las PDS's, esto es, éstas son soluciones proyectadas a un mismo problema teniendo los mismos requerimientos y confusiones.
- 2) Teniendo establecido un número de posibles soluciones al problema, representar esas soluciones en bosquejo para el mismo nivel de detalle en cada caso.
- 3) Establecer una comparación y evaluación de la matriz, en donde se comparan las ideas generadas una contra otra, contra el criterio de evaluación.
- 4) Es esencial que la matriz contenga los bosquejos de los conceptos manejados en ella. En el caso de proyectos electrónicos, circuitos o diagramas de bloque pueden servir. Para una mejor claridad se debe colocar una descripción escrita.
- 5) Asegurar que la comparación de los diferentes conceptos sea válida, es decir, todos ellos en las mismas bases y niveles de generación.
- 6) Elegir los criterios contra aquellos conceptos que serán evaluados. Estos deberán estar basados en los requerimientos del detalle de las PDS's, esto es, establecidos antes de que la generación de una solución comience. Es esencial que el criterio elegido sea ambiguo, extendido y aceptado por todos los participantes en la evaluación y tomado en cuenta para futuras referencias.

- 7) Elegir un dato contra aquellos otros conceptos que serán comparados. Si un diseño ya existe para el área del producto tomado en consideración, esto debe ser incluido en la matriz y usado como un dato primario. Donde los diseños competitivos aún no existen y todos los conceptos han sido generados internamente, el primer dato elegido debe ser el que el grupo intuya que es el mejor.
- 8) Al considerar cada concepto/criterio contra el dato elegido, se utilizará la siguiente leyenda: + (mas): Significa mejor que, menor que, menos propenso a, más fácil que, relativo al dato. - (menos): Significa peor que, más caro que, más difícil de desarrollar que, más complejo que, más propenso a, más difícil que, etc. Cuando exista una duda de que si un concepto es mejor o peor que el dato, entonces se utilizará: s (mismo): Significa el mismo que el dato.
- 9) Teniendo elegido un dato, realizar una comparación inicial de otros conceptos usando la nomenclatura ya mencionada. Esto establece una muestra de puntaje en términos de número de +’s , -’s y s’s logrado, relativo al dato. Los puntos deben de ser tratados como absolutos, ya que solo son una guía y no deben de sumarse algebraicamente.
- 10) Evaluar los puntos de concepto individualmente. Los conceptos acertados exhibirán excepcional solidez, mientras que los otros mostrarán conversión, esto es, debilidad.
- 11) Observa los negativos de los conceptos fuertes; ¿Qué se le necesita hacer al diseño para mejorarlo y revertir lo negativo?. ¿Es posible del todo?, si es posible, al lograr el mejoramiento y revertirlo ¿se revertirá alguno o más de los positivos?. Si es posible introducir un concepto modificado dentro de la matriz, se debe de hacer y al realizarlo no solo modificará el primero que se tiene; se puede dejar ahí, y cuando se desee regresarlo.
- 12) Observar los conceptos débiles y atacar sus negativos para ver si ellos pueden ser mejorados. Si ellos pueden ser mejorados y otros positivos no se revierten al hacerlo, entonces se debe introducir el concepto revertido en la matriz, permitiendo ampliarla.
- 13) Llevando a cabo los pasos 11 y 12, los conceptos reales más débiles deben ser eliminados de la matriz. Esto provocará una reducción en la matriz.
- 14) Si un número de conceptos fuertes no emerge como resultado de los pasos 11 al 13, es decir, todo parece no tener uniformidad, entonces es un indicativo de uno de los dos puntos siguientes o mezcla de ambos.
 - a) *El criterio es ambiguo*, capaz de una variedad de interpretaciones de los miembros del grupo.

- b) *Persistencia de uniformidad de intensidad entre conceptos*, generalmente indica que uno o más conceptos son sobrecolocados en otros y la matriz no puede ayudar a realizar distinciones.
- 15) Cuando un concepto en particular persiste, se debe analizar la matriz usando el concepto más fuerte del primer análisis como dato. ¿La muestra persiste? Si es verdad, esto confirmará el primer análisis. De lo contrario, se deben repetir los pasos 11 y 12 hasta que los conceptos fuertes persistan.

Es necesario hacer una crítica constructiva con todas las personas involucradas en el proyecto dando sus puntos de vista y con ello comprender los conceptos y no combinarlos, por medio de la cual se debe adquirir:

- Una gran perspicacia dentro de los requerimientos de especificación.
- Un gran entendimiento de los problemas de diseño.
- Un gran entendimiento de soluciones potenciales.
- Un entendimiento de interacción entre las soluciones propuestas y con ello dar pauta a soluciones adicionales.
- Un conocimiento de las razones de porqué un concepto es más fuerte o débil que otro.
- Un estímulo natural para producir otros conceptos.

FASE II

Se llegará a esta fase si ya se tienen los conceptos necesarios para el desarrollo de la propuesta y con ello llegar a un nivel más alto y con un mayor detalle técnico. Se debe hacer una reevaluación de la matriz debido a que nuevos conceptos han salido a flote. Con ello se logrará confirmar la muestra establecida previamente o dará la pauta para reordenar los conceptos. Las razones que emergerán serán cuestionadas profundamente desde distintos puntos de vista.

Fases subsecuentes.

Tal vez será necesaria una depuración del procedimiento que se repetirá varias veces para confirmar lo logrado, esto dependiendo de la complejidad del proyecto y con ello llegar a un diseño final, el cual se manufacturará. Estas evaluaciones tal vez afecten matrices.

Una vez encontrado el problema del proceso, es necesario presentar las posibles soluciones y representarlas por bosquejos para su fácil entendimiento, así como

también explicar las ventajas y desventajas entre ellas para llegar a una apropiada selección del diseño final y así llevarlo al proceso de manufactura.

Debido al diseño de la pistola de rociado térmico que a continuación se presenta (figura 2.2), se mencionan dos de las posibles soluciones para el montaje de ésta en la articulación de trabajo del brazo mecánico (MOTOMAN). Ver figura 2.3 y 2.4.

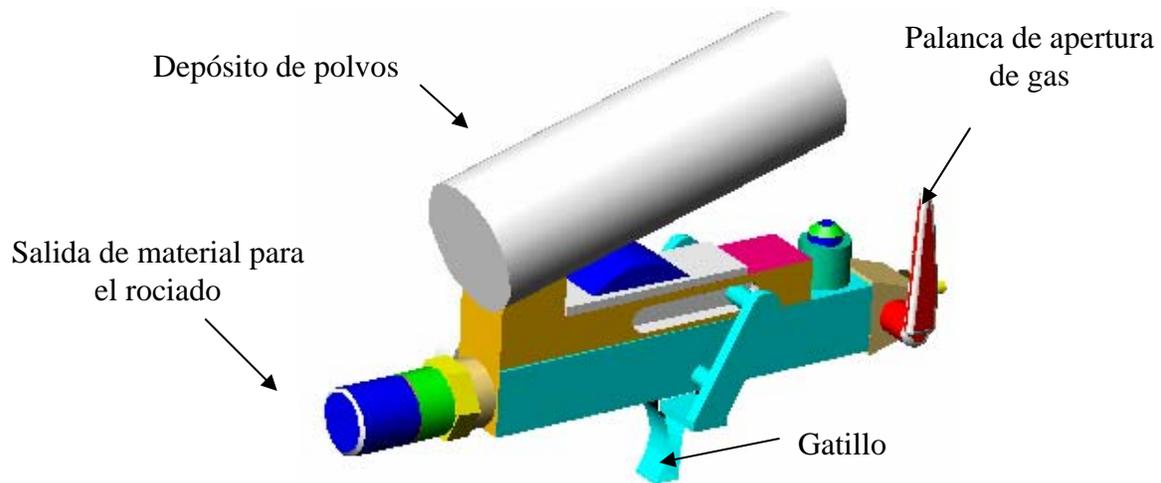


Figura 2.2 Pistola de rociado térmico modelo 5P2 de marca SULZER METCO

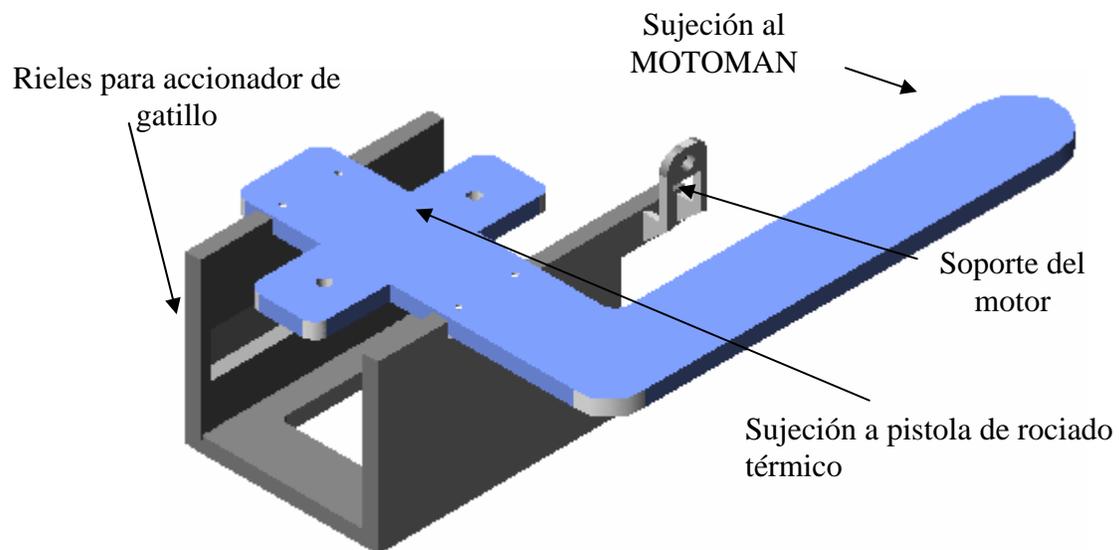


Figura 2.3 Sistema de acoplamiento de la pistola de rociado térmico al brazo mecánico (las dos piezas en conjunto forman el dispositivo de acoplamiento)

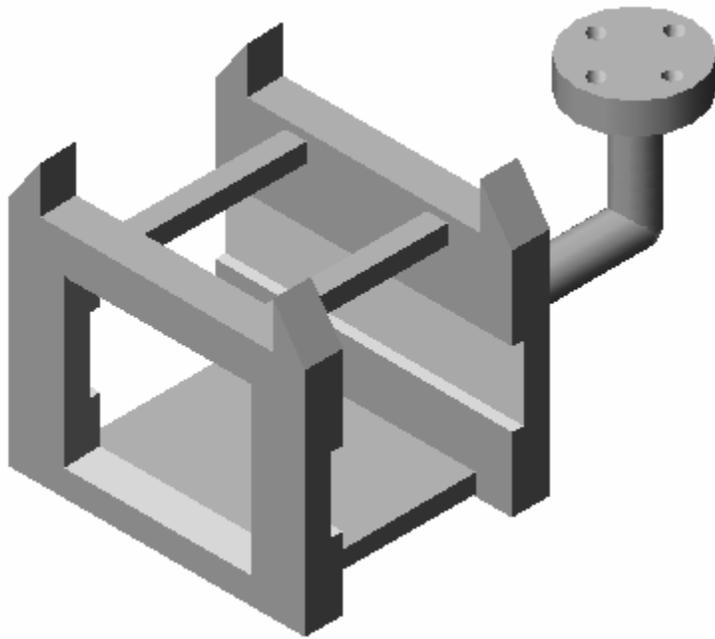


Figura 2.4 Pieza para el montaje de las pistola de rociado térmico a la articulación de trabajo del brazo mecánico

En la tabla 2.1 se presentan las ventajas y desventajas de los dos conceptos y en la tabla 2.2 una evaluación de los mismos.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de los dos dispositivos de montaje.

	Ventajas	Desventajas
Figura 2.3	<ul style="list-style-type: none"> • La utilización de menos material para la fabricación. • Se retira el conjunto de sujeción de la brida ya que ésta presenta un excedente de peso; así como, se desmonta la empuñadura de la pistola. 	<ul style="list-style-type: none"> • En su estructura se torna más frágil • Al requerir utilizar la pistola de rociado térmico en un trabajo manual es necesario el invertir tiempo para la colocación del manguillo de sujeción y la empuñadura de la pistola.
Figura 2.4	<ul style="list-style-type: none"> • Nos presenta una mejor estructura para la resistencia en cuanto al peso de la pistola de rociado térmico. • Se puede utilizar de manera inmediata en forma manual. 	<ul style="list-style-type: none"> • El excedente de peso es una característica que afecta a este prototipo. • El accionador del gatillo se ve afectado ya que en esta presentación la pistola cuenta con la empuñadura de la pistola.

Tabla 2.2 Evaluación de los conceptos.

CRITERIO / CONCEPTO	1 (Figura 2.3)	2 (Figura 2.4)
Peso.	+	-
Resistencia a la temperatura.	S	S
Número de piezas.	+	-
Costo de Fabricación.	+	-
Facilidad de montaje al MOTOMAN.	S	S
Facilidad de montaje de la pistola.	-	+
Tamaño.	+	-
Facilidad de fabricación.	+	-
$\Sigma +$	5	1
$\Sigma -$	1	5
ΣS	2	2

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de las soluciones y la tabla de evaluación de los conceptos (Tabla 2.2), se selecciona la solución 1 (figura 2.3) para el diseño final.

Los siguientes modelos que se presentan son los que se proponen para el accionamiento del gatillo que permitirá el paso de los polvos de material de aporte para el recubrimiento en la pistola de rociado térmico (Figuras 2.5 y 2.6).

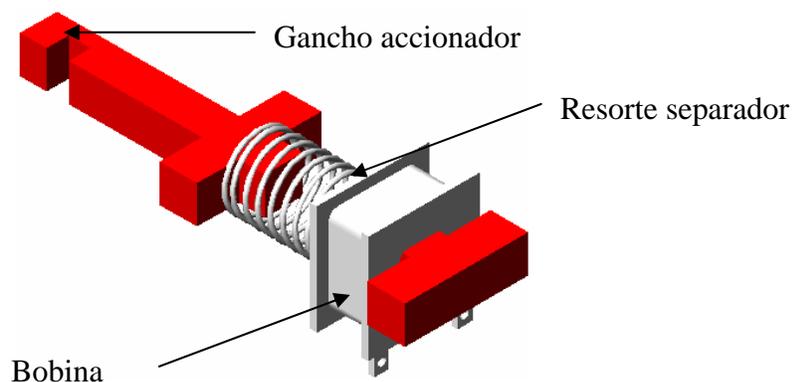


Figura 2.5 Accionador del gatillo sin paredes de refuerzo.

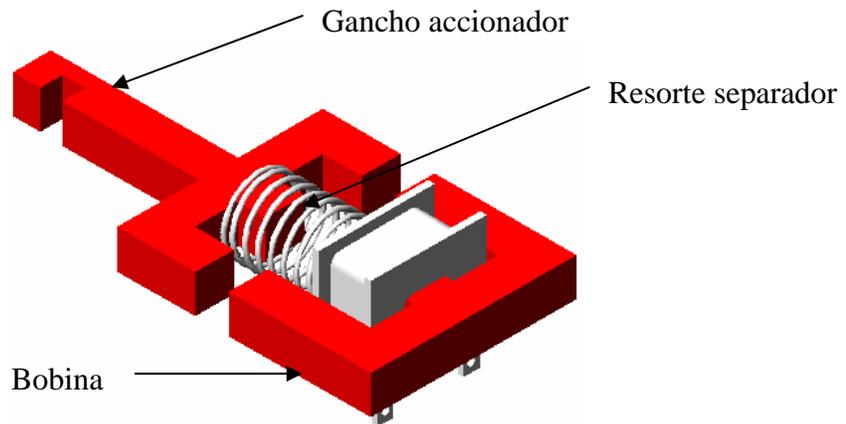


Figura 2.6 Accionador del gatillo con paredes de refuerzo.

La siguiente tabla compara las ventajas y las desventajas que tenemos al fabricar uno u otro de los accionamientos para el gatillo.

Tabla 2.3 Ventajas y desventajas de los accionamientos del gatillo.

	Ventajas	Desventajas
Figura 2.5	<ul style="list-style-type: none"> • Es más ligera y puede hacerse que la estructura reduzca considerablemente sus dimensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • El campo magnético disminuye y por consiguiente el accionamiento del gatillo puede no lograrse en su totalidad.
Figura 2.6	<ul style="list-style-type: none"> • Su campo magnético es mayor y con esto obtenemos una mayor fuerza en el accionamiento del gatillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta su volumen y por consiguiente la estructura se torna de mayor tamaño.

A continuación se muestra el modelo a utilizar para la apertura de la palanca de los gases, el elemento que nos permitirá mediante la producción de una chispa la combustión de los mismos.

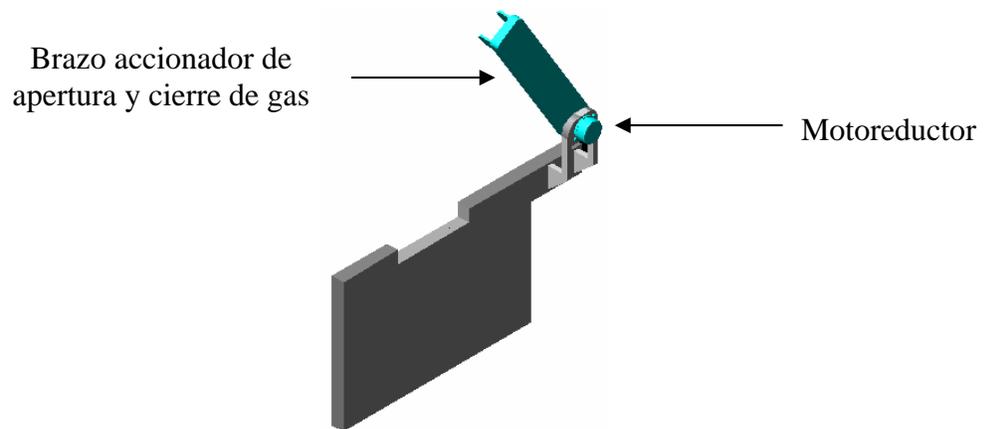


Figura 2.7 Elemento para la apertura del gas de la pistola

En la siguiente figura se muestra el dispositivo para acoplar la pistola de rociado térmico en el brazo mecánico (MOTOMAN) y con esto poder automatizar el proceso de proyección térmica.

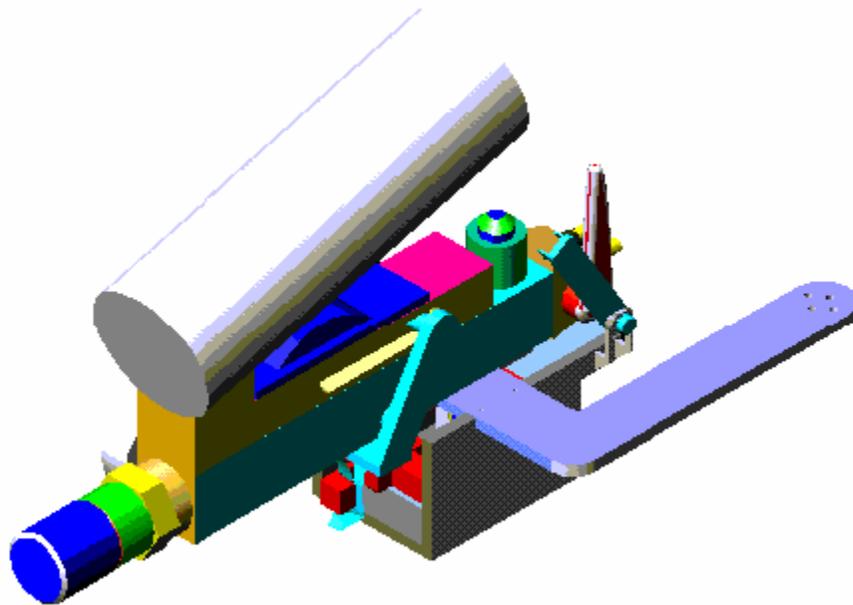


Figura 2.8 Pistola colocada en el dispositivo de automatización.

2.5 FUNCIONAMIENTO BÁSICO DEL EQUIPO

Paso 1. La palanca para la abertura de los gases es accionada por un motor, a continuación se activará el electrodo para la creación de la chispa de encendido que nos proporcionará la combustión.

- Paso 2. El brazo mecánico (MOTOMAN) se posicionará a cierta distancia (aproximadamente de 20 a 25 cm) del material base.
- Paso 3. Una vez posicionado el punto inicial de la aplicación, se procede al accionamiento del gatillo; esto se realiza energizando a la bobina que activará el gancho de disparo, quedando accionado el sistema de rociado.
- Paso 4. Se desenergizará la bobina de accionamiento del gatillo, dando como consecuencia la desactivación del rociado de material de aporte.
- Paso 5. En este momento el motoreductor invertirá su sentido y cerrará en su totalidad la válvula de los gases
- Paso 6. Terminado el proceso de rociado se alejará al brazo mecánico a una distancia de la pieza de trabajo, dando con ello por terminado el trabajo de la automatización de rociado térmico.

La figura 2.9 muestra el prototipo para el ensamble de la pistola de rociado térmico con el brazo mecánico.

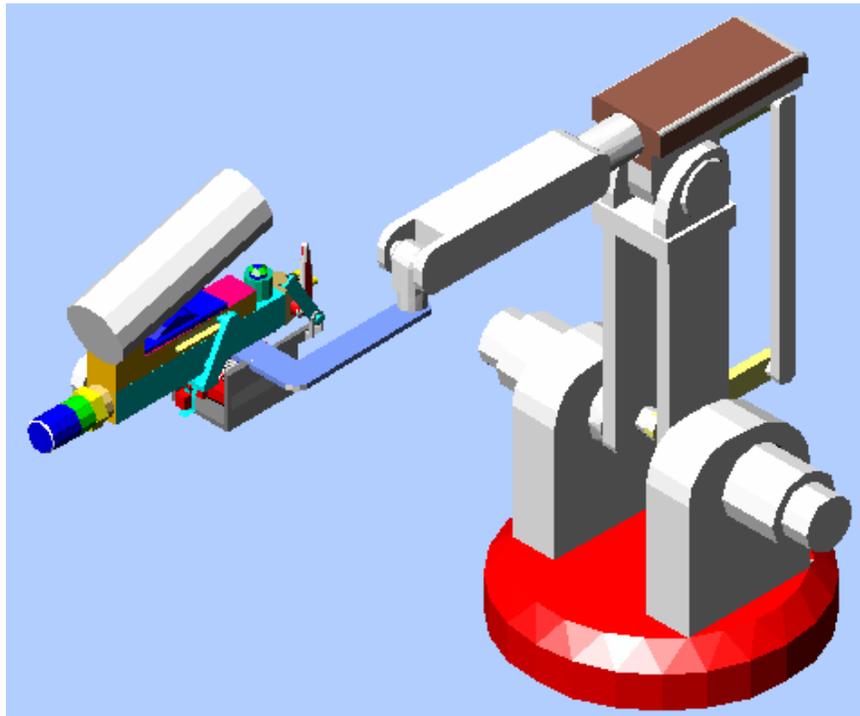


Figura 2.9 Ensamble de la pistola de rociado térmico con el brazo mecánico.

CAPÍTULO III

FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA

3.1 DISEÑO DE DETALLE.

En el diseño de detalle se tienen que idear varias posibles respuestas a un problema para poder dar solución a éste. Estas ideas se integran de la mejor manera para poder obtener un concepto completo en conjunto con la teoría básica, así como con las diferentes tecnologías para que dentro de las bases de la ingeniería se logre un mejor resultado.

Hoy en día todos los productos están hechos de un conjunto de elementos que los integran (los detalles), los cuales en un mayor o menor grado de descripción son definidos en su forma durante el diseño, pero éstas pueden llegar a variar considerablemente durante el proceso de detalle gracias a las posibilidades de manufactura, forma, etc., a las cuales son sometidas.

Al preparar el diseño de detalle es de vital importancia tener las especificaciones del producto a desarrollar, esto con el fin de poder alternarlas o mejorarlas durante el proceso.

Si al terminar un producto se requiere realizar una mejoría, será necesario mejorar las especificaciones de diseño, de manufactura, etc., lo cual conllevará a tener un proceso más eficaz debido a que estará preparado para tecnologías futuras.

3.2 ESPECIFICACIONES DEL CONCEPTO DE DISEÑO.

El contexto es definido bajo las especificaciones del concepto de diseño (CDS). En caso de omitir alguna característica esto contribuirá a que el diseño se torne de una calidad baja y pueda ser rechazado en el mercado.

Los elementos típicos de CDS son:

- *Funciones:* Entradas/salidas, cargas, transitorios, trabajo requerido, esfuerzos, efecto de componentes/interfaces adyacentes.
- *Restricciones locales:* Imposición del componente por la naturaleza del entorno que lo rodea y los componentes de interfase, el grado de interacción con los componentes adyacentes, armonización.
- *Ambiente:* Temperatura, humedad, corrosión, impacto, vibración, etc.

- *Pruebas:* Requerimientos del mismo componente.
- *Tiempo de sujeción:* ¿Dónde se tendrá al sistema para ser sostenido y por cuanto tiempo?
- *Calidad, seguridad y vida:* Vida útil, mejoramiento durante su utilización, etc.
- *Mantenimiento:* ¿Filosofía de desecharlo o removerlo para su reparación?
- *Procesos:* Utilización en los procesos de la compañía, etc.
- *Costos de componentes:* Consideración de alternativas de diseño para minimizar costos.
- *Ergonómico/seguridad:* ¿Es un componente manejable?, ¿tiene facilidades especiales para su manejabilidad?, ¿se puede acoplar fácilmente a una máquina o sistema?
- *Estándares:* Estándares relevantes para materiales, terminaciones, tratamiento térmicos, vida, tolerancias, dimensiones, valores, etc.
- *Estética:* Forma o figura , ¿es importante para este componente?
- *Cantidad:* ¿Es negociable la manufactura con las cantidades requeridas?
- *Materiales:* alternativas.

Puntos generales que se deben de tener en cuenta en el diseño de detalle:

- Nunca tener al diseño de detalle sin alguna referencia del concepto elegido o viceversa.
- La interacción entre las áreas del diseño deben de estar consideradas junto con las restricciones de estas áreas.
- El más simple y el más barato componente del diseño no siempre será el más económico en todos los sentidos.
- El más simple y el más barato componente del diseño es factible solo en el contexto de la especificación del concepto de diseño.
- Generalmente una reducción de la variedad del componente lleva a acortar tiempos y costos.

- Pensando en la forma en que los componente serán manufacturados. Si tienen una planta manufacturera, ¿te gustaría diseñar para utilizarlo?
- Pensando en una caída de submontaje.
- ¿Es la manera más simple?
- ¿Cómo lo hacen otras industrias?
- ¿Puede ser suprimido?
- ¿Puede otra parte o función ser abolida o reducida?
- ¿Puede alguna o todas las partes o funciones ser sustituidas por otros componentes?
- ¿Pueden partes o funciones ser divididas, posiblemente dando más pero llegando a ser partes más simples?
- ¿Pueden las partes o funciones ser amalgamadas?
- ¿Se pueden construir más económicamente?
- ¿Puede construirse de partes estándar?
- ¿Ayudará construir las como estándar?
- ¿Puede utilizarse un principio nuevo o diferente?
- ¿Puede hacerse más simple?
- ¿Debería hacerse más grande?

Una reducción en el número de partes durante un ensamble no solo simplifica y reduce el costo del ensamble, también produce ahorros en el material de construcción, almacenaje, distribución y forma de operación, todo lo que contribuirá al alce de la compañía.

El 70% al 80% de la actividad del diseño en la industria está ligada al detalle o técnica del diseño.

3.3 DISTINTOS TIPOS DE MODELADO

Una vez dadas a conocer las distintas propuestas para llegar a la automatización del proceso en un sistema de metalizado por rociado térmico, será necesario un modelado de cada uno de los componentes a desenvolver.

Existen diferentes formas de realizar o de representar un diseño, dentro de las cuales existen las siguientes:

- *Modelado de alambre.* Consiste en la representación del objeto mediante coordenadas realizadas en términos de puntos y líneas. Tiene como desventaja la no distinción entre lo interior y lo exterior de un objeto en tercera dimensión.
- *Modelado de superficies.* Es representado por puntos, líneas y caras. Tiene la ventaja de la utilización de sombreado en las superficies dando con ello la facilidad de reconocer formas complejas.
- *Modelado paramétrico.* Utiliza ecuaciones y relaciones lógicas para los elementos geométricos representados.
- *Modelado geométrico.* Se puede representar en 3D mediante la creación de dibujos más detallados por medio de herramientas computacionales.
- *Modelado de sólidos.* Este consiste en la representación en 3D del sistema a desarrollar, proporcionando para ello una representación volumétrica, la cual combina fuentes de luz para la proyección de efectos de sombras que nos proporcionan un detalle más claro y preciso del diseño. También se pueden realizar simulaciones y distintas perspectivas del sistema desarrollado.

El modelado que se utilizará será el de modelado de sólidos, ya que este nos proporciona una imagen clara de los elementos a representar.

3.4 REPRESENTACIÓN DEL DISEÑO MEDIANTE EL MODELADO DE SÓLIDOS

A continuación se representan las distintas partes a utilizar para la realización del proyecto de automatización del proceso.

En un primer término se muestra el diseño final para el soporte de la pistola y de la carcasa, así como del acoplamiento al brazo mecánico Figura 3.1.

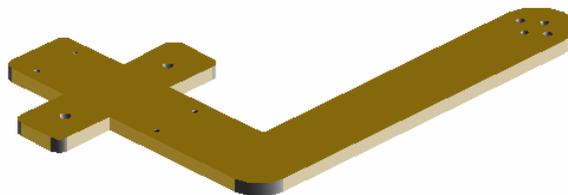


Figura 3.1 Soporte

A continuación se presenta el sistema de disparo para el accionamiento del gatillo de la pistola rociadora Figura 3.2.

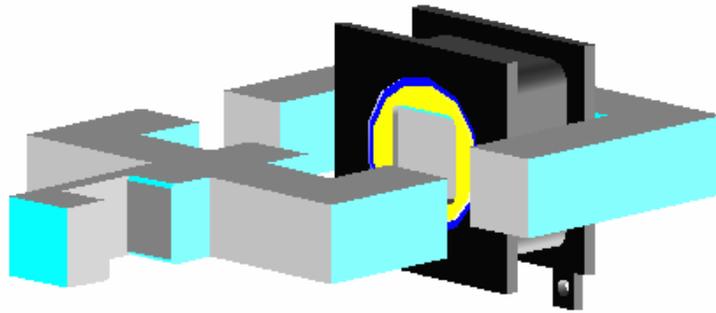


Figura 3.2 Sistema de disparo para el accionamiento del gatillo

Es necesaria la utilización de un sistema de soporte para el diseño del accionamiento del gatillo antes mencionado. Para ello se representa el diseño para el sistema soporte, figura 3.3.

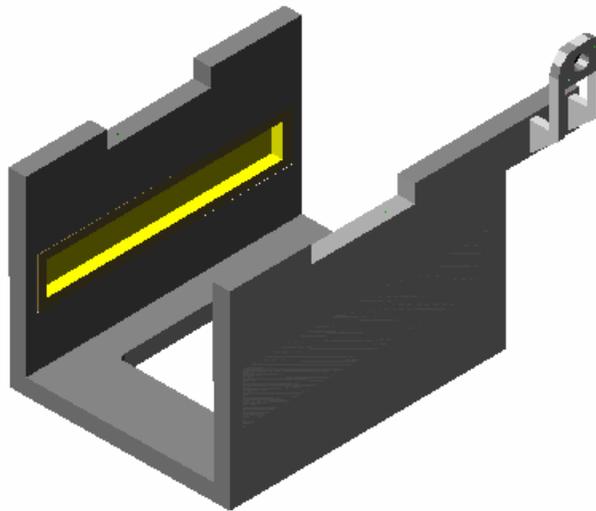


Figura 3.3 Carcasa

Para el sistema de encendido se representa un brazo mecánico el cual accionará la válvula de apertura de gases por medio de un motoreductor que estará mecánicamente acoplado a la carcasa. Figura 3.4.

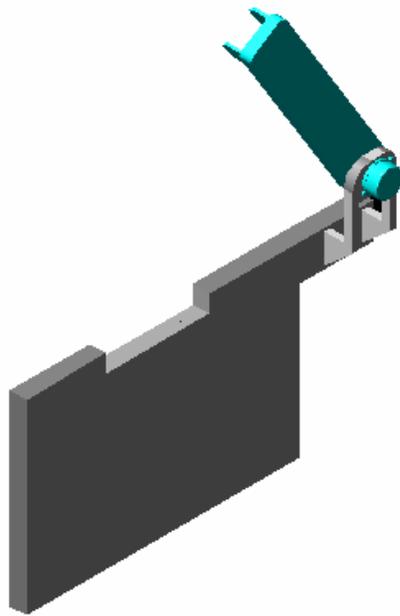


Figura 3.4 Sistema de accionamiento de la válvula de los gases.

En la siguiente figura se representa el sistema de automatización de rociado térmico ilustrando el acoplamiento de todos sus componentes. Figura 3.5.

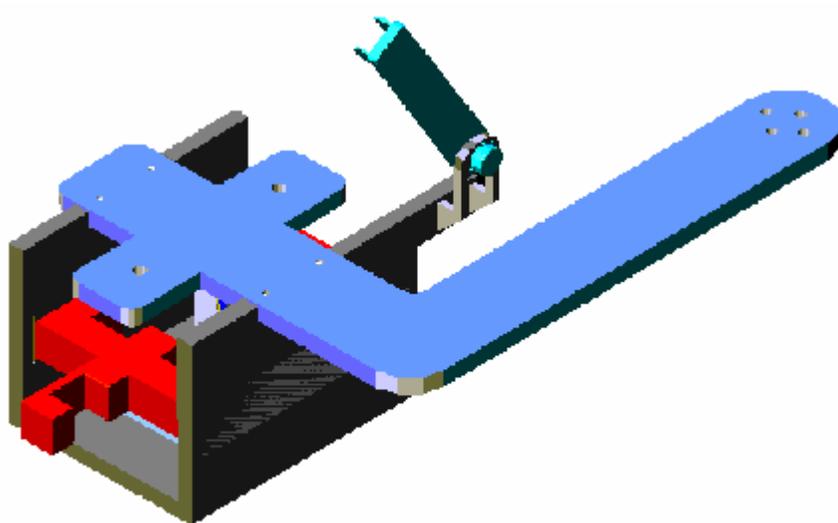


Figura 3.5 Equipo ensamblado

En la figura 3.6 se representa el montaje de la pistola de proyección térmica sobre el sistema de soporte y acoplamiento.

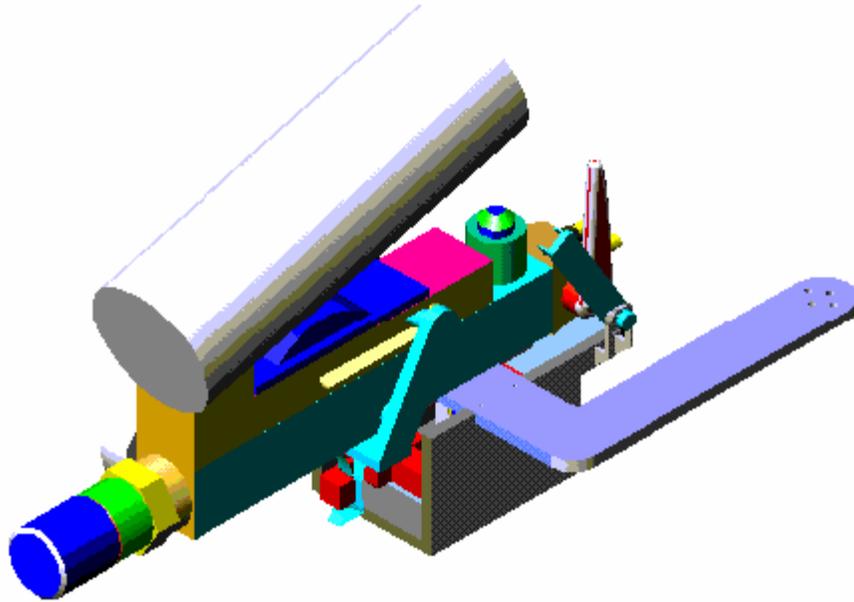


Figura 3.6 Pistola colocada en el dispositivo de automatización.

A continuación se muestra el diseño terminado, en donde se ilustra la colocación que se requiere del equipo de automatización en el brazo mecánico (MOTOMAN) para un correcto funcionamiento del proceso. El modelo representado es el que pretende ser la mejor opción en cuanto a fabricación, costos y sobre todo la principal restricción que se presenta que es el ahorro de peso en todo el conjunto del equipo. Figura 3.7.

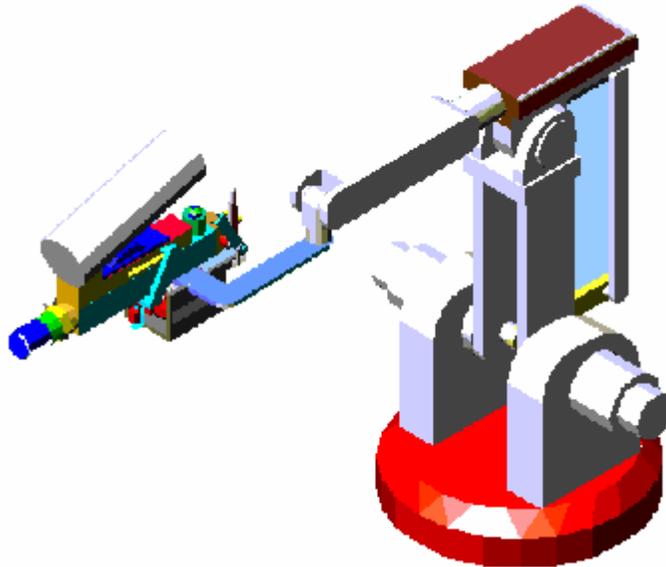


Figura 3.7 Brazo mecánico con el aditamento de automatización de la pistola de proyección térmica

3.5 SELECCIÓN DE MATERIAL

Una vez obtenido el diseño aprobado es necesario encontrar el tipo de material que se tendrá que utilizar para la fabricación y construcción del mismo. Esto nos conlleva a la utilización de un margen de selección con el cual obtendremos la elección del material adecuado, según las necesidades del proyecto.

Los materiales a evaluar son:

- Aluminio 6061 (Al 97.9, Si 0.6, Cu 0.28, Mg 1.0, Cr 0.2).
Dentro de sus características están: buena resistencia, conformabilidad y resistencia a la corrosión.
- Acero 1045 (C 0.45, Si 0.35, Mn 0.65).
Acero de medio carbono para la construcción de maquinaria.
- Bronce de Aluminio (Cu 83 mínimo, Al 10-11.5, Fe 3-5, Mn 0.5, 1.5 Ni).
Color oro, con alta resistencia mecánica y resistencia a la corrosión.
- Latón (Cu 90, Zn 10).
Trabajos duros.

La selección de material se realizará aplicando el Índice de Propiedades Ponderantes, para lo cual se requiere del conocimiento de las propiedades más importantes a discutir de cada material y la aplicación de la expresión:

$$\gamma = \sum \beta_i \omega_i$$

donde:

γ Índice de Propiedades Ponderantes.

β_i Escala de la propiedad.

ω_i Factor de peso.

En primer lugar se va a determinar el número de combinaciones entre las propiedades tomadas de dos en dos. Dichas propiedades son:

1. Temperatura de fusión.
2. Peso específico
3. Dureza

4. Rigidez

De la fórmula de combinaciones:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

sustituyendo $n = 4$, se obtiene un total de 6 combinaciones.

Se elabora un cuadro con el número de la propiedad en forma vertical y las combinaciones entre éstas en forma horizontal; en cada combinación se asignará 1 (uno) para la propiedad más importante y 0 (cero) para la menos importante.

El cuadro queda como el siguiente:

Propiedad	Combinaciones					
	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
1	0	0	0			
2	1			1	1	
3		1		0		0
4			1		0	1

A continuación se calcula el factor de peso (ω_i) de cada propiedad mediante la expresión:

$$\omega_i = m_i / N$$

donde "m" es la suma de las decisiones positivas (1s) de cada propiedad.

Propiedad	Decisiones positivas m_i	Factor de peso ω_i
1	0	0.0000
2	3	0.5000
3	1	0.1667
4	2	0.3333

Para la escala de la propiedad se pondera de 0 a 100, asignando 100 para el mejor valor de acuerdo a lo que se desea y los valores restantes se obtienen por regla de tres.

Material	Temperatura de fusión (°C)	Escala de la propiedad (β_i)
Aluminio	660	47.14
Acero	1400	100
Bronce	900	64.29
Latón	940	67.14

Material	Peso específico (Kg/dm ³)	Escala de la propiedad (β_i)
Aluminio	2.77	100
Acero	7.85	35.2866
Bronce	7.59	36.4954
Latón	8.80	31.4773

Material	Dureza Brinell	Escala de la propiedad (β_i)
Aluminio	95	39.4191
Acero	200	82.9876
Bronce	241	100
Latón	143	59.3361

Material	Módulo de elasticidad (Kg/mm ²)	Escala de la propiedad (β_i)
Aluminio	7030	33.4762
Acero	21000	100
Bronce	11240	53.5238
Latón	11950	56.9048

Nota: Para los valores ver referencia bibliográfica 1, 5, 6, 15.

Se reúnen todos los valores obtenidos para calcular el Índice de Propiedades Ponderantes.

Material	Temperatura de fusión. ($\beta_i \omega_i$)	Peso específico ($\beta_i \omega_i$)	Dureza ($\beta_i \omega_i$)	Módulo de elasticidad ($\beta_i \omega_i$)	Índice de propiedades ponderantes.
Aluminio	0	50	6.5712	11.1576	67.7288
Acero	0	17.6433	13.8340	33.33	64.8073
Bronce	0	18.2477	16.67	17.8395	52.7572
Latón	0	15.7386	9.8913	18.9664	44.5963

Finalmente se selecciona el material con mejor índice. En la tabla se observa que el aluminio es el material que se utilizará para la fabricación del soporte del equipo de proyección y automatización.

3.6 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN (MECÁNICA) DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA

En éste punto se mostrarán las piezas terminadas tanto en diseño como en forma física, además de mencionar el comportamiento demostrado durante el desarrollo del trabajo para la cual fué efectuada cada una de ellas. Al mismo tiempo se mencionará si fue necesaria alguna modificación de importancia para tener un mejor resultado. Cabe mencionar que todas las piezas fueron diseñadas en el programa de MECHANICAL DESKTOP 6. Para el caso de las piezas que fueron creadas con material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), el diseño de las piezas se trasladó a SOLID EDGE para darle la extensión que nos sirvió finalmente para llamarlo con el programa CATALYS. Este último es el que nos dio la comunicación con una máquina de ESTEREOLITOGRAFÍA para la impresión de las piezas.

3.6.1 SOPORTE DE LA PISTOLA ROCIADORA

El soporte está comprendido por una pieza metálica hecha de aluminio con un espesor de 10 mm en todo su perímetro, la cual cuenta con diferentes perforaciones que están destinadas a la sujeción tanto de la carcasa de automatización como también de la misma al brazo mecánico (MOTOMAN). Dicha pieza fue fabricada en una máquina CNC modelo VMC 300 la cual es un centro de maquinado (ver anexo 1).

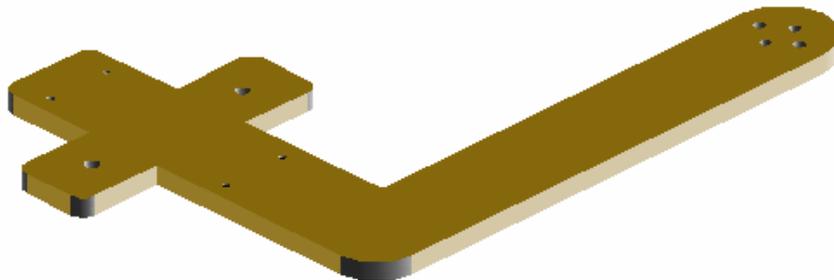


Figura 3.8 Soporte de la Pistola de Rociado Térmico.

Ésta pieza al montarse y al entrar en funcionamiento se pudo observar que no sufrió ningún tipo de deformación ni vibración, cosa que se temía debido a que es la que soporta mayor peso.



Figura 3.9 Soporte de la Pistola Rociadora acoplada al brazo mecánico

3.6.2 CARCASA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

- COMPARTIMIENTO DE LA BOBINA DEL ACCIONADOR DEL GATILLO.

El material de ésta pieza es un polímero llamado ABS que tiene la característica primordial de ser un material muy ligero (1.05 gr/cm^3), con módulo de elasticidad de 218.4 Kg/mm^2 y una resistencia al calor de $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Ésta pieza soporta dos elementos los cuales son el soporte del motor accionador de la palanca para la abertura de combustible y a su vez al sistema de accionamiento del gatillo. Se realizaron pocas modificaciones al diseño primario lo cual nos indica que fue en su totalidad un producto bien desarrollado (ver anexo 2).

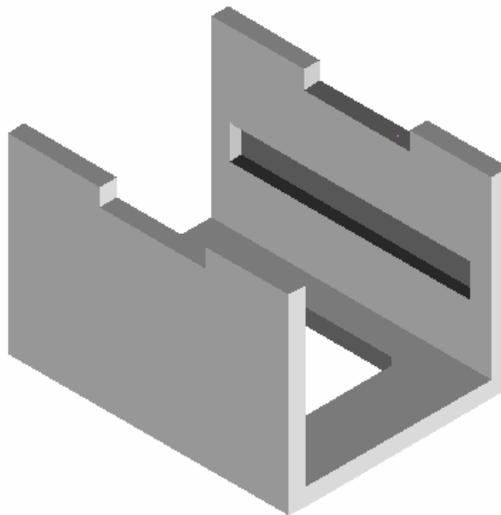


Figura 3.10 Compartimiento de la bobina del accionador del gatillo

3.6.3 ACTUADOR DEL GATILLO

Esta pieza se realizó del mismo material antes mencionado la cual se sujetó a una de las piezas de la armadura de la bobina que accionará al gatillo. Además se le agregó un tornillo el cual nos sirve como un ajustador para calibrar la distancia entre el gatillo y el actuador, para con ello poder obtener un mejor resultado a la hora del accionamiento del mismo, así también para no tener poca afluencia de material de proyección dentro del proceso.

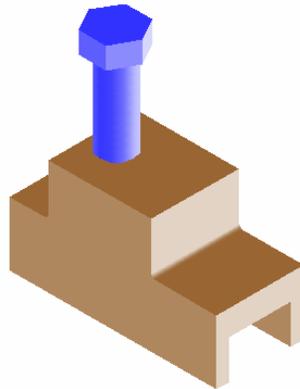


Figura 3.11 Actuador del Gatillo

3.6.4 SOPORTE DEL MOTOR ACCIONADOR DE LA VÁLVULA DE GAS

El material de ésta pieza es el mismo utilizado con anterioridad en la carcasa, la cual demostró un buen comportamiento a las deformaciones plásticas. En este caso no hubo necesidad de modificar dicho elemento (ver anexo 4).

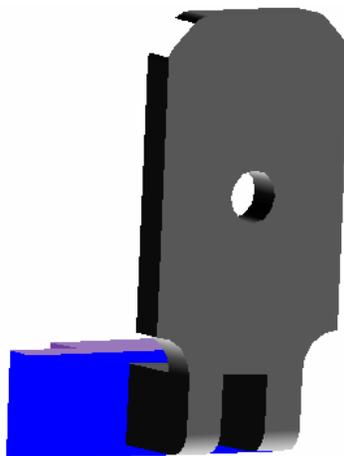


Figura 3.12 Soporte del motor accionador de la válvula de gas

3.6.5 BRAZO ACCIONADOR DE LA VÁLVULA DE GAS

No mostró ningún problema al efectuar su trabajo soportando la fuerza aplicada sobre ella para el accionamiento eficaz de la válvula de apertura de gas, ni para el barrenado efectuado en el extremo donde actúa el motor, el cual tiene un torque bastante fuerte para poder realizar dicha tarea (ver anexo 3).

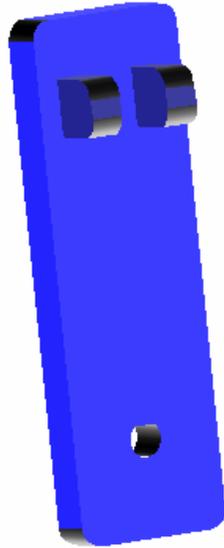


Figura 3.13 Brazo accionador de la válvula de gas

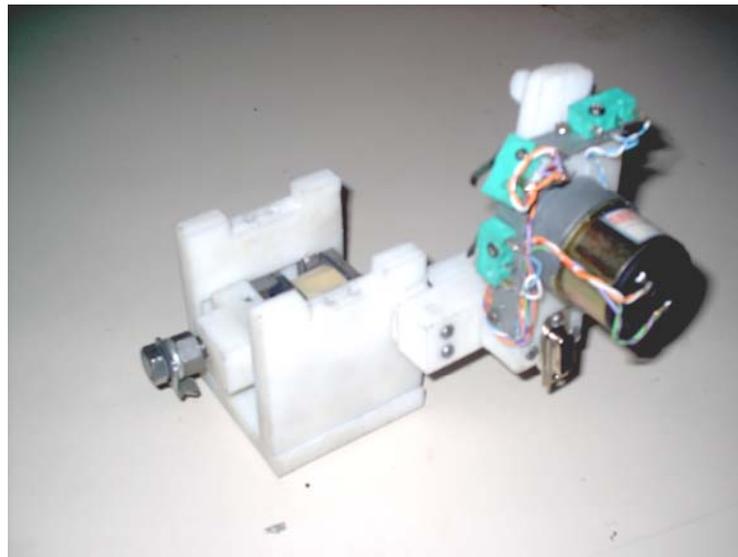


Figura 3.14 Ensamble completo de la carcasa del sistema de automatización

3.7 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN (ELECTRÓNICA) DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA

Para lograr la automatización del proceso se optó por lo siguiente:

1. Para la abertura de la válvula se utilizó un motoreductor de corriente directa con el torque suficiente para la abertura de ésta.
2. Para el accionamiento del gatillo de la pistola rociadora se utilizó una bobina de disparo perfectamente acoplada.
3. Para la chispa que producirá el encendido del gas se utilizó un sistema eléctrico del tipo de las estufas de gas domesticas.

El diagrama de alambrado para el circuito total, así como sus conexiones quedaría como se muestra a continuación.

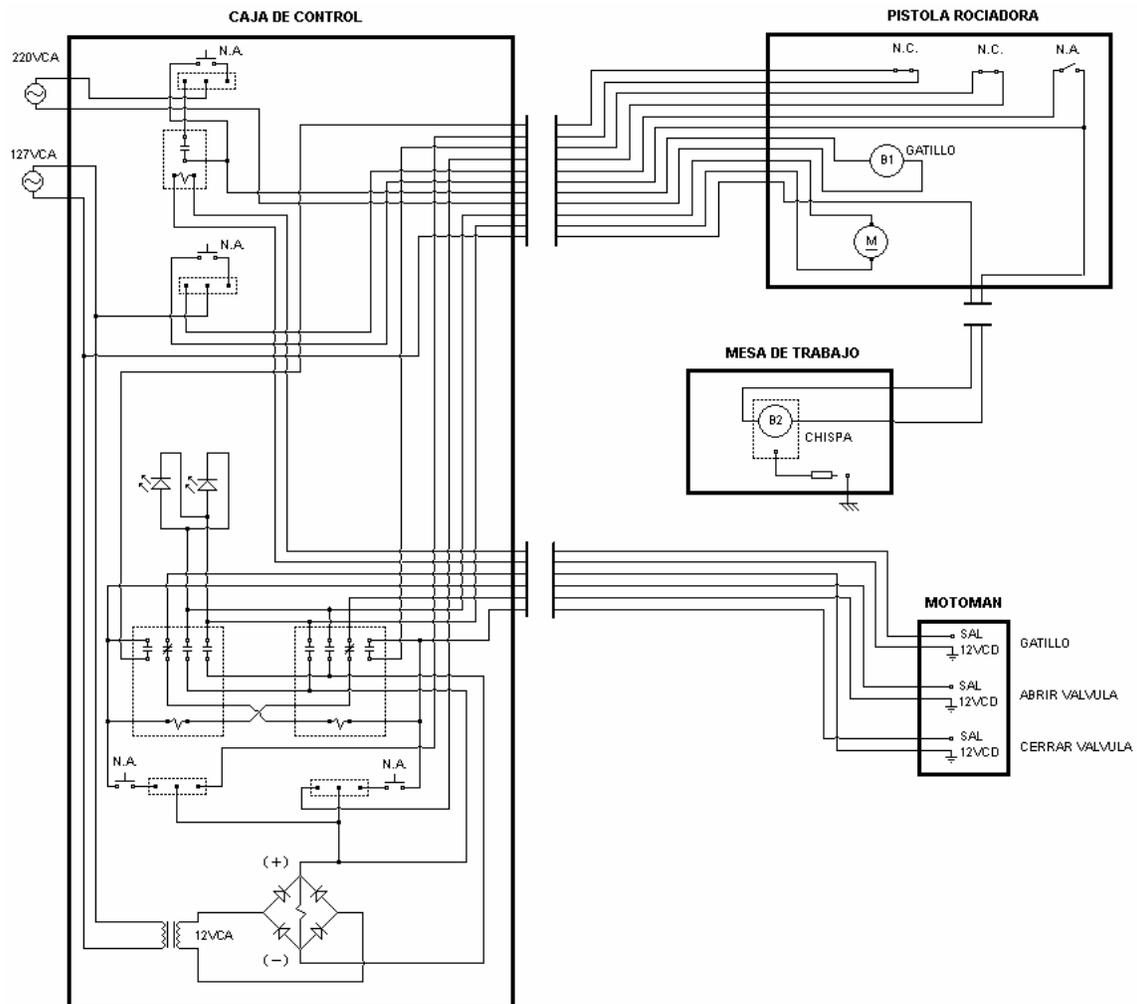


Figura 3.15 Diagrama de alambrado general

Todos estos elementos fueron diseñados para su automatización en modo manual o automático. Esto con la finalidad de poder realizar pruebas, ajustes o se quiera realizar mantenimiento a las piezas siempre y cuando el sistema se encuentre colocado en modo manual. A continuación se describen los procesos utilizados para la automatización.

- SISTEMA DE ENCENDIDO DEL MOTOR

Se realizó un circuito con componentes e ideas básicas que permitiera el accionamiento tanto manual como automático de un motor para la apertura de la válvula.

Material utilizado.

- 2 relevadores de 4 polos, con bobina 24 V_{DC}
- 1 transformador 127 V_{AC} / 12 V_{AC}, 2 Amperes
- 4 diodos 1N4001
- 1 Capacitor, 2200 μ f
- 1 Resistencia, 330 Ω , 1/4 W.
- 2 Leds
- 2 botones NA de pulsar.
- 2 switches de tres posiciones, 3 polos, 2 tiros
- 2 switches NC
- 1 tablilla soldable
- 1 Motoreductor 12V_{CD}
- Cable

Los componentes fueron conectados como se muestra en el diagrama de control siguiente.

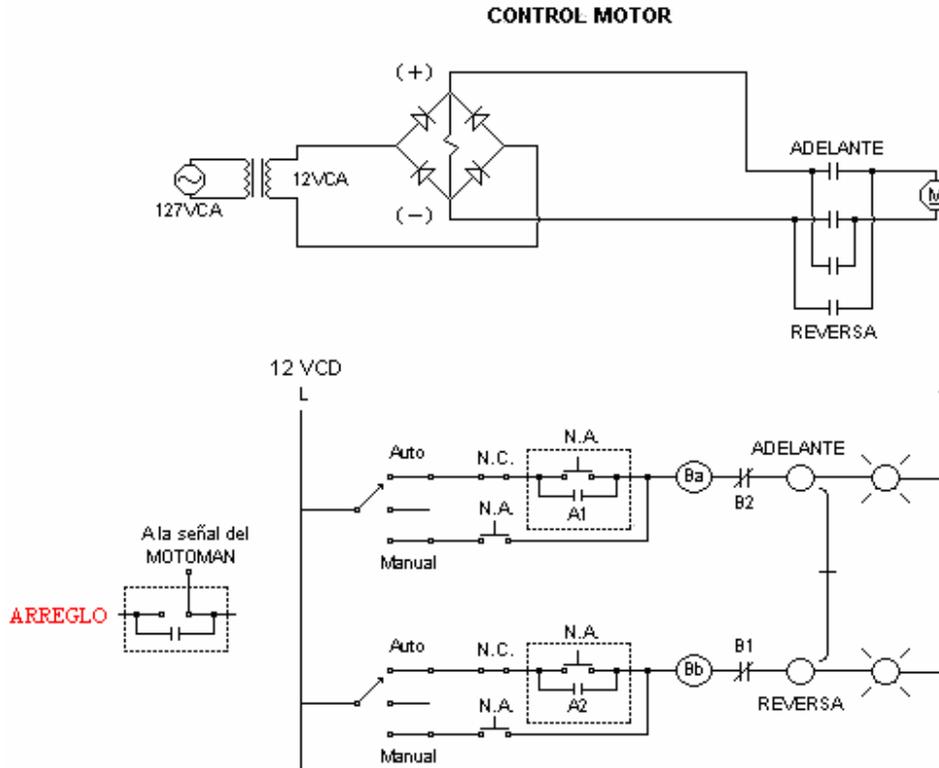


Figura 3.16 Diagrama de Control para Motor

Se utilizaron 2 switches de tres posiciones, uno para el modo manual o automático del motor en el sentido horario y otro switch para el modo manual o automático del motor en el sentido inverso.

Hay que recalcar que el sistema debe funcionar en modo manual o automático, no combinados ya que ello provocaría el mal funcionamiento de éste, porque si esta en modo automático, el programa de automatización manda una señal a la caja de control y si el elemento que se debe activar esta en modo manual no podrá completar la acción por estar abierto el circuito.

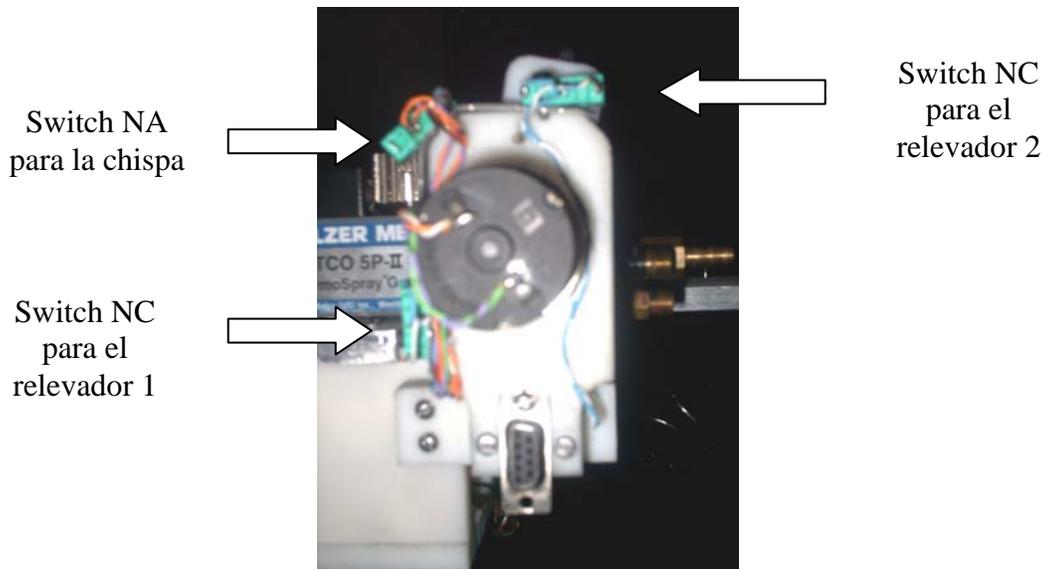


Figura 3.17 Acoplamiento del motoreductor a la carcasa de automatización

Es importante hacer mención que para el accionamiento de los switches se utilizaron placas curvas, esto con el propósito de que no se trabaran a la ida o al regreso del brazo accionador de la válvula de gas y con ello evitar el mal funcionamiento de la automatización.

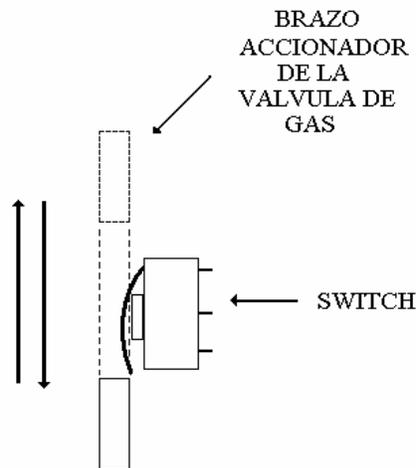


Figura 3.18 Accionamiento de switch

- SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DEL GATILLO

Este sistema fue pensado para su utilización de modo manual y automático por medio de un switch de tres posiciones, como en el caso del accionamiento del motor.

Material utilizado.

- 1 Armadura de hierro de tipo contactor tamaño 0
- 1 bobina 220V
- 1 relevador 24 V_{DC} 1 polo 1 tiro tipo NA
- 1 botón NA de pulsar
- 1 switch de tres posiciones.
- Cable

A continuación se observa el diagrama que se utilizó para lograr el accionamiento de la bobina de disparo.

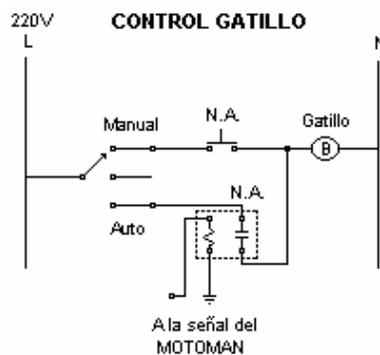


Figura 3.19 Diagrama Control de Gatillo

- SISTEMA DE ENCENDIDO DEL COMBUSTIBLE

En este sistema se utilizó la bobina productora de la chispa que generalmente se ven instaladas en las estufas domésticas de encendido electrónico, en donde el electrodo es colocado en la mesa de trabajo y al cual se dirigirá a la boquilla de la pistola para el encendido del gas.

Material utilizado.

- 1 kit de encendido electrónico
- 1 electrodo
- 1 botón NA de pulsar

- 1 switch NA
- 1 switch de tres posiciones
- Cable

A continuación se muestra el diagrama para el accionamiento de este sistema.

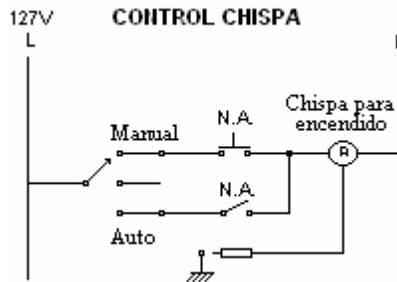


Figura 3.20 Diagrama Control de Chispa

Como se puede observar en el diagrama de alambrado, se acopló un switch de tres posiciones que hará la transición de modo manual o automático.

El circuito en conjunto se colocó dentro de una caja con arreglos por medio de la cual se realizará el proceso de control de cada uno de los componentes para la automatización. Esta caja se recomienda sea colocada al lado del sistema de control del MOTOMAN. Para su realización se utilizó el siguiente material.

- 1 Caja 30x25x10cm
- 1 Conector DB9 Macho
- 1 Conector DB9 Hembra
- 1 Conector DB25 Macho
- 1 Conector DB25 Hembra
- Cable multiconductor
- Cable bipolar (para 220V)



Figura 3.21 Caja de Control

La siguiente figura nos muestra cómo se encuentran colocados los botones y los switches de la caja de control.

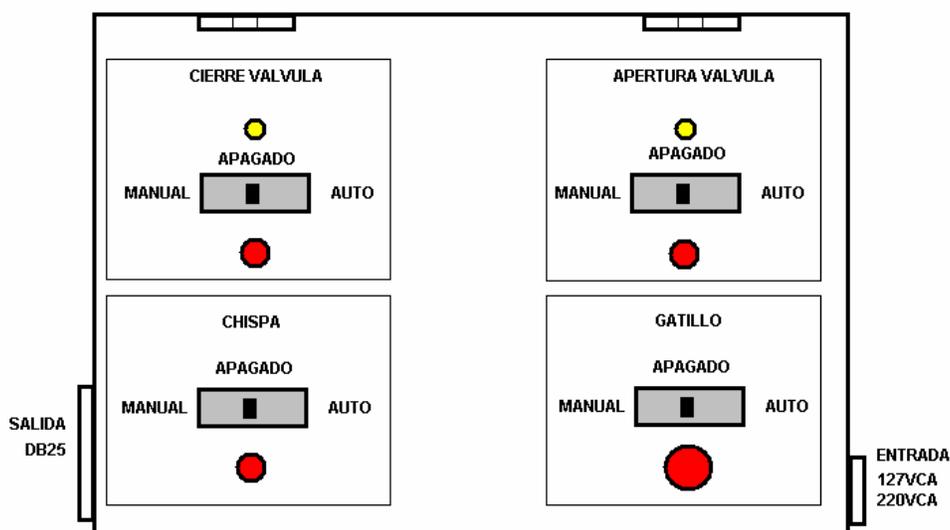


Figura 3.22 Mandos de la Caja de Control

Como se puede mostrar en la figura siguiente todos los componentes se distribuirán de la siguiente forma.

A continuación se muestran el diseño acoplado al brazo mecánico.

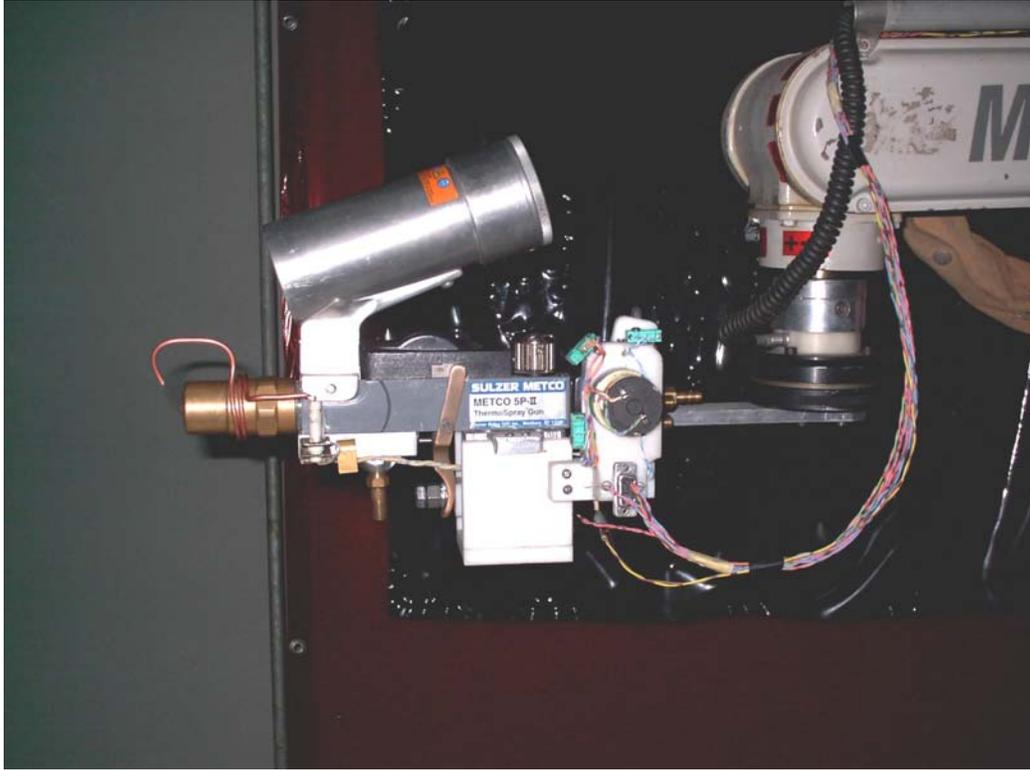


Figura 3.23 Sistema de automatización acoplado al brazo mecánico.

CAPÍTULO IV

BANCO DE PRUEBAS.

4.1 INTRODUCCIÓN.

En éste capítulo se presentarán las recomendaciones para la generación del recubrimiento con el sistema automatizado, y los estudios de huella de proyección, rugosidad, morfología superficial y espesor de la capa.

4.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD.

Antes de hacer las pruebas del equipo de proyección térmica mediante un brazo mecánico, es necesario adoptar las siguientes medidas de seguridad en su manejo.

- a. Todo el equipo de gas, oxígeno, acetileno, líneas de aire, reguladores, etc., deben ser revisados en forma regular para identificar fugas y ajuste de las conexiones.
- b. Se debe tener una adecuada ventilación para minimizar el peligro de explosión por la acumulación de gases y polvos.
- c. Inspeccionar y limpiar el área de trabajo regularmente para asegurarse que no hay peligro por la acumulación de polvos.
- d. Coloque la flama de la pistola lejos del operario y lejos de materiales que se puedan quemar.
- e. Mantener el equipo de rociado térmico en buenas condiciones. Siguiendo las recomendaciones de mantenimiento del manual¹.
- f. Todos los polvos tienen valores caloríficos altos por lo que pueden llegar a ser explosivos. El polvo de aluminio y magnesio son particularmente peligrosos.
- g. Un adecuado sistema de gases de escape es necesario para evitar el efecto tóxico o nocivo de los polvos y humos, los cuales son generados durante el proceso.
- h. Siempre se deben usar los lentes de protección adecuados para este trabajo.
- i. Usar mascarilla de protección, adecuada para evitar inhalar los polvos.

¹ Manual de operación, SULZER METCO, capítulos 6, 7 y 8.

- j. Nunca use aceite o grasa en equipos de oxígeno.

4.3 PREPARACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA PROYECCIÓN TÉRMICA POR MEDIO DE UN BRAZO MECÁNICO.

Se programó el brazo mecánico y el sistema automático tomando en cuenta los siguientes puntos.

- a. Colocar la pistola de proyección térmica cerca del chispero para el encendido automático.
- b. Hacer una pausa de 3 segundos para preparar el encendido de los gases.
- c. Abrir la palanca de los gases y generar la chispa para el encendido de los gases.
- d. Colocar la pistola a 25 cm y en forma perpendicular a la pieza de trabajo.
- e. Hacer una pausa de 3 segundos para iniciar el rociado térmico.
- f. Accionar el gatillo en forma automática para iniciar la proyección térmica, programando el barrido de toda la superficie de la pieza de trabajo a la velocidad de estudio.
- g. Una vez hecha la proyección térmica desactivar el gatillo y cerrar la palanca de los gases para finalizar el proceso.

El brazo mecánico utiliza los siguientes tipos de movimiento:

- Movimiento por juntas (MOVJ): es un movimiento con ocho velocidades de programación dadas en porcentaje de la velocidad máxima que maneja el brazo mecánico.
- Movimiento lineal (MOVL): la velocidad se programa en cm/min.
- Movimiento circular (MOVC): nos permite crear una trayectoria circular.

Para programar el brazo mecánico y el sistema de automatización se utilizó el lenguaje ACL (lenguaje de control avanzado).

4.3.1 Programa del brazo mecánico y sistema de automatización.

JOB TEXT

STEP	INSTRUCTIONS	
000	NOP	
001	MOVJ VJ=25	
002	MOVJ VJ=25	
003	MOVJ VJ=25	
004	MOVJ VJ=6.20	
005	MOVJ VJ=3.07	
006	OUTD (1)1	ACTIVAR ABERTURA DEL GAS
007	TIMER DE 0.5 SEG	
008	OUTD (0)1	
009	ONTD (4)1	ACTIVAR CHISPA
010	MOVJ VJ=1.54	
011	MOVJ VJ=12.47	
012	OUTD (4)0	DESACTIVAR CHISPA
013	MOVJ VJ=12.47	
014	TIMER DE 2 SEGUNDOS	
015	MOVJ VJ=3.07	
016	OUTD (3)1	ACTIVAR GATILLO
017	MOVL V=150	
018	MOVL V=150	
019	MOVL V=150	
020	MOVL V=150	
021	MOVL V=150	
022	MOVL V=150	
023	MOVL V=150	
024	MOVL V=150	
025	MOVL V=150	
026	MOVL V=150	
027	MOVL V=150	
028	MOVL V=150	
029	MOVL V=150	
030	MOVL V=150	
031	MOVL V=150	
032	MOVL V=150	
033	MOVL V=150	
034	MOVL V=150	
036	MOVL V=150	
037	MOVL V=150	
038	MOVL V=150	
039	MOVL V=150	
040	MOVL V=150	
041	TIMER DE 3 SEGUNDOS	
042	OUTD (3)0	DESACTIVACIÓN DEL GATILLO

```

043          TIMER DE 0.5 SEG
044          OUTD (1)2
045          OUTD (0)2          ACTIVACIÓN DE CIERRE DE GAS
046          MOVJ VJ=12.47
047          MOVJ VJ=12.47
048          MOVJ VJ=12.47
END

```

Descripción del programa:

De los pasos 1 a 5 la pistola de rociado térmico se acerca y se pone enfrente del chispero, en los pasos 6-9 se encienden los gases, en los pasos 10-15 se coloca la pistola para iniciar el rociado térmico, en los pasos 16-40 se hace la proyección en zigzag de arriba hacia abajo y viceversa a una velocidad de 150 cm/min, en los pasos 41-45 se desactiva el gatillo y se cierra la palanca de los gases, para finalmente alejar la pistola del área de proyección en los pasos 46-48.

4.3.2 Resultado del funcionamiento del equipo:

P R U E B A	R E S U L T A D O
APERTURA DE LA PALANCA DE LOS GASES	SATISFACTORIO
ENCENDIDO DE LOS GASES	SATISFACTORIO
ACCIONAMIENTO DEL GATILLO	SATISFACTORIO
PROYECCIÓN TÉRMICA	SATISFACTORIO
DESACCIONAMIENTO DEL GATILLO	SATISFACTORIO
CIERRE DE LA PALANCA DE LOS GASES	SATISFACTORIO

4.4 HUELLAS DE PROYECCIÓN.

Se tomaron diferentes huellas de proyección variando la distancia y la calibración de la válvula de control de flujo del polvo (ver tabla anexo 5), con la finalidad de determinar el paso y la distancia más convenientes para el rociado térmico.

1. Distancia de 20 cm.

Ajuste de la válvula de control de flujo a 16



Ajuste de la válvula de control de flujo a 17



Ajuste de la válvula de control de flujo a 18



2. Distancia de 25 cm.

Ajuste de la válvula de control de flujo a 16



Ajuste de la válvula de control de flujo a 17



Ajuste de la válvula de control de flujo a 18



3. Distancia de 30 cm.

Ajuste de la válvula de control de flujo a 16



Ajuste de la válvula de control de flujo a 17



Ajuste de la válvula de control de flujo a 18



Se compararon las diferentes huellas (tabla 4.1) y se seleccionó la correspondiente a una distancia de 25 cm y una calibración de la válvula de control de flujo de 17, por tener una forma y espesor uniforme. Se tomaron medidas de esta huella determinando un paso de la pistola de 1 cm.

Tabla 4.1 Huellas de Proyección.

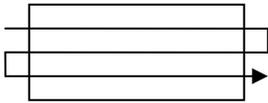
CALIBRACIÓN DE LA VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO.	DISTANCIA DE PROYECCIÓN		
	20 cm	25 cm	30 cm
16			
17			
18			

4.5 PRUEBAS

Se realizaron dos pruebas con el equipo a velocidades de 100 y 150 cm/min y se hicieron estudios de rugosidad, morfología superficial, espesor de la capa y análisis químico.

Parámetros de trabajo.

- a. Material de trabajo: Solera 1018 de 5 cm de ancho por 8 cm de largo y espesor de 6.3 mm.
- b. Preparación de la pieza de trabajo: granallado de 15 minutos con óxido de aluminio malla 12, obteniendo una rugosidad $R_a = 11 \mu\text{m}$ (ver anexo 6).
- c. Polvo metálico: METCO 12C (Ni, Cr 10, B 2.5, Fe 2.5, Si 2.5, C 0.15).
- d. Presión de los gases: Acetileno 0.5 Bar, Oxígeno 2 Bar
- e. Presión del aire: 2.5 Bar.
- f. Distancia de proyección: 25 cm.
- g. Tiempo de proyección: 3 min.
- h. Velocidad: 100 ó 150 cm/min.
- i. Recorrido vertical de la pistola: 1 cm por paso.



4.5.1 Rugosidad.

Como se puede observar en las gráficas de rugosidad (figuras 4.1 y 4.2), se tiene un valor de $R_a = 22.5 \mu\text{m}$ para una velocidad de 100 cm/min, y una $R_a = 17.2 \mu\text{m}$ para una velocidad de 150 cm/min. Por lo que se recomienda esta última velocidad (150 cm/min) para obtener una superficie más homogénea.

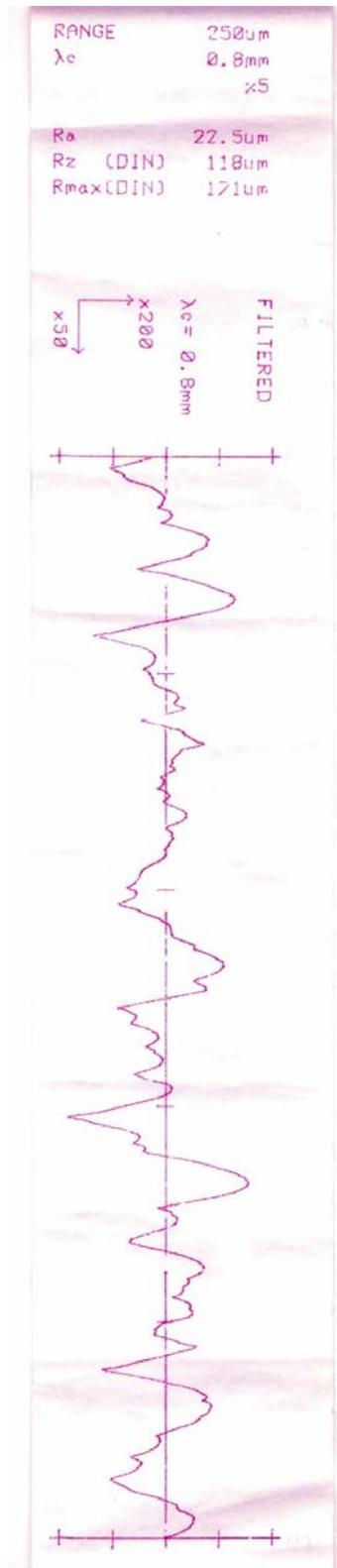


Figura 4.1 Gráfica de rugosidad para una velocidad de proyección de 100 cm/min con una rugosidad $R_a = 22.5 \mu\text{m}$.

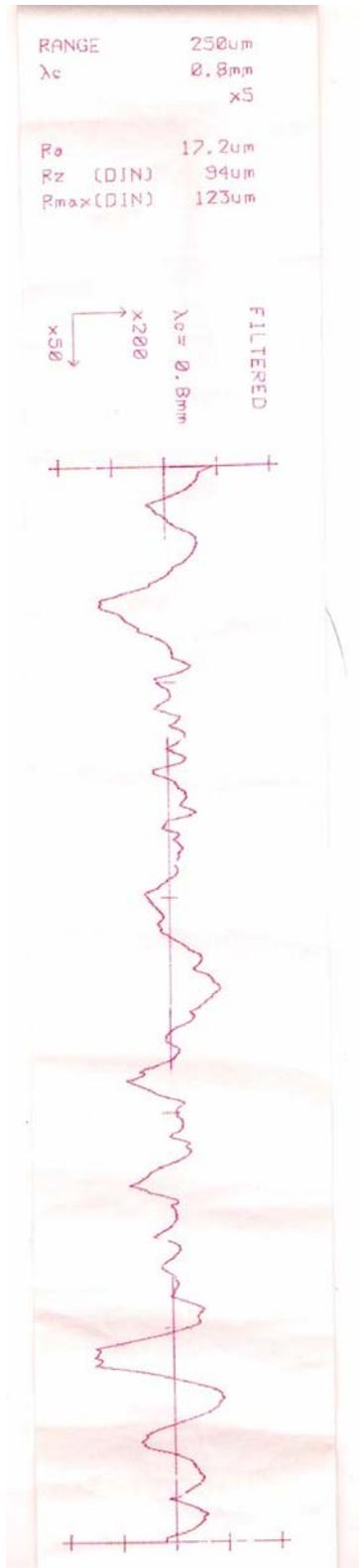


Figura 4.2 Gráfica de rugosidad para una velocidad de proyección de 150 cm/min con una rugosidad $R_a = 17.2 \mu\text{m}$.

4.5.2 MORFOLOGÍA SUPERFICIAL.

En la prueba de rociado térmico a una velocidad de 150 cm/min se hicieron micrografías de la superficie en un microscopio electrónico de barrido PHILIPS XL20, a 45x, 100x, 200x y 400x, donde se puede observar la proyección del polvo metálico sobre el material de trabajo y la porosidad.

Se puede observar en las figuras 4.3 y 4.4 las partículas de forma esférica que no fundieron quedando adheridas al sustrato. En las figuras 4.5 y 4.6 se puede observar la porosidad (puntos negros) y la adherencia al sustrato del polvo metálico fundido.

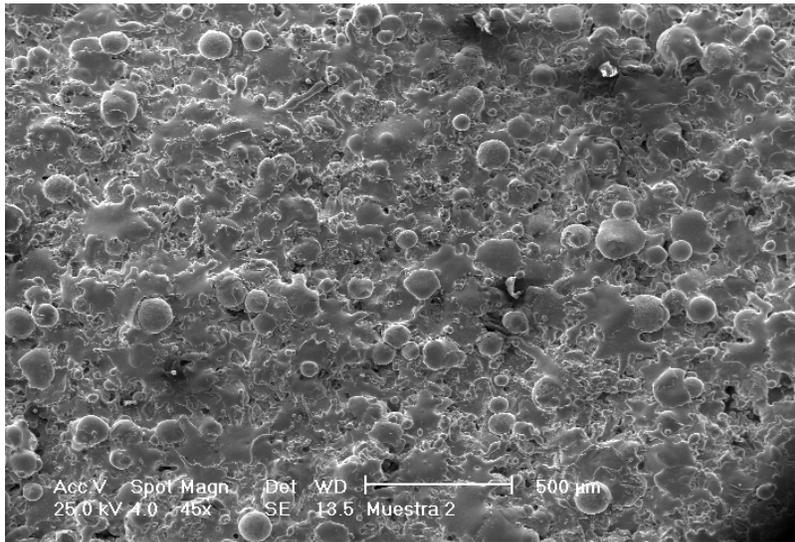


Figura 4.3 Micrografía de la superficie a 45x

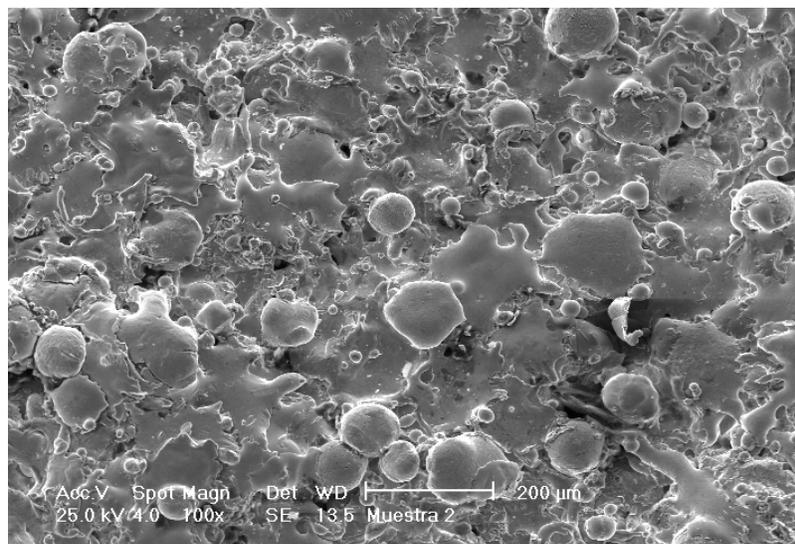


Figura 4.4 Micrografía de la superficie a 100x

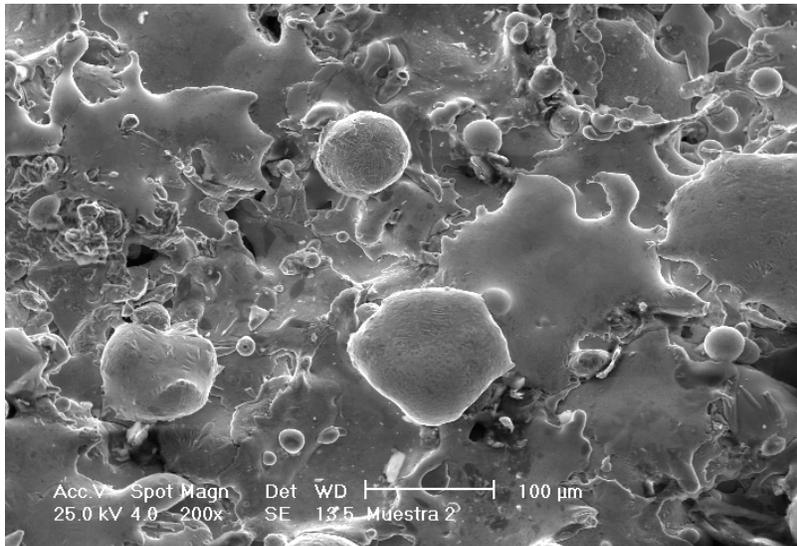


Figura 4.5 Micrografía de la superficie a 200x

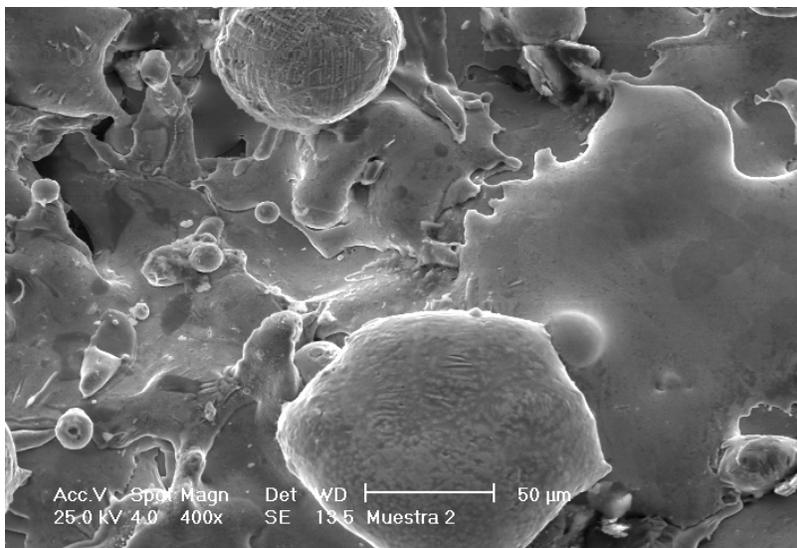


Figura 4.6 Micrografía de la superficie a 400x

4.5.3 ESPESOR DE LA CAPA.

En la prueba de rociado térmico a una velocidad de 150 cm/min se hicieron medidas del espesor de la capa en diferentes puntos. Como se puede observar en las figuras 4.7, 4.8, y 4.9, el espesor en un punto máximo de la capa es de 1.19 mm, 972 µm tomando un punto mínimo y 1.12 mm en un punto medio del espesor.

Cuando se especifica un espesor de la capa de rociado, es muy importante considerar la variación normal de la capa, es decir, se tiene un espesor

mínimo y uno máximo. Esta variación depende del trabajo en particular y la forma del rociado.

El rociado de la capa debe serlo bastante grueso, de modo que ninguna zona será mas delgada que el espesor mínimo especificado. Si este espesor no se conoce por experiencia, una prueba de área de rociado determinará el espesor promedio requerido.

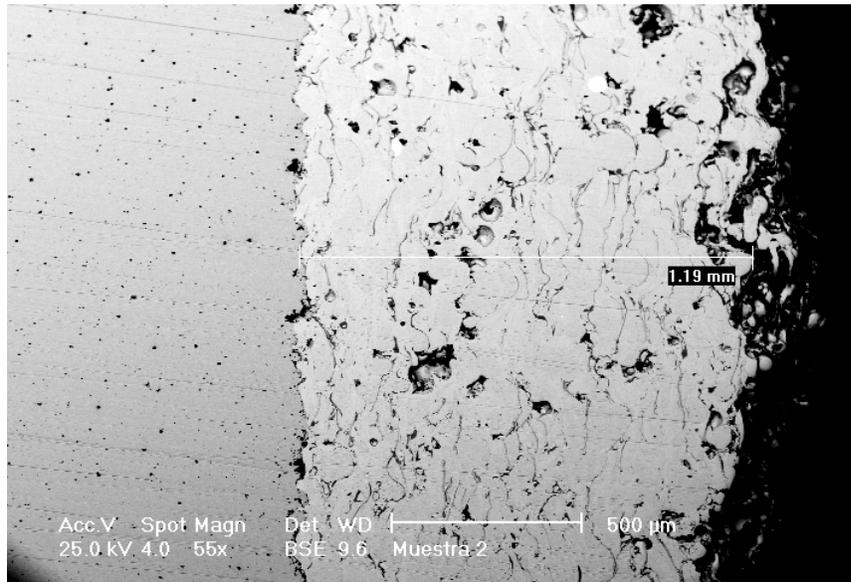


Figura 4.7 Espesor de 1.19 mm en un punto máximo de la capa

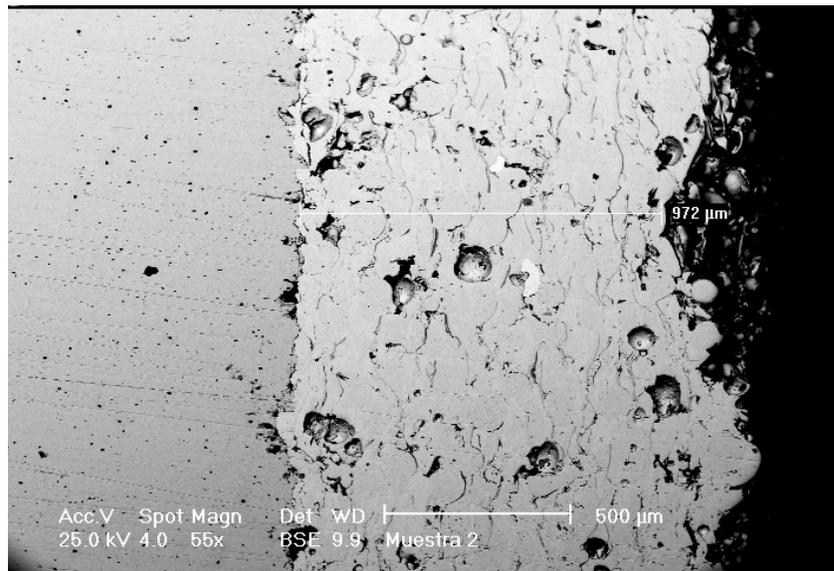


Figura 4.8 Espesor de 972 μm en un punto mínimo de la capa

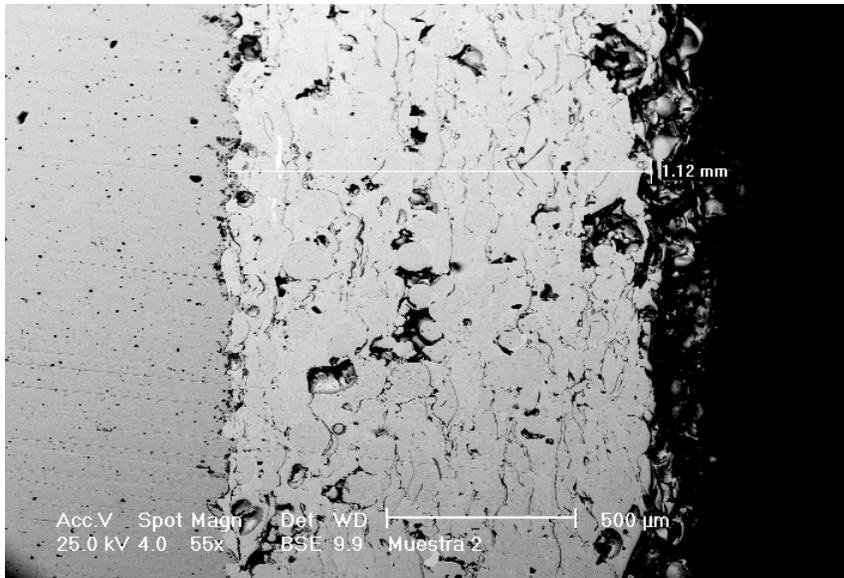


Figura 4.9 Espesor de 1.12 μm en un punto medio de la capa

4.5.4 ANÁLISIS QUÍMICO POR MEDIO DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO.

La figura 4.10 nos muestra el análisis químico del polvo metálico METCO 12C por medio del microscopio electrónico de barrido, el cual concuerda con las especificaciones del fabricante, al presentar un alto contenido de níquel y cromo.

Esta aleación se utiliza donde es necesario una buena resistencia al desgaste y a la corrosión, es maquinable.

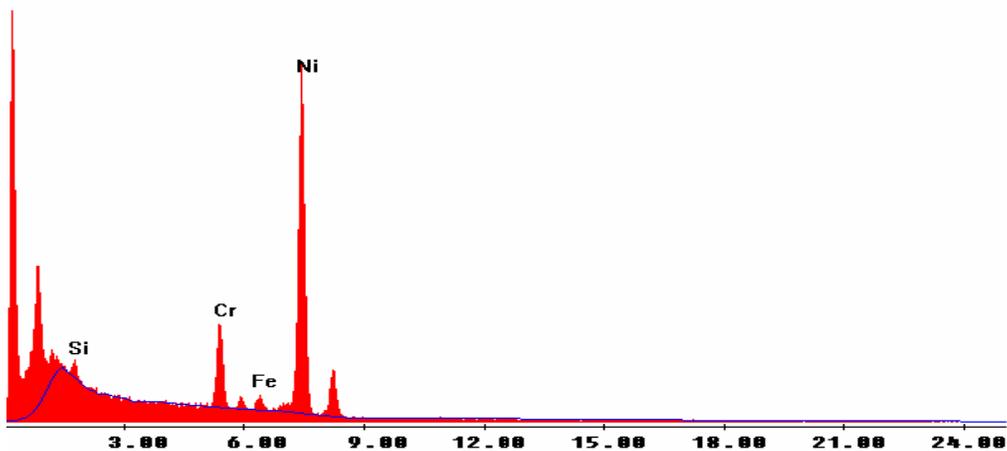


Figura 4.10 Análisis químico del polvo metálico METCO 12C.

4.6 CÁLCULO DEL TIEMPO DE PROYECCIÓN TÉRMICA PARA UN ESPESOR DETERMINADO.

Se realizaron rociados térmicos con diferentes tiempos, con los mismos parámetros de la prueba anterior para una velocidad de 150 cm/min. Se midió el espesor de la capa, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.2

Espesor de la capa en mm	Tiempo de proyección en seg.
0	0
0.8	60
1.3	120
2.2	180
3.2 (Levantamiento de la capa)	280

A continuación se muestra la gráfica de la tabla 4.2.

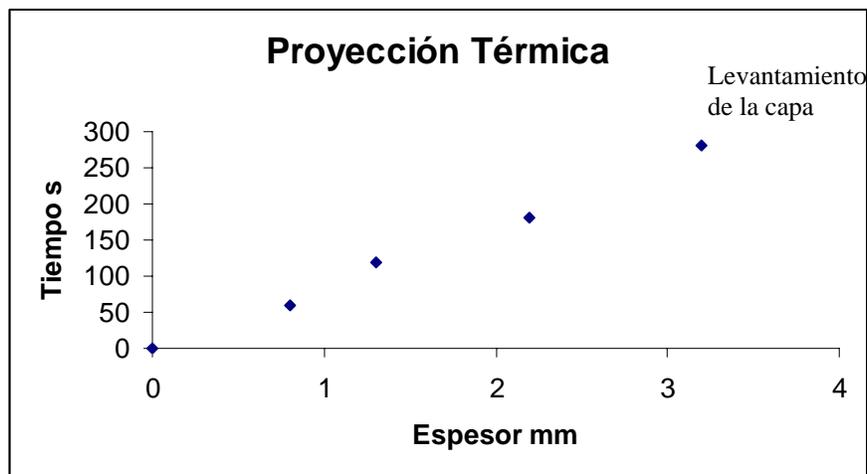


Fig. 4.11 Gráfica espesor-tiempo

La gráfica nos muestra que los puntos se ajustan a una línea recta, por lo que usaremos el método de mínimos cuadrados para hallar dicha ecuación.

La recta de aproximación por mínimos cuadrados del conjunto de puntos $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ tiene la ecuación:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

Donde a_0 y a_1 se obtienen con las fórmulas:

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a_1 = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Realizando los cálculos obtenemos:

Tabla 4.3

	X ESPESOR	Y TIEMPO	X CUAD.	XY
	0	0	0	0
	0.8	60	0.64	48
	1.3	120	1.69	156
	2.2	180	4.84	396
	3.2	280	10.24	896
SUMA	7.5	640	17.41	1496

Con los datos de la tabla 3 y aplicando las fórmulas obtenemos:

$$a_0 = -2.52, a_1 = 87$$

Por lo tanto la ecuación buscada es:

$$Y = -2.52 + 87X \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde Y es el tiempo de proyección en segundos y X el espesor de la capa en mm, esta ecuación la podemos expresar como:

$$TP = -2.52 + 87(\text{espesor de la capa en mm}) \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde TP es el tiempo de proyección en segundos.

La gráfica de la ecuación 1 es:

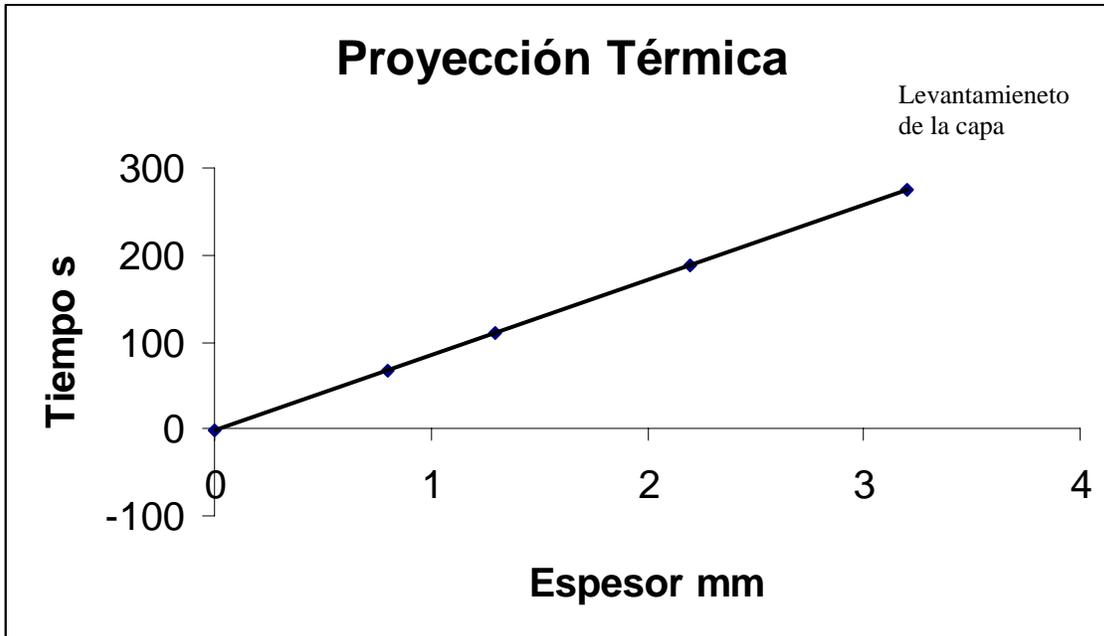


Figura 4.12 Gráfica de tiempo de proyección contra espesor.

La ecuación 1 nos permite calcular el tiempo de proyección para un espesor determinado hasta un valor menor a 3.2mm, en soleras de 8 x 5 cm, es decir 40 cm². Para otra superficie hay que multiplicar por el factor de superficie que es:

$$\text{Factor de superficie} = \text{superficie a proyectar} / 40$$

Ejemplo.

Se desea recubrir una superficie de 12 x 10 cm con polvo metálico METCO 12C, y obtener un espesor de 1.2 mm. ¿ calcular el tiempo de proyección?

Como se puede observar en las microscopias del espesor de la capa, se tiene un valor mínimo y uno máximo. Por lo que se recomienda aumentar el espesor 0.2 mm para que el espesor mínimo de la capa cumpla con el valor requerido.

$$TP = - 2.52 + 87 (\text{espesor en mm}) (\text{factor de superficie})$$

$$\text{Factor de superficie} = (12 \times 10) / 40 = 3$$

$$TP = - 2.52 + (87)(1.4)(3) = 362.88 \text{ s (aprox: 6 min)}$$

Este tiempo es sólo una referencia, porque se debe de ajustar al tiempo que se lleve cada capa y al espesor adicional para el maquinado.

4.7 CÁLCULO DEL COSTO.

Ejemplo:

Se desea determinar el costo del rociado de la pieza del ejemplo anterior.

1. Cálculo del tiempo.

Del ejemplo anterior tenemos que el tiempo proyección es de 362.88 s, que expresado en horas es iguala 0.1008hr.

2. Cálculo del gasto de polvo.

Para calcular el gasto se midió el consumo de polvo en un tiempo determinado. Se obtuvo que en 460 segundos se consumieron 407 gramos de polvo, dando un gasto de 53 gr/min (3.185 Kg/hr).

3. Cálculo del peso del polvo.

Peso = Tiempo de proyección en hr x consumo de polvo por hora
Peso = .1008 hr x 3.185 Kg/hr = .321 Kg (321 gr)

4. Cálculo del consumo de oxígeno y el gas combustible en m³.

Consumo de gas = Tiempo de proyección en hr x consumo por hora
(ver tabla de rociado, anexo 5).

Oxígeno = .1008 hr x 1.7 m³/hr = 0.1713 m³
Acetileno = .1008 hr x 0.93 m³/hr = 0.0937 m³

5. Cálculo del costo total de rociado.

Costo del polvo = costo del polvo por Kg x consumo en Kg +
Costo del oxígeno = costo por m³ x consumo en m³ +
Costo del acetileno = costo por m³ x consumo en m³ +
Costo de mano de obra = costo por hr de mano de obra x tiempo
requerido +
Costo de uso brazo mecánico = costo por hr MOTOMAN x tiempo
requerido +
(El costo del trabajo también debe incluir)
Costo de preparación de la pieza. +
Costo de maquinado.

4.8 EJEMPLO DE UNA PROYECCIÓN TÉRMICA DEFICIENTE.

Se pudo observar en las pruebas que una proyección térmica deficiente se debe principalmente a la falta de mantenimiento de la pistola de rociado térmico antes de la proyección. Al tener sucios o tapados los conductos de los gases combustibles y del aire a presión, se tiene un flama y un rociado deficiente.

Además si la válvula de alimentación del polvo metálico no tiene buena lubricación y limpieza el material no es alimentado adecuadamente a la pistola, provocando con ello un aporte de material escaso en la proyección.

Se recomienda para una buena proyección térmica, lubricar la válvula de alimentación de los polvos y la limpieza de los conductos de los gases combustibles y del aire a presión, antes de iniciar un trabajo de rociado térmico.

A continuación se presenta la micrografía superficial de una proyección térmica deficiente a 100x y 200x (figura 4.13 y 4.14), donde se puede observar las partículas de polvo en forma esférica que no fundieron y el exceso de porosidad.

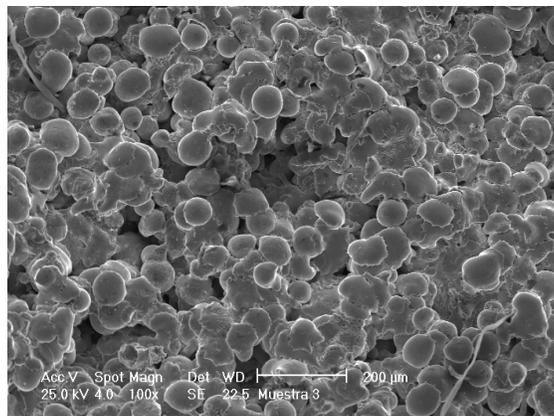


Figura 4.13 Micrografía superficial a 100x

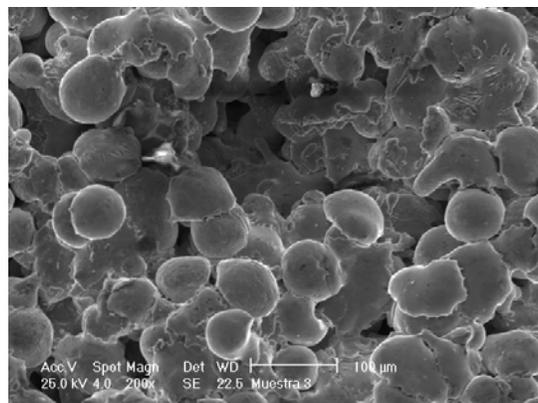


Figura 4.14 Micrografía superficial a 200x

4.9 FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA.

1. Granallado.

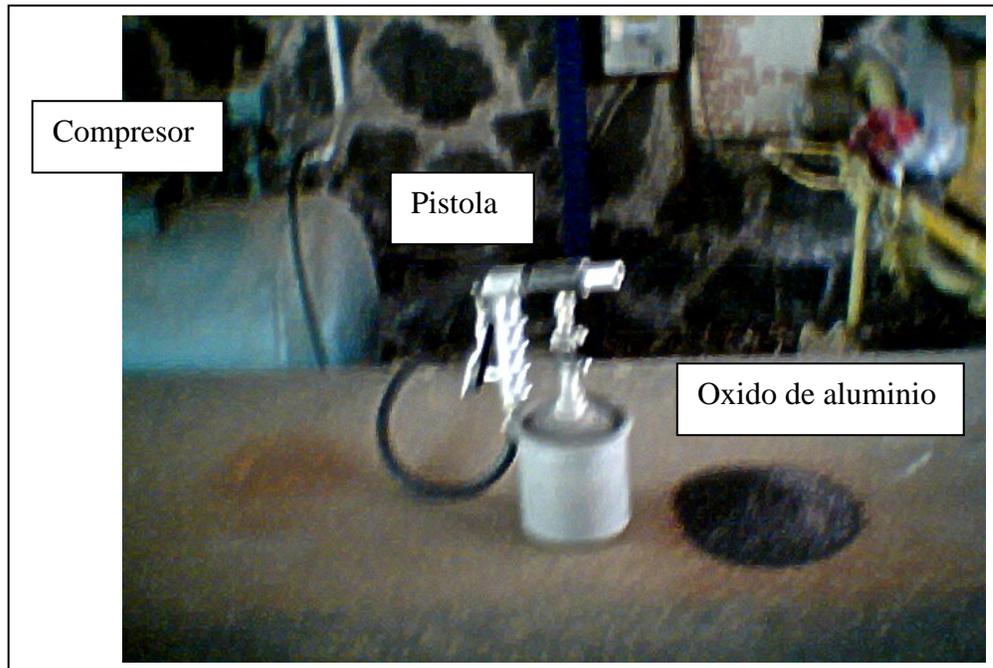


Figura 4.15 Equipo para granallado

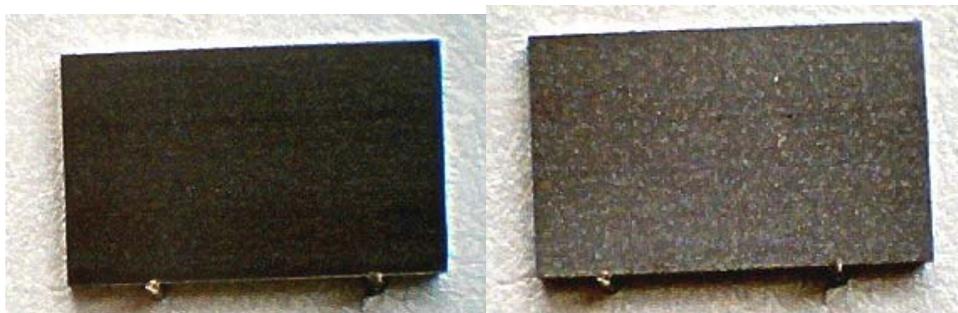


Figura 4.16 Substrato sin granallar (izquierda), substrato granallado (derecha).

2. Equipo.

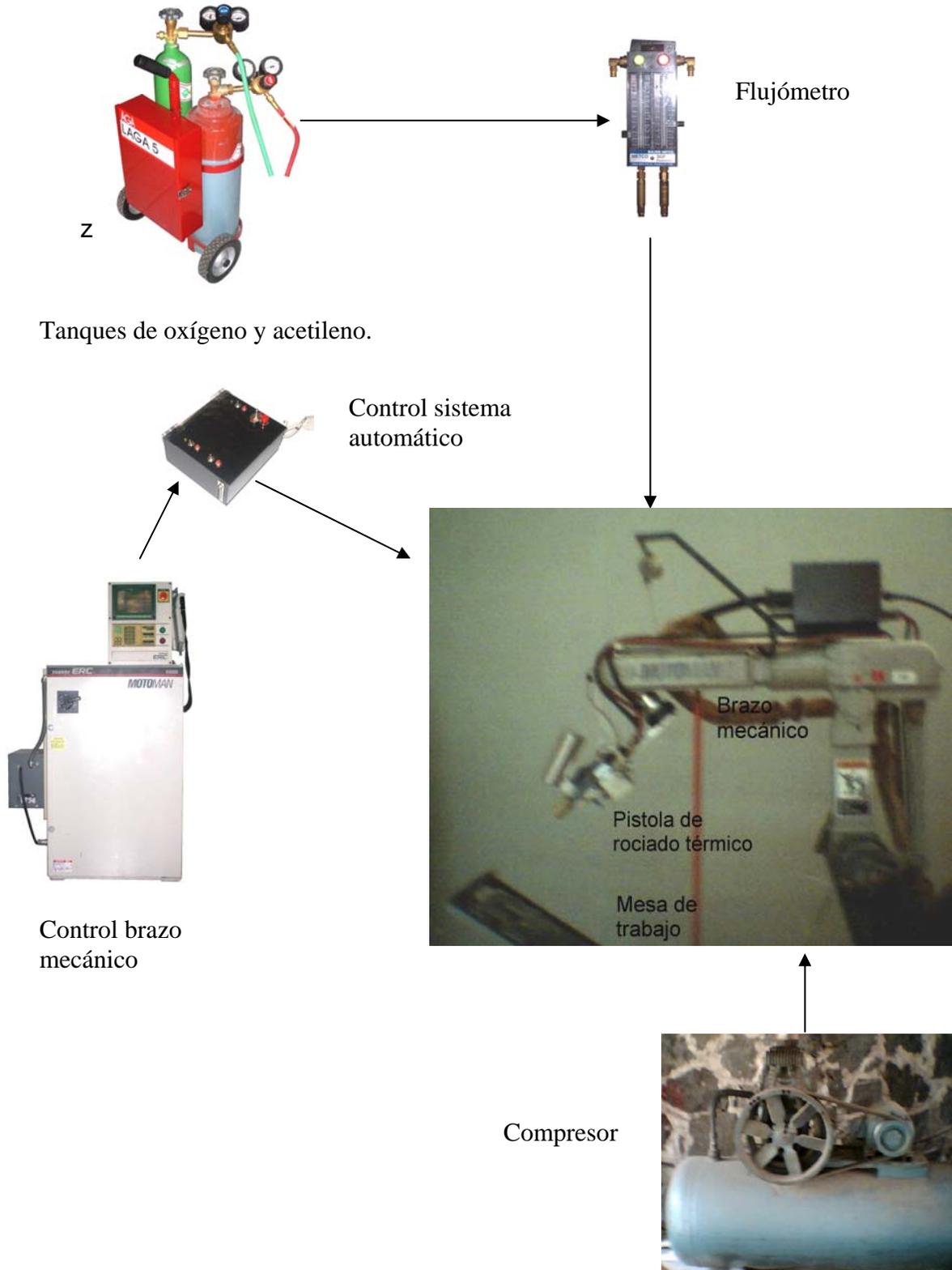


Figura 4.17 Equipo para la proyección térmica mediante un brazo mecánico.

3. Proyección térmica.

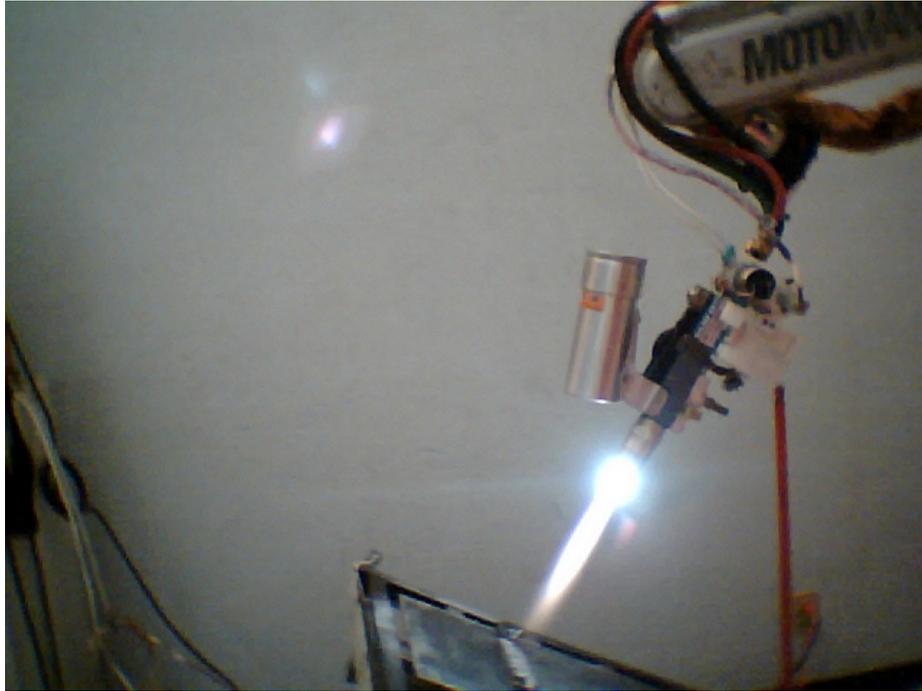


Figura 4.18 Pre calentamiento del sustrato.



Figura 4.19 Rociado Térmico

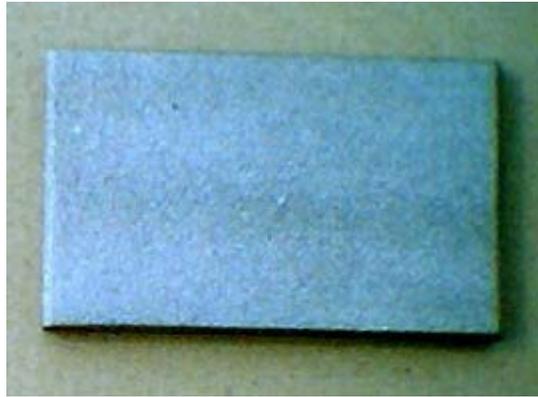


Figura 4.20 Sustrato con recubrimiento METCO 12C.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DEL OBJETIVO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA MEDIANTE UN BRAZO MECÁNICO.

El objetivo de éste trabajo consistió en automatizar el proceso de proyección térmica mediante un brazo robot para obtener recubrimientos superficiales homogéneos, el cual fue cubierto en su totalidad y con buenos resultados, los cuales se detallan en los siguientes párrafos.

El equipo de automatización del proceso se comportó de una manera inestable al principio debido a que existieron algunas conexiones mal colocadas y en algunos casos falso contacto, mala calibración de los interruptores, entre otros. Sin embargo se lograron detectar los errores y se corrigieron sin problema. Se reanudaron las pruebas demostrando con ello que ya no existía ninguna falla durante ni al final del banco de pruebas realizado. Todas las piezas se encontraron en óptimas condiciones y sin problemas de desgaste o deformación.

Se efectuó un desmembramiento del equipo para realizar un estudio minucioso de cada una de las piezas para cotejar tanto las medidas de diseño como la apariencia física, logrando con ello verificar el estado final. Se obtuvo que no hubo modificación alguna y por lo tanto se determina que las piezas pueden estar libres de programas de mantenimiento correctivo continuo, únicamente se recomienda realizar verificaciones periódicas para así no tener pérdidas tanto económicas por la interrupción del proceso, como mermas en los equipos por accidentes ocasionados por la ruptura de una pieza.

El brazo mecánico se comportó de una manera adecuada, ya que se puso especial interés en la limitante del peso que puede soportar la muñeca, que es de 6 Kg. El peso de los elementos del sistema de automatización se detallan a continuación:

• Soporte principal.	321 gr.
• Carcasa con equipo de automatización.	620 gr.
• Pistola de rociado térmico.	1 855 gr.
• Contenedor lleno con el material de proyección.	1 900 gr.
Peso total	4 696 gr.

El peso total de 4 696 gr constituye el 78.26 % del peso que puede manejar la muñeca del brazo mecánico, por lo que queda totalmente cubierta la

especificación de diseño relativa a no rebasar el peso de 6 Kg que puede manejar la muñeca del brazo mecánico.

Se pudo observar en las pruebas que una proyección térmica deficiente se debe principalmente a la falta de mantenimiento de la pistola de rociado térmico antes de la proyección. Al tener sucios o tapados los conductos de los gases combustibles y del aire a presión, se tiene un flama y un rociado deficiente.

Además si la válvula de alimentación del polvo metálico no tiene buena lubricación y limpieza el material no es alimentado adecuadamente a la pistola, provocando con ello un aporte de material escaso en la proyección.

Se recomienda para una buena proyección térmica, lubricar la válvula de alimentación de los polvos y la limpieza de los conductos de los gases combustibles y del aire a presión, así como, una buena calibración del actuador del gatillo antes de iniciar un trabajo de rociado térmico.

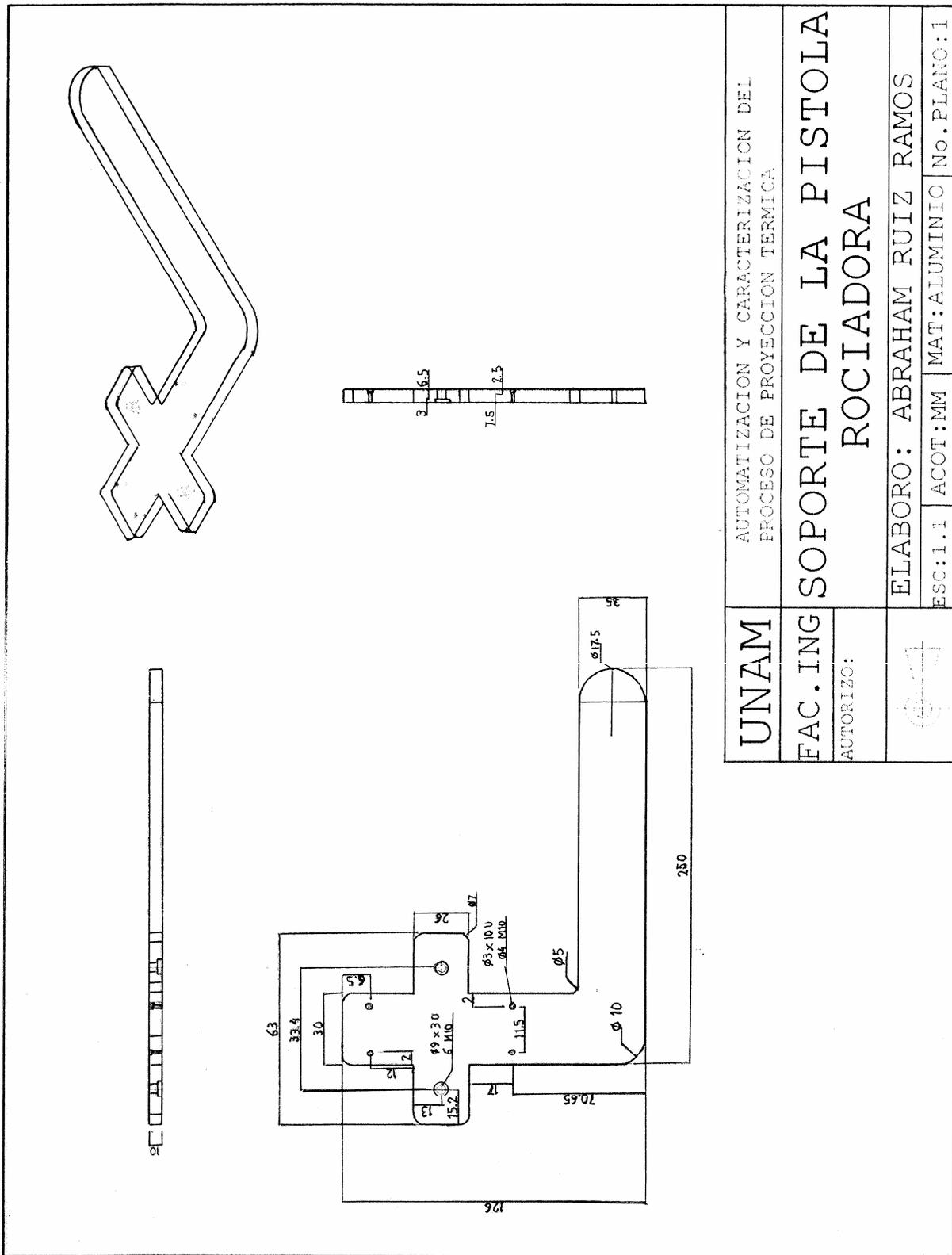
Es válida la mención de que el proceso es uno de los más antiguos y que en ocasiones se puede llegar a considerar obsoleto, pero dentro de todo esto es el único que nos entrega una gama amplísima de combinaciones de polvos metálicos para recubrimientos, lo que nos da una generación de múltiples características en los materiales de aporte.

5.2 COMENTARIOS.

Para un taller, pequeña o mediana industria, es de primordial importancia que automaticen al máximo sus procesos de trabajo. En un mercado tan competitivo es necesario reducir costos y mejorar la calidad del producto, a lo cual contribuye enormemente la automatización.

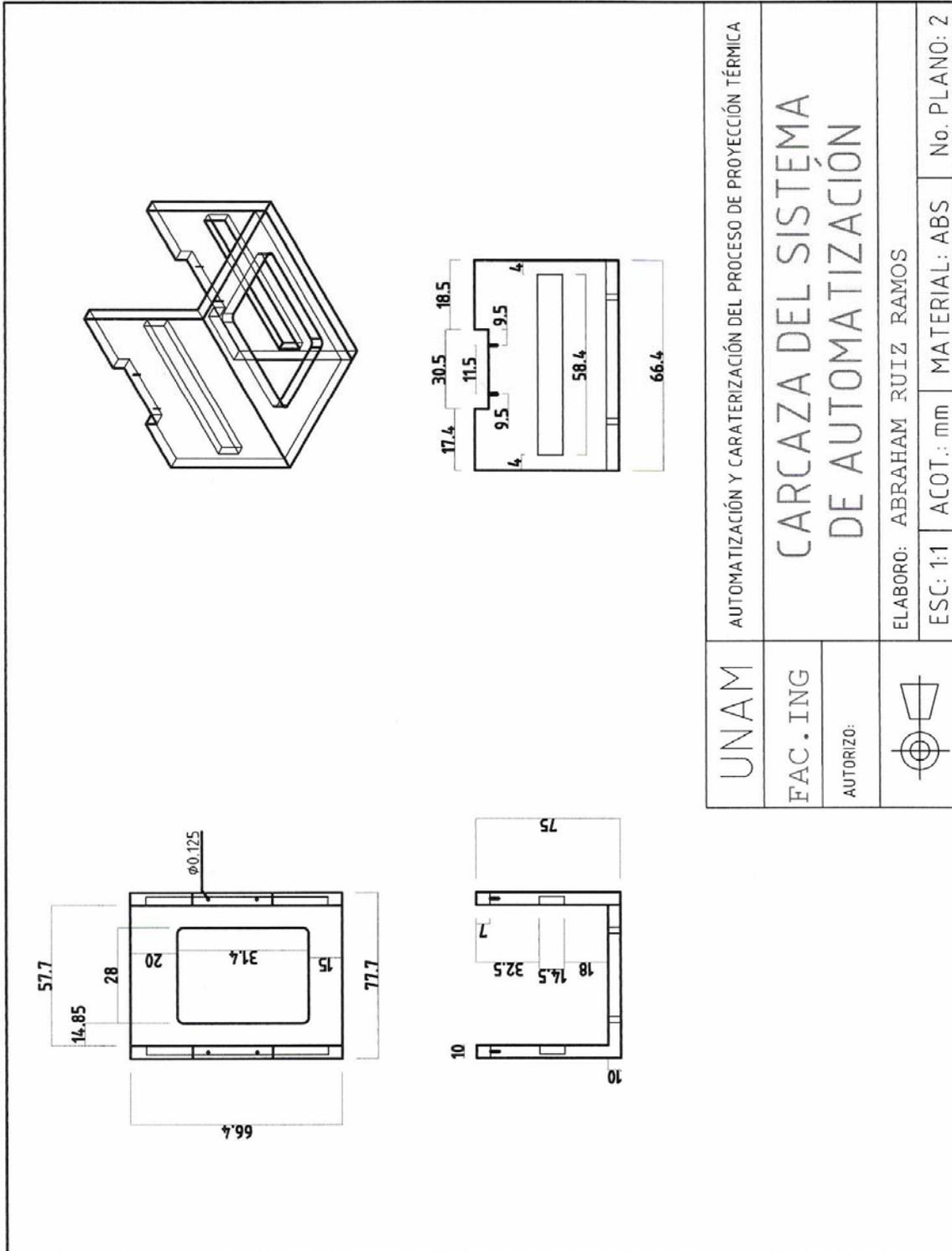
ANEXOS

ANEXO 1

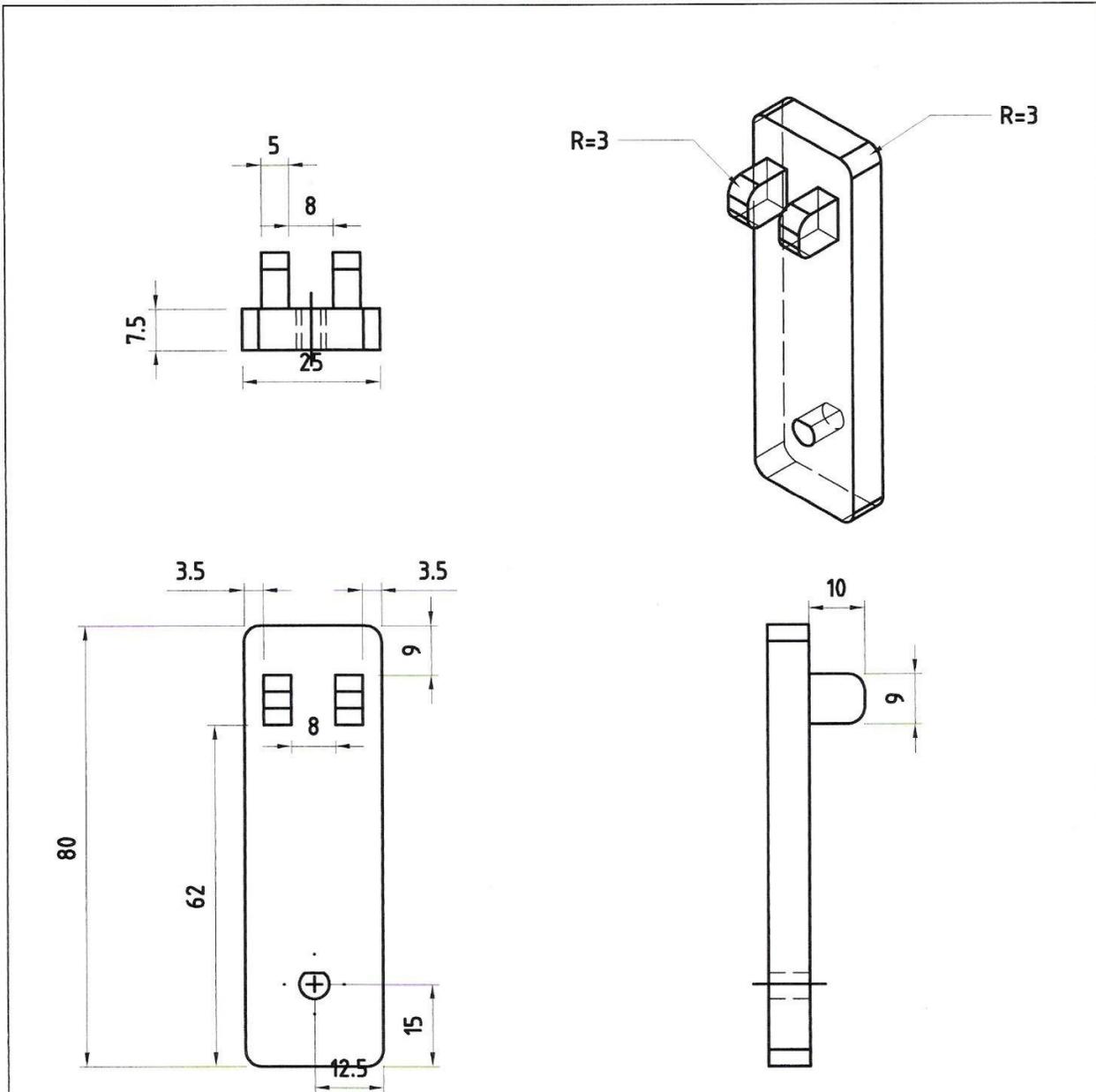


UNAM	AUTOMATIZACION Y CARACTERIZACION DEL PROCESO DE PROYECCION TERMICA	
FAC. ING	SOPORTE DE LA PISTOLA ROCIADORA	
AUTORIZO:		
	ELABORO: ABRAHAM RUIZ RAMOS	
ESC:1.1	ACOT:MM	MAT:ALUMINIC
		NO. PLANO:1

ANEXO 2

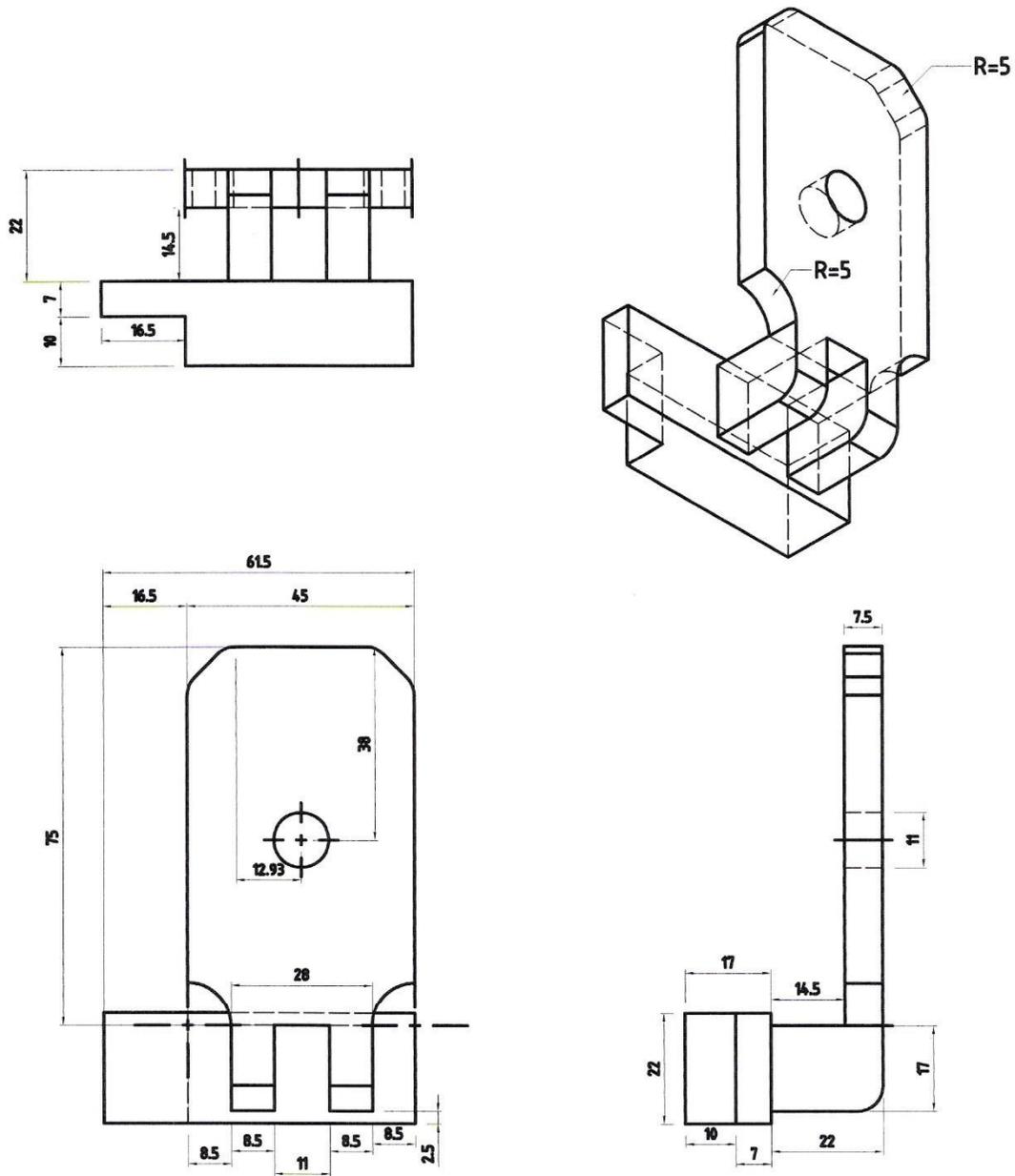


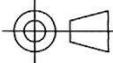
ANEXO 3



UNAM	AUTOMATIZACIÓN Y CARATERIZACIÓN DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA		
FAC. ING.	BRAZO ACCIONADOR DE LA VÁLVULA DE GAS		
AUTORIZO:			
	ELABORO: ABRAHAM RUIZ RAMOS		
	ESC: 1:1	ACOT.: mm	MATERIAL: ABS

ANEXO 4



UNAM	AUTOMATIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PROYECCIÓN TÉRMICA		
FAC. ING	SOPORTE DEL MOTOR ACCIONADOR DE LA VÁLVULA DE GAS		
AUTORIZO:			
	ELABORO: ABRAHAM RUIZ RAMOS		
	ESC: 1:1	ACOT.: mm	MATERIAL: ABS
			No. PLANO: 4

ANEXO 5

TABALA DE ROCIADO PARA LA PISTOLA 5P-II
(MANUAL SULZER METCO)

POLVO METCO	Vibrador	Boquilla	Válvula Alimentación Polvo	Válvula Control de Flujo de Polvo	Distancia Rociado (mm)	Presión Gases (Bar)		Flujómetro		Consumo por hora			Velocidad m ³ por hr espesor 0.1 mm	Peso del polvo Kg·m ² Espesor 0.1 mm
						Oxy	Acet	Oxy.	Acet.	Oxy. m ³	Acet. m ³	Polvo Kg		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12C	NO	P7B-G	11	16-18	230-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	9.1	10.3	.88
14E	NO	P7B-G	11	16-18	230-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	9.1	11.0	.83
15E	NO	P7B-G	11	16-18	230-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	9.1	11.3	.81
15F	SI	P7B-G	11	16-18	130-180	2.4	----	28	----	1.5	----	9.1	11.3	.81
16C	NO	P7B-G	11	16-18	230-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	9.1	11.3	.81
18C	NO	P7B-G	11	16-18	230-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	9.1	10.9	.88
19E	NO	P7B-G	11	16-18	230-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	9.1	11.0	.83
31C	NO	P7B-G	11	10-14	180-250	1.7	1.0	34	34	1.7	0.93	7.3	7.9	.92
410	SI	P7B-D	12	14-16	75-130	1.4	1.0	32	32	1.5	.85	1.8	3.4	.52

ANEXO 6

TIEMPO DE GRANALLADO.

Para determinar el tiempo de granallado y obtener el mejor anclaje, se procedió a trabajar el sustrato con diferentes tiempos y los siguientes parámetros de trabajo:

Sustrato: Solera 1018 de 8 x 5 cm y 1/4 de pulgada de espesor.

Granalla: Óxido de aluminio malla 12

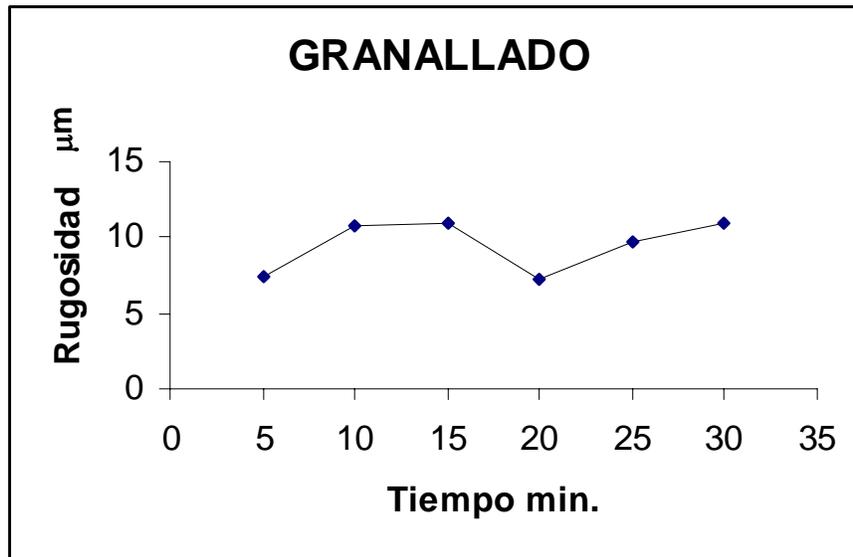
Presión: 80 a 90 lb/in²

Distancia: 30 cm

Se realizaron estudios de rugosidad (ver figuras 1 y 2). para cada uno de los tiempos de granallado, obteniéndose los siguientes resultados.

Tiempo de granallado en minutos.	Rugosidad Ra en μm
5	7.5
10	10.7
15	11
20	7.2
25	9.7
30	11

La siguiente gráfica corresponde a la tabla anterior.



Como se puede observar en la gráfica el tiempo óptimo de granallado es de 15 minutos, para 20 y 25 minutos decrece la rugosidad y para 30 se obtiene el mismo valor que en 15 minutos.

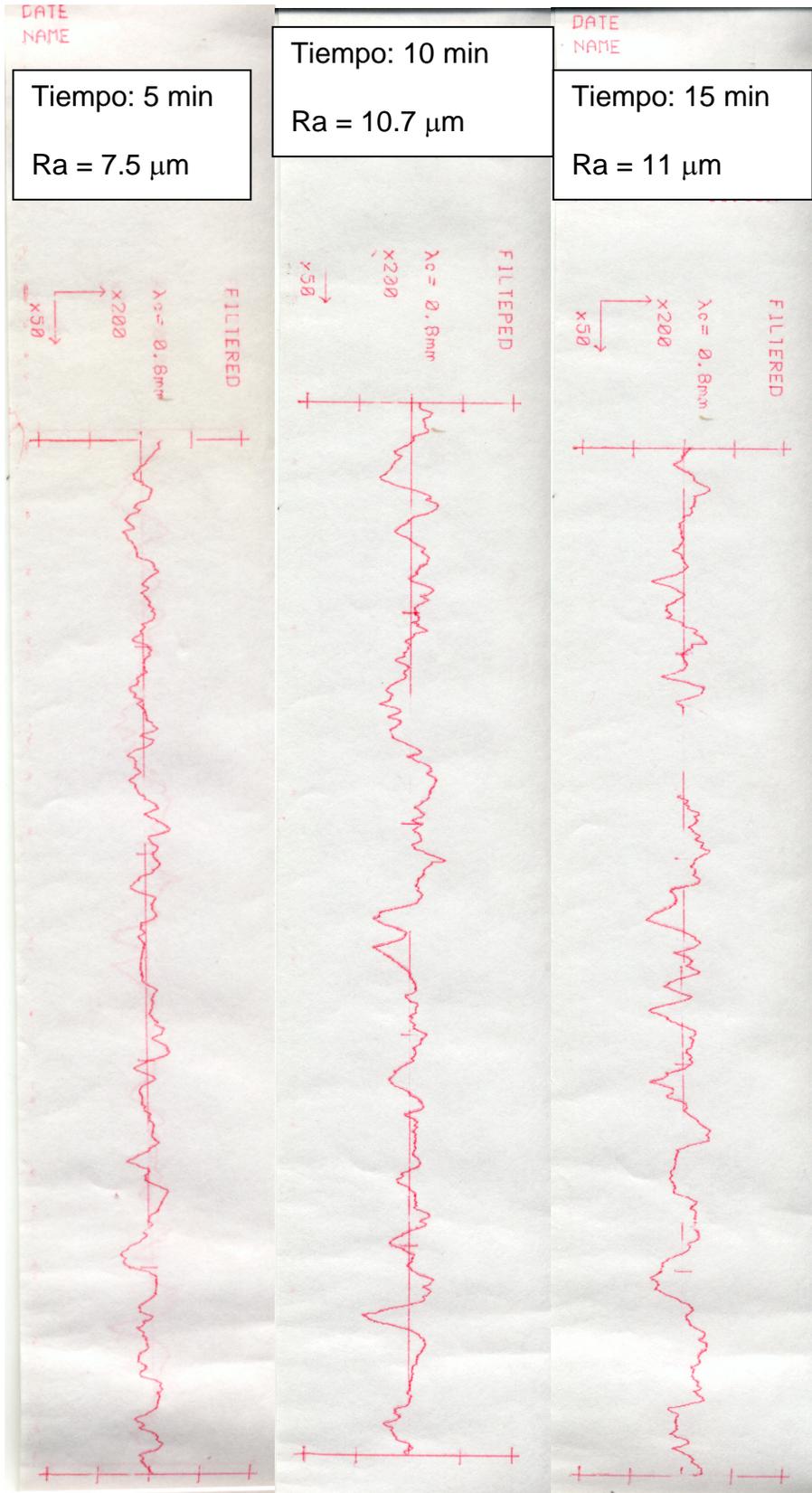


Figura 1. Pruebas de rugosidad para granallado de 5, 10, y 15 minutos.

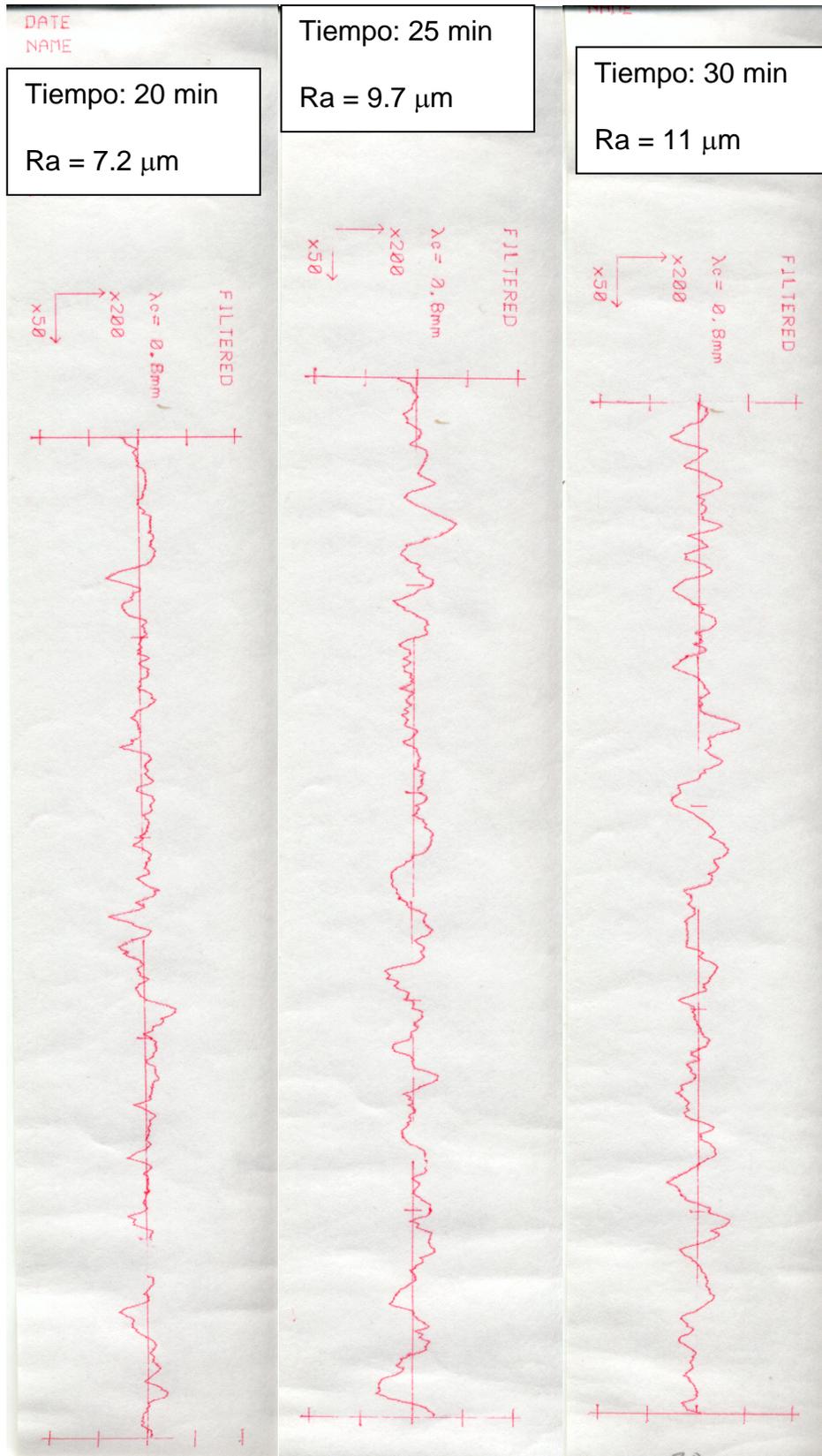


Figura 2. Pruebas de rugosidad para granallado de 20, 25 y 30 minutos.

BIBLIOGRAFÍA

1. CRC Materials science an engineering handbook, third edition, James F. Shackelford, William Alexander, Ed. CRC Press, 2001.
2. Introducción a la metalurgia física, II edición, Sydney H. Avnner, Ed. Mc Graw Hill, México, 1979.
3. La tecnología en el trabajo de los metales, Richard L. Little, Ed. CECSA, México, 1980.
4. Manual de entrenamiento para el operador, capítulo I y II, Equipo brazo mecánico (MOTOMAN).
5. Manual de fórmulas técnicas, Kurt Gieck, Ed. Alfaomega, México 1993.
6. Manual de ingeniería mecánica, octava edición, MARKS, Theodore Baumeister, Eugene A. Avallone, Ed. Mc Graw Hill, México, 1984.
7. Manual de Operación: SULZER METCO, Thermospray Gun, Type 5P-II, 1995.
8. Materiales y Proceso de manufactura para ingenieros, Lawrence E. Doyle, Ed. Prentice – Hall Hispanoamericana, México, 1988.
9. Metodología del diseño industrial. Francisco Aguayo González, Víctor M Soltero S., Ed. Alfaomega, México, 2003.
10. Normas ASTM, Volumen 02.05.
11. Recubrimiento de los Metales, Pere Molera i Sola, Ed. Marcombo, Barcelona, 1989.
12. Teoría y problemas de estadística, Murray R. Spiegel, Ed. Mc GRAW-HILL, México, 1985.
13. Total Desing; integrated methods for successful product engineering, Pugh Stuart; Ed. Adison Wesley, Wokingham, England, 1990.
14. www.sulzermetco.com
15. www.lapaloma.com.mx