



D-9561

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

T
671.37
A326

Facultad de Ingeniería Mecánica

"RECUPERACION DE MOLDES PARA EXTRUSION DE P.V.C, POR
RECUBRIMIENTO CON POLVOS METALICOS"

REPORTE TECNICO

Previo a la obtención del Título de :

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

BOLIVAR EDUARDO ALBAN CASTRO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1989



BIBLIOTECA

AGRADECIMIENTO

Al ING. IGNACIO WIESNER F.
Director de Proyecto, por
su ayuda y colaboración pa
ra la realización de este
trabajo.

Al CIMEG por su apoyo e
impulso.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI ESPOSA Y A MI HIJO

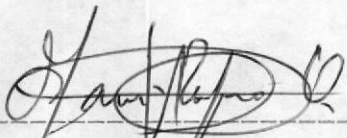
DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Proyecto, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

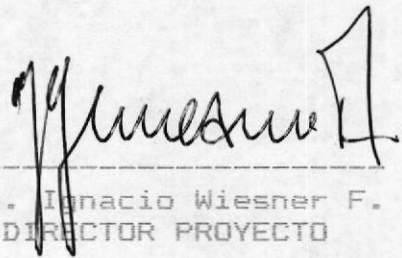
(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



Bolívar Eduardo Albán Castro



Ing. Marcos Tapia Q.
SUBDECANO



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR PROYECTO



Ing. Jose Pacheco
MIEMBRO TRIBUNAL

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene por objeto presentar una solución barata, rápida y sencilla para la recuperación de moldes de P.V.C. para extrusión. Difícilmente otro plástico ofrece un rango tan amplio y variado de aplicaciones como el PVC.

El propósito de este Informe Técnico es, analizando las fallas que presentan los moldes para extrusión de tubería de PVC y los problemas que causan dentro del proceso productivo, proponer una alternativa que permita recuperar los moldes existentes.

En primer lugar se analizan las características más importantes del PVC y los tipos de fallas que ocurren más frecuentemente en este material.

Luego se expone en detalle los costos que significa la reposición de un molde para extrusión y los inconvenientes que causan los moldes en mal estado en la tubería producida, lo cual hace aumentar el desperdicio y a la vez reduce la producción y eficiencia de la planta, causando pérdidas económicas a la empresa.

Como una alternativa aceptable, dada su fácil y rápida

aplicación, se propone recuperar los moldes usando el sistema de soldadura por proyección de polvos metálicos, para efectos prácticos esta solución es suficiente.

2

INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

1.- ANTECEDENTES

1.1. Promedio de vida de un molde para extrusión de PVC

A. Naturaleza de los plásticos

B. El policloruro de vinilo

C. Durabilidad de los moldes para extrusión de PVC.

1.2. Tipos de fallas en moldes para extrusión.

A. Desgaste por abrasión

B. Corrosión

C. Daños por maltrato

2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. Costos de Reposición de un molde para extrusión.

A. Planta de cromado

B. Contratación de cromado en el exterior

2.2. Inconvenientes causados por moldes en mal estado

A. Influencia sobre la calidad de la tubería

B. Influencia sobre la productividad de la planta.

3.- SOLUCION DEL PROBLEMA

3.1. Proceso de recuperación aplicando soldadura por proyección.

3.2. Descripción general del proceso.

A. Variantes del proceso

B. Atomización por llama

3.3. Aplicación específica del proceso.

A. Ensayos preliminares

B. Descripción del método utilizado.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis comparativo entre un molde original y uno recuperado.

A. Cálculo de costos del procedimiento empleado

4.2. Pruebas en planta

5. CONCLUSIONES

5.1. Análisis y recomendaciones.

APENDICES

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOTECA

INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.- Clasificación de los plásticos (1).
- Fig. 2.- Principales procesos de transformación de los plásticos (2).
- Fig. 3.- Diagrama de una extrusora.
- Fig. 4.- Moldes deteriorados por abrasión corrosión y mal trato.
- Fig. 5.- Equipo para atomización por plasma (5).
- Fig. 6.- Equipo para atomización por arco eléctrico (5).
- Fig. 7.- Atomización por llama.
- Fig. 8.- Microestructura del revestimiento, prob 1 (55X).
- Fig. 9.- Microestructura del revestimiento, prob 2 (55X).
- Fig. 10. Microestructura del revestimiento, prb 2 (110X).
- Fig. 11. Microestructura del revestimiento, prb 3 (110X).
- Fig. 12. Diagrama del molde.
- Fig. 13. Pieza pre-maquinada y pre-calentada.
- Fig. 14. Recubrimiento de la pieza.
- Fig. 15. Pieza recubierta.
- Fig. 16. Comparación de moldes.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1. PROMEDIO DE VIDA DE UN MOLDE PARA EXTRUSION DE PVC

A fin de poder enfocar claramente el problema, es necesario explicar brevemente el proceso de fabricación de tubería de P.V.C., las propiedades y características del material y su relación con el molde que le da la forma al plástico.

A. NATURALEZA DE LOS PLASTICOS

En una forma amplia, se puede definir a los plásticos como polímeros orgánicos disponibles en forma de resina, o en una forma derivada de la resina básica.

La cantidad de plásticos básicos es muy amplia y sigue creciendo día a día. De la misma manera, las variaciones, modificaciones y derivaciones de estos plásticos básicos es tan grande que aumenta aún más esta lista.

CLASIFICACION DE LOS PLASTICOS.— Hay muchas y numerosas formas de clasificar a los materiales plásticos; tal vez la más amplia es la que se presenta en la figura 1.

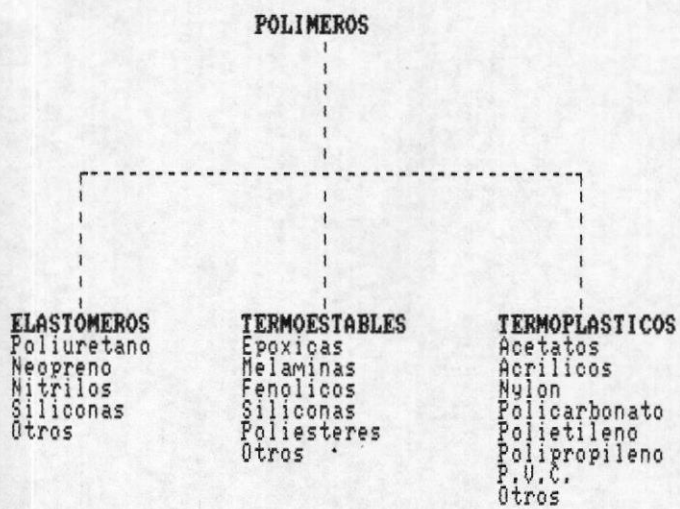


FIGURA 1 CLASIFICACION DE
 LOS PLASTICOS (1)



PRINCIPALES PROCESOS DE TRANSFORMACION DE LOS PLASTICOS

Hay una gran variedad de procesos utilizados para la transformación de los plásticos y gran cantidad de estos pueden ser procesados por el mismo método.

La secuencia usual para la transformación de un termoplástico, es calentar el material hasta que se ablande y fluya, luego forzar el material a través o dentro de un molde para que adquiera la forma final deseada y, finalmente, enfriar el material a fin de que conserve esta forma.

Comparativamente, un termoestable es procesado a partir de un material parcialmente polimerizado, el cual es ablandado por calentamiento, forzado dentro de un molde y mantenido en él a la temperatura de curado hasta su polimerización total, a fin de que conserve la forma deseada. La figura 2 indica algunos de los principales procesos de transformación de los plásticos.

EXTRUSION.- La extrusión es la acción de darle forma a un material, forzándolo a pasar a través de un molde. Esta definición, aplicada a los materiales termoplásticos, involucra dos formas

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
MOLDEO POR SOPLADO	Moldes de bajo costo Alta veloc. de produccion Se moldean formas complejas	Limitado a formas huecas Dificil control de espesores	Botellas Envases Contenedores
EXTRUSION	Se extruyen perf. complejos Alta veloc. de produccion Buen control de espesores Se puede aplicar recubrim.	Limitados a perfiles de seccion constante	Tuberias, pelculas, cintas filamentos, perfiles varios recubrimiento de alambre, papel
INYECCION	Alta veloc. de produccion Se moldean formas complejas Gran precision dimensional Excel. acabado superficial Total uniformidad	Moldes muy costosos No es practico para pocas unidades	Accesorios para tuberias griferia, ind. automotriz vajillas, adornos, juguete- ria
TERMO-FORMADO	Piezas grandes y de poco espesor Moldes de bajo costo Facil manuf. de los moldes	Piezas de configuracion simple Mucho desperdicio	Industria automotriz, Electrodomesticos, vajillas contenedores de alimentos

FIGURA 2.- PROCESOS DE TRANSFORMACION DE LOS PLASTICOS

generales de hacerlo: extrusión por tornillo y extrusión por pistón.

La extrusión del primer material termoplástico data de 1870, cuando el nitrato de celulosa fue extruído en forma de una barra, por medio de un pistón hidráulico. La extrusión por tornillo fue usada por primera vez en los primeros años de la década de 1930. Las primeras máquinas fueron adaptaciones de máquinas extrusoras de caucho.

Los materiales termoplásticos, son principalmente extruídos en extrusoras de tornillos. La extrusión es empleada para la fabricación de películas, láminas, perfiles, tubos y para el recubrimiento de cables, papel y otras sustancias, con materiales termoplásticos.

La mayor parte de las extrusoras usadas actualmente, son extrusoras de un solo tornillo, pero también está ampliamente difundido el uso de extrusoras de varios tornillos, especialmente la de dos tornillos. La figura 3, muestra los componentes principales de una extrusora.

B. EL POLICLORURO DE VINILO (P.V.C.)

PROPIEDADES DEL POLICLORURO DE VINILO (PVC).-

El PVC es obtenido por la polimerización del cloruro de vinilo. La polimerización se puede realizar por: emulsión, suspensión o

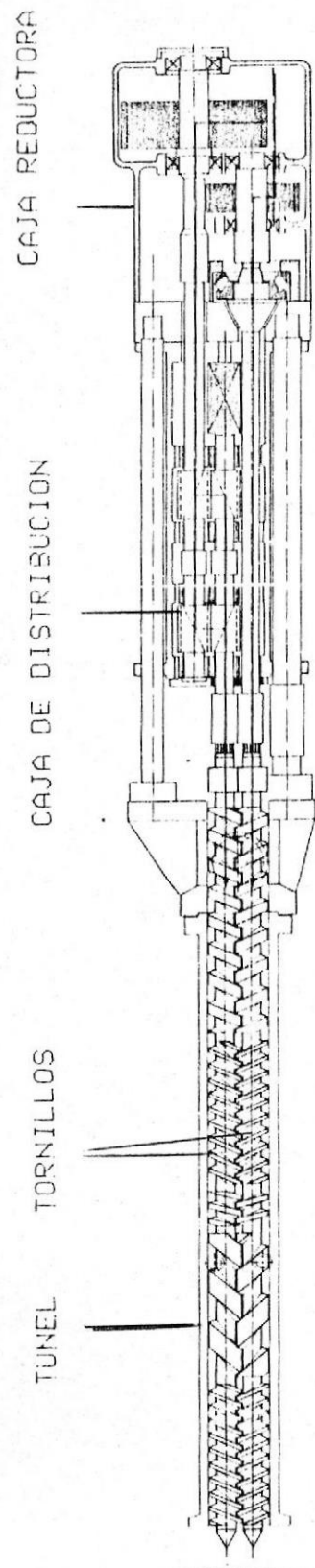


FIGURA 3.- DIAGRAMA DE UNA EXTRUSORA

polimerización en masa. El material obtenido por cualquiera de estos métodos se presenta en forma de polvo y, para su procesamiento, es necesario formular un compuesto consistente en el material base más ciertos aditivos, los cuales dependen del método de procesamiento a usarse, del producto que se va a obtener y del uso que se le dará a estos productos.

Difícilmente otro plástico ofrece un rango tan amplio y variado de aplicaciones como el PVC. Esto no se debe solamente a los numerosos métodos de procesamiento que han sido desarrollados, sino también al amplio rango de grados de PVC y a la cantidad de aditivos disponibles para mejorar su procesabilidad.

Las propiedades del PVC dependen, por un lado, de su fórmula química, de su estructura y de la técnica de polimerización utilizada para su fabricación, y, por otro lado, de los efectos positivos que ciertos aditivos tienen sobre las propiedades del material base con relación a su procesabilidad y aplicaciones.

Datos tales como el valor K, consistencia de la partícula, y distribución del tamaño de la partícula, son utilizados para definir el

material. La forma de la partícula, el tamaño y la estructura, son factores importantes, ya que ellos influyen en la densidad aparente, la fluidez y la capacidad del material para absorber plastificantes y, muy frecuentemente, determinan el proceso que debe ser utilizado para preparar el compuesto.

EL VALOR K.- En el proceso de polimerización, las moléculas de los monómeros se unen para formar cadenas.

El número de moléculas simples, unidas para formar macromoléculas, está determinado por el grado de polimerización, el cual se vuelve de esta manera una unidad de medida del peso molecular. Como siempre hay cadenas de variadas longitudes, es necesario referirse a valores promedios de grado de polimerización y de peso molecular. Para el PVC, la unidad usada para expresar esta característica, es el "valor K".

Con un aumento en el valor K del material, las propiedades tales como resistencia a la tracción, estabilidad del producto final ante el calor y la resistencia a la fluencia, aumentan. En general se mejoran las propiedades mecánicas del producto final.

Por otra parte, cuando aumenta el valor K, el material se vuelve más difícil de procesar, ya que, la temperatura de plastificación del PVC también aumenta. También es necesario aplicar más esfuerzo de torque al material para alcanzar su plastificación. Esto hace que las partes metálicas de la máquina que están en contacto con el PVC, sufran mayor desgaste.

El valor K requerido se obtiene por regulación de temperaturas en el proceso de polimerización. El valor K no siempre es determinado por los mismos métodos, por lo que hay diferencias dependiendo de la norma usada. La tabla I compara el valor K con la viscosidad, de acuerdo a diferentes normas, en los grados más usados para la fabricación de tuberías.

ESTABILIZANTES PARA PVC.— Debido a su amplia variedad de aplicaciones, el P.V.C. es uno de los materiales más valiosos en la industria de procesamiento de plásticos.

Sin embargo, hay un inconveniente muy importante con este material: El PVC es muy sensible al calor y se degrada lentamente a temperaturas tan bajas como 100°C. A las temperaturas de procesamiento, que es de alrededor de 200°C, la

VALOR K DIN 53726 0.5 gr/100 ml CICLOHEXANONA 25 °C	VISCOSIDAD ESPECIFICA 0.5 gr/100 ml CICLOHEXANONA 25 °C	VISCOSIDAD INHERENTE ASTM D1234-58	VALOR K NORMA INGLESA 0.5 gr/100 ml DICLOROETHILENO 25 °C
53.9	0.35	0.62	50
55.0	0.37	0.65	51
56.1	0.38	0.67	52
57.2	0.40	0.70	53
58.3	0.42	0.73	54
59.5	0.44	0.75	55
60.6	0.45	0.78	56
61.9	0.47	0.80	57
62.9	0.49	0.83	58
64.0	0.51	0.85	59
65.2	0.53	0.88	60
66.3	0.55	0.91	61
67.4	0.57	0.92	62
68.5	0.59	0.95	63

TABLA I .- COMPARACION DEL VALOR K CON LA VISCOSIDAD



BIBLIOTECA

degradación ocurre rápidamente. La degradación no sólo destruye el PVC, sino que también causa la formación de ácido clorhídrico, el cual ataca las superficies metálicas. Con objeto de evitar la degradación del material durante el proceso, y obtener las cualidades específicas requeridas para cada producto en particular, se han desarrollado una gran variedad de estabilizantes. El campo cubierto por los estabilizantes para PVC es muy amplio, por lo que es imposible tratar en detalle a todos. Se puede establecer, como denominador común entre ellos, que son sales de metales como el plomo y el estaño que son los más ampliamente usados.

C. DURABILIDAD DE LOS MOLDES PARA EXTRUSION DE PVC.

Por lo descrito anteriormente, fácilmente se puede deducir que los moldes para extrusión de tubería de PVC están sometidos constantemente a desgaste de diferentes maneras. Por esta razón es que los moldes para extrusión de PVC, y las partes metálicas de las máquinas extrusoras que entran en contacto con el material caliente, deben ser fabricados con materiales especiales y sometidos a tratamientos posteriores.

Generalmente, los moldes para extrusión están fabricados de aceros inoxidables y están

recubiertos con una capa de cromo de alta dureza que protege al material base. La tabla II muestra estadísticas de algunos de los moldes con que cuenta la fábrica, el año de fabricación, condiciones actuales de los mismos y causas principales de los daños.

Es muy difícil establecer el tiempo promedio de vida útil de los moldes para extrusión de tubería, ya que una de las principales causas de los daños es el maltrato de los moldes. De la experiencia obtenida, se estima que:

- Los moldes que tienen menos de 5 años de fabricación se encuentran en condiciones muy buenas de operación.
- Los moldes entre 5 y 8 años de antigüedad, están en condiciones de operación aceptables.
- Los que tienen más de 8 años de uso, están en malas condiciones.

Es también un factor importante en esta evaluación, la calidad de los moldes y del recubrimiento de cromo en particular.

1.2. TIPOS DE FALLAS EN MOLDES PARA EXTRUSION.

A. DESGASTE POR ABRASION.

Como se dijo anteriormente, a fin de poder procesar el PVC, éste debe ser formulado

MEDIDAS	AÑO DE FABRICACION	CONDICIONES	CAUSA
10 A 12"	1973	MALAS	MALTRATO, ABRASION
200-250mm	1973	MALAS	ABRASION
3 A 6 "	1977	REGULARES	ABRASION, CORROSION
1/2 A 2 "	1977	MALAS	MALTRATO, CORROS., ABRASION
250-400mm	1977	MALAS	MALTRATO, CORROS., ABRASION
90-110mm	1986	BUENAS	

TABLA II.- ESTADISTICAS DE MOLDES PARA EXTRUSION DE TUBERIA

agregándole estabilizantes y otros aditivos. Los estabilizantes constituyen una de las principales causas de desgaste por abrasión, ya que como se mencionó antes, son básicamente sales metálicas. Otro de los componentes que causa problemas de esta índole, es el dióxido de titanio (TiO_2), el cual es agregado a la formulación para darle opacidad y protección contra los rayos ultravioleta. También es fuente de abrasión el carbonato de calcio ($CaCO_3$), el cual se agrega a la fórmula para mejorar las propiedades mecánicas del producto terminado.

B. CORROSION

Otro de los motivos que ocasiona el deterioro de los moldes, es la corrosión. Como se dijo anteriormente, el PVC se degrada con el calor, liberando moléculas de ácido clorhídrico. La degradación ocurre a temperaturas superiores a los $100^\circ C$, temperaturas a las cuales se procesa el material. El ácido clorhídrico ataca las superficies metálicas, produciendo la corrosión.

C. DAÑOS POR MALTRATOS.

Otra de las causas importantes de deterioro de los moldes es la que ocurre por el descuido con que se manejan los mismos por parte de los

operadores y mecánicos. Ya que estos dispositivos deben generalmente manejarse cuando están calientes, sufren frecuentemente caídas, golpes y raspones, que rompen la película protectora de cromo. Una vez que la película de cromo ha sido rota, el molde está más propenso a las fallas descritas en los dos numerales anteriores.

La figura 4 muestra algunos ejemplos de moldes deteriorados por las causas descritas.



FIGURA 4.- MOLDES DETERIORADOS POR ABRASION, CORROSION Y MALTRATO.

CAPITULO II

DEFINICION DEL PROBLEMA



BIBLIOTECA

2.1. COSTOS DE REPOSICION DE UN MOLDE PARA EXTRUSION.

Para que un molde deteriorado por cualquiera de las causas descritas en el capítulo I, vuelva a recuperar su rendimiento y operabilidad en un 100%, es necesario que su capa de cromo, que ha sido afectada, sea reemplazada totalmente. Para poder cumplir con este requisito, es necesario contar con una planta de cromado, capaz de efectuar el revestimiento del molde, o en su defecto, enviar el molde a un especialista en esta labor. Las dos alternativas, significan una gran inversión en dinero y en tiempo. Pasamos a analizar el primer caso.

A. LA PLANTA DE CROMADO.

El cromo duro es un revestimiento electrolítico que deposita una delgada capa de cromo sobre una superficie metálica. El proceso, aunque en principio es similar al cromado decorativo, se diferencia de este por los equipos utilizados y la calidad de los baños empleados en el proceso. Del cromo duro podemos mencionar las siguientes ventajas:

- Inatacabilidad del cromo por los esterres celulósicos, nitrocelulosa, resinas fenoplásticas, aminoplásticas, vinílicas y la mayor parte de los plásticos que por efecto combinado de desgaste por abrasión y corrosión atacan y destruyen las matrices.
- Gracias a su bajo coeficiente de rozamiento, se evita la adherencia de partículas de plástico sobre la matriz, además de facilitar su desmolde.
- Las piezas obtenidas en matrices cromadas presentan una notable mejora en su superficie respecto a aquellas obtenidas en una matriz sin cromar.

La aplicación del cromo duro es muy amplio y dirigido a muchos tipos de industrias: moldes para PVC, pistones hidráulicos, partes y piezas de máquinas extrusoras, matrices para accesorios eléctricos, envases plásticos, botellas descartables, matrices de inyección, partes y piezas para la industria automotriz, textil, aeronáutica, etc.

Ya que el cromo es un material extremadamente duro y frágil, tiene ciertas desventajas. Es propenso a astillarse especialmente en las esquinas y bordes donde está expuesto a recibir

golpes. Es importante diferenciar este problema, al cual están expuestos todos los materiales duros, de otro que es el descortezamiento o peeling, el cual es una separación o levantamiento de la capa de cromo debido a la mala adherencia del recubrimiento con el material base. El primero es un fenómeno mecánico, que puede ser minimizado con el rediseño de la pieza a cromarse, mientras que el peeling, es un proceso variable, el cual puede ser eliminado controlando los parámetros del proceso de cromado y mejorando la preparación de la superficie a cromarse. Aunque en nuestro país existe una gran cantidad de talleres artesanales y de industrias dedicadas al cromado decorativo, la tecnología necesaria para el proceso de revestimiento, llamado cromo duro, no está desarrollada. Montar una planta para hacer este tipo de labor implica una gran inversión como podemos ver en la cotización presentada a continuación.

SOPORTES Y TANQUES PARA BAÑOS.....	D.M.	111.250
TRANSPORTADOR.....	D.M.	105.850
RECTIFICADOR	D.M.	34.500
EQUIPO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS		
RESIDUALES.....	D.M.	213.600
EQUIPO ELECTRICO PARA MONTAJE.....	D.M.	106.500

REACTIVOS Y ANODOS.....D.M. 60.380

PRECIO EX FABRICA.....D.M. 632.080

Esta inversión, que solamente en equipos para la planta representa alrededor de 171 millones de sucres, hace que en los actuales momentos sea muy difícil y hasta imposible implementarla.

B. CONTRATACION DEL CROMADO EN EL EXTERIOR.

Dado la imposibilidad actual de realizar este trabajo en el país, ha sido necesario en el pasado enviar los moldes a proveedores en el exterior para su total reparación. Presentamos a continuación una valoración de un trabajo en el exterior.

MOLDE PARA TUBO DE 32MM Ø X 1.6MM		
ESPESOR	DM	1.560
MOLDE PARA TUBO DE 40MM Ø X 1.6MM		
ESPESOR	DM	1.560
MOLDE PARA TUBO DE 50MM Ø X 1.6MM		
ESPESOR	DM	1.560
MACHO ADICIONAL PARA 1.8MM		
ESPESOR	DM	620
MACHO ADICIONAL PARA 2.0MM		
ESPESOR	DM	620

El valor de la oferta está dado en Marcos alemanes y solo implica el valor del trabajo; el costo de transporte de ida y vuelta es a cargo del cliente y el costo de no poder fabricar éstas tuberías mientras dure la reparación es también pérdida para la compañía. Este valor, que como promedio podemos establecer es de 350.000 sucres para cada juego de moldes, se incrementa a medida que aumenta el tamaño del molde.

2.2. INCONVENIENTES CAUSADOS POR MOLDES EN MAL ESTADO.

Aunque es posible trabajar con moldes para extrusión de tubería que hayan perdido total o parcialmente la película de cromo duro con que vienen recubiertos de fábrica, los inconvenientes que causan en el proceso de producción hace que sea necesario reemplazarlos. Las principales molestias que originan los moldes en mal estado son las siguientes:

A. INFLUENCIA SOBRE LA CALIDAD DE LA TUBERIA

Aspereza superficial.- Una de las principales ventajas que tiene la tubería de PVC sobre las metálicas o las de asbesto cemento, es presentar una superficie interior completamente lisa, que hace más eficiente la conducción del fluido en este tipo de tubería.

Por esta razón el coeficiente de rugosidad absoluta de la tubería de PVC, es muy inferior al

de las de otros materiales, permitiendo una mayor conducción de fluido para tuberías del mismo diámetro y de diferente material. La tabla III muestra los coeficientes de rugosidad absoluta para tubos de diferentes materiales.

Cuando el recubrimiento de los moldes se encuentra en mal estado, la superficie interior o exterior (o ambas) del tubo se vuelve irregular y áspera, haciendo perder esta ventaja a la tubería de P.V.C.

Mientras más deteriorado está el recubrimiento, más áspera se vuelve la tubería, siendo rechazada por el departamento de Control de Calidad.

Inclusiones en la tubería.- Las partes del molde que no están recubiertas con la película de cromo, están propensas al ataque del ácido clorhídrico, el cual corroe la superficie del metal, haciendo que ésta se vuelva áspera, y permitiendo que partículas de PVC se adhieran en estos lugares y permanezcan estáticas sin poder fluir hacia adelante. Estas partículas de PVC, que no pueden moverse, permanecen mucho tiempo a la temperatura del molde (aproximadamente 150°C), por lo que empiezan a degradarse, soltando más ácido clorhídrico y formando carbón. El ácido que sueltan agrava la situación del molde, y el

De plástico, vidrio, cobre, acero sin costura	0.0015
Hierro forjado	0.05
Hierro fundido con protección interior de asfalto	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Acero laminado	0.05
Asbesto cemento	0.025
Asbesto cemento con protección interior de asfalto	0.0015

TABLA III.- RUGOSIDAD ABSOLUTA EN TUBOS COMERCIALES



BIBLIOTECA

carbón que se forma tiende a salir en el material, produciendo inclusiones en la tubería. Estas inclusiones, aparte de dar una mala apariencia a la tubería, son puntos débiles de la misma, convirtiéndose en zonas donde pudiera ocurrir una rotura o una falla de la tubería por la presión del fluido. Esta tubería es rechazada por el Departamento de Control de Calidad, lo que hace aumentar el desperdicio y reduce la producción y eficiencia de la planta, causando pérdidas económicas a la empresa.

B. INFLUENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANTA

Interrupción de la producción.— Las líneas para producción de tubería de PVC son diseñadas para trabajar 24 horas al día sin interrupciones, por períodos largos de tiempo; cualquier interrupción de la producción, sea por la causa que fuere, origina pérdidas, debido a la cantidad de material que se desperdicia durante el arranque de la máquina. Mientras más grande es la línea de producción y el diámetro de la tubería que se fabrica, más importante es evitar estas interrupciones.

Cuando el recubrimiento de los moldes se deteriora y empieza a causar problemas como los descritos anteriormente, se hace necesario parar

frecuentemente la línea para limpiar y pulir los moldes. También debe tomarse en cuenta el costo en mano de obra y tiempo inproductivo de la máquina. La tabla IV, da un cálculo estimado para dos de las líneas de producción con que cuenta la planta.

Reducción del rendimiento de la máquina.— En el afán de evitar las asperezas y la formación de carbón en los moldes, algunos supervisores reducen las temperaturas de los moldes y, por lo tanto, la velocidad de salida del material. Si bien es cierto esto hace que la frecuencia de paradas para limpiar los moldes disminuya, reduce también el rendimiento global de la línea, ya que esta disminución en la velocidad de salida del material llega en algunos casos a afectar negativamente el rendimiento de la máquina hasta en un 50 o 60%. Esto por supuesto se refleja en el rendimiento global de la planta, llegando "la solución" a ser peor que el problema.



BIBLIOTECA

LINEA	RENDIMIENTO NOMINAL Kg/hr	EFICIENCIA TEORICA %	Kg NO PRODUCIDOS	PARADAS DIA	TIEMPO DE ARRANQUE	DESPERDICIO POR ARRANQUE Kg	DESPERDICIO DIARIO Kg	PRODUCCION DIA NOMINAL Kg	PRODUCCION DIA TOTAL Kg	PRODUCCION REAL Kg	RENDIMIENTO REAL Kg/hr	EFICIENCIA REAL %
A	70	66.5	562.8	3	1h	70	210	1680	1117.2	907.2	37.7	53.85
B	80	87.4	241.9	2	1h	80	160	1920	1678.1	1518	63.25	79

TABLA IV.- PERDIDA DE EFICIENCIA POR MOLDES DESCROMADOS



CAPITULO III

SOLUCION DEL PROBLEMA

3.1. PROCESO DE RECUPERACION APLICANDO SOLDADURA POR PROYECCION.

Cuando los moldes para extrusión de tubería han sido dañados por cualquiera de las causas anotadas en el capítulo I, se vuelve ineficiente y antieconómica la operación con ellos. En los capítulos anteriores se vieron las alternativas con que se cuenta actualmente para reparar los moldes deteriorados. Estas alternativas, por su alto costo, son muy difíciles de realizar actualmente.

Como una alternativa aceptable, dada su fácil y rápida aplicación, se han recuperado moldes usando el sistema de soldadura por proyección de polvos metálicos. Esta solución, si bien es cierto no le da al molde la misma calidad de recubrimiento que el cromado, y probablemente no tenga la misma duración, para efectos prácticos es suficiente para recuperar moldes que ya han sido dados de baja, o construir moldes nuevos, usando aceros comunes.

3.2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO

La atomización térmica (thermal spraying, THSP) es considerada un proceso de soldadura, en el cual un

material, metálico o no metálico, es calentado y proyectado contra un material base.

El material de aporte, puede estar inicialmente en forma de alambre, varilla o polvo. Este es calentado hasta su estado de fusión o plastificación por una llama oxiacetilénica, arco eléctrico, plasma o la detonación de gases explosivos.

El material caliente es propulsado desde la pistola aplicadora hacia el material base por medio de un chorro de gas. Cuando las partículas de metal fundido chocan contra la superficie, se aplanan y forman placas diminutas que se amoldan a la superficie. Estas placas se enfrían rápidamente y se solidifican, depositándose capas sucesivas hasta obtenerse el espesor deseado. La unión o adherencia entre el material depositado y el material base puede ser mecánica, metalúrgica, química o una combinación de éstos.

En algunos casos, la estructura compuesta es sometida a un tratamiento térmico, a fin de aumentar la fuerza de la unión por difusión o reacción química entre el material atomizado y el material base.

La densidad del depósito depende de el tipo del material, el método utilizado, el proceso de

atomizado y el proceso posterior. Las propiedades del depósito dependen de su densidad, la cohesión entre las partículas y su adhesión al material base.

La atomización térmica es ampliamente usada para aplicaciones superficiales, para restablecer dimensiones, para mejorar resistencia a la abrasión, desgaste, corrosión, oxidación o una combinación de éstas y para dotar de algunas propiedades térmicas o eléctricas específicas.

A. VARIANTES DEL PROCESO.

Hay cuatro variantes del proceso de atomización:

- 1) Atomización por llama (Flame Spraying, FLSP).
- 2) Atomización por plasma (Plasma Spraying, PSP).
- 3) Atomización por arco eléctrico (Arc Spraying, ASP).
- 4) Atomización por gas detonante.

Esta clasificación está basada en el método usado para calentar el material de aporte y la forma de impulsarlo hacia la pieza a recubrirse.

En el método de atomización por llama, el material a depositarse es calentado por medio de una llama de oxígeno y acetileno, y el material fundido se impulsa por un chorro de aire comprimido o por los gases de la combustión.

En el sistema de atomización por plasma, el calor para fundir el material es proporcionado por un gas en estado de plasma. Se forma un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno y una tobera, entre los que se fuerza a pasar un chorro de gas inerte o reductor, el cual se calienta a temperaturas muy elevadas, del orden de los 8000 °C. El plasma caliente pasa a través de la tobera, el material de aporte se alimenta en forma de polvo dentro del chorro de gas caliente, donde se funde y se proyecta contra la superficie a recubrir (ver figura 5).

Los materiales usados con el método de arco eléctrico, son metales y aleaciones que se presentan en forma de alambre. El arco eléctrico se mantiene entre 2 alambres alimentados continuamente. El material producido por la fusión es impulsado por un chorro de gas, usualmente aire a alta velocidad, contra la superficie a recubrirse (figura 6).

El sistema de atomización por gas detonante trabaja sobre principios diferentes a los demás. Con éste método, cargas repetidas del material de aporte en forma de polvo se calientan y las partículas fundidas se proyectan contra la

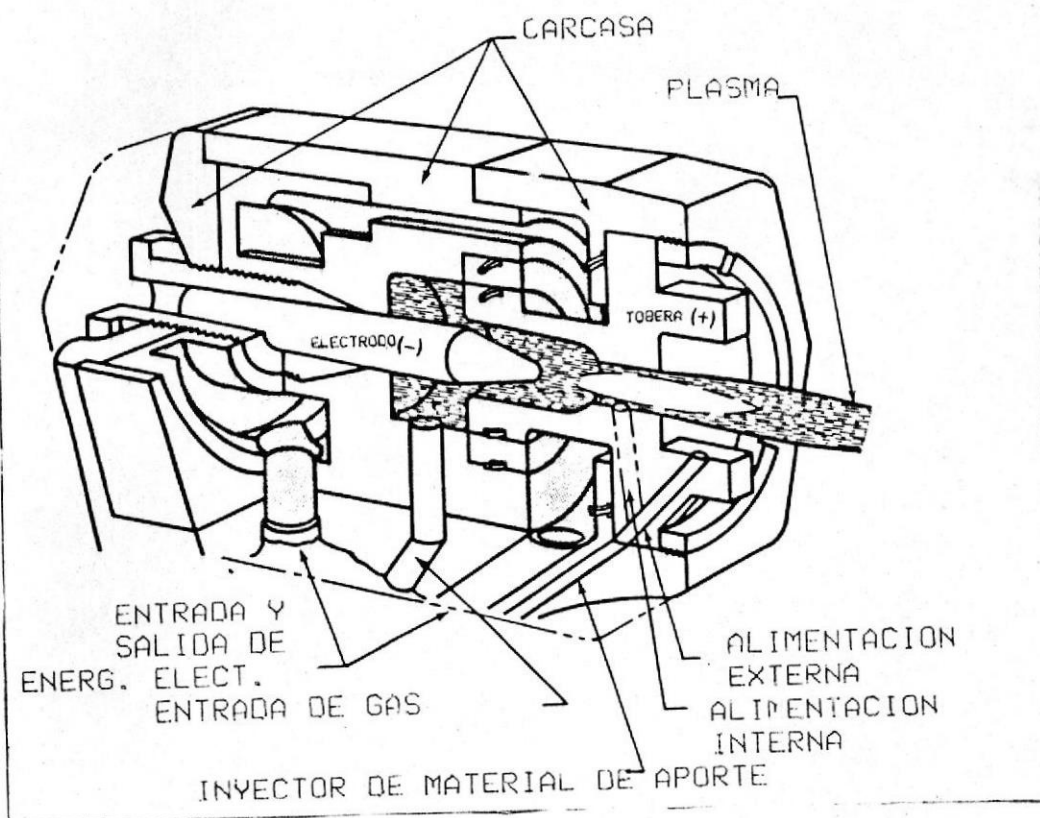


FIGURA 5.- EQUIPO PARA ATOMIZACION POR PLASMA.

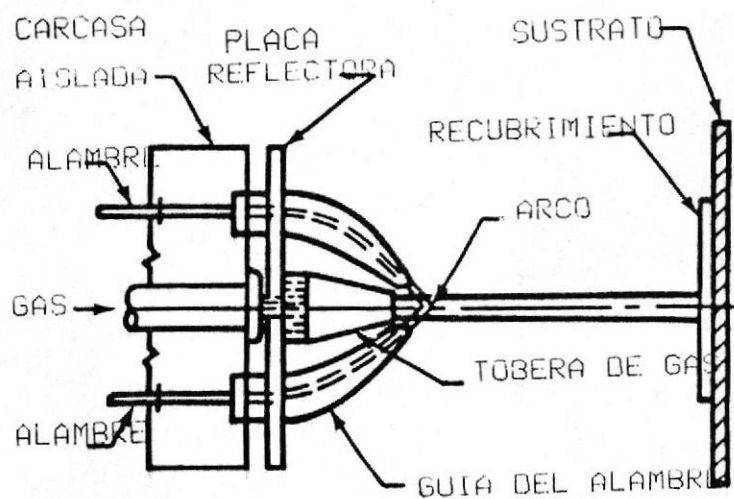


FIGURA 6.- EQUIPO PARA ATOMIZACION POR ARCO ELECTRI-
CO.



BIBLIOTECA

superficie a recubrirse por rápidas y sucesivas detonaciones de una mezcla explosiva de oxígeno y acetileno. Las partículas dejan la pistola de atomización a mucha mayor velocidad que con los otros métodos.

B. ATOMIZACION POR LLAMA.

Con este método, el material a ser atomizado es suministrado a la pistola de atomización en forma de polvo desde una tolva. La tolva puede estar montada sobre la pistola o fuera de ella. El polvo puede ser aspirado o llevado hacia la llama por una corriente de aire, oxígeno o por gravedad. Se funde el polvo por medio de la llama y el material fundido se proyecta contra la superficie a recubrirse, ya sea por un chorro de aire o por los gases de la combustión (Figura 7)

3.3. APLICACION ESPECIFICA DEL PROCESO

El sistema utilizado, es el de atomización por llama conocido comercialmente como ROTOTEC 1A. Este es un sistema para aplicación de polvos metálicos sobre superficies metálicas. El recubrimiento puede ser maquinado o rectificado como cualquier metal para alcanzar dimensiones deseadas. El sistema ha sido diseñado específicamente para:

- Recuperar partes gastadas, dándole sus dimensiones originales.



FIGURA 7.- ATOMIZACION POR LLAMA.



BIBLIOTECA

- Corregir errores de maquinado.
- Aplicar revestimientos especiales de gran dureza y de resistencia al desgaste sobre superficies de material común, reduciendo costos tanto en materiales como en maquinado.

El sistema ROTOTEC 1A, es considerado como un proceso en frío, ya que el recubrimiento es aplicado a temperaturas menores a 260 °C. Esto significa que hay menos riesgos de deformación y de cambios metalúrgicos en las piezas que van a ser recubiertas.

Los polvos metálicos pueden ser seleccionados para dar a la pieza a ser recubierta propiedades específicas que le permitan mejorar su resistencia al desgaste, según el medio en que vaya a trabajar, extendiendo su vida útil.

Las siguientes son algunas de las aplicaciones específicas para las que ha sido utilizado este sistema.

- Ejes de motores eléctricos
- Rodillos.
- Ejes de bombas.
- Pistones hidráulicos.
- Carcasas de bombas.
- Rodillos entintadores.
- Cilindros.

A. ENSAYOS PRELIMINARES

Dada la importancia del trabajo a desarrollarse, y por ser la primera vez que se usó este método para esta aplicación, fué necesario hacer diferentes pruebas a fin de determinar los parámetros más apropiados para una aplicación exitosa. Se habían tenido experiencias anteriores en otras aplicaciones, pero no todas fueron satisfactorias. En trabajos tales como recuperación de ejes, los resultados obtenidos fueron en algunos casos negativos, debido al desprendimiento del recubrimiento, ya sea cuando la pieza reparada estaba trabajando, o cuando estaba siendo maquinada luego de haber sido recubierta.

Los ensayos fueron realizados sobre ejes de acero de transmisión y variando ciertos parámetros como: paso y profundidad de la rosca, velocidad de proyección del material de aporte y espesor del recubrimiento.

La evaluación de estas pruebas, se realizaron por medio de observación al microscopio y microdurometría.

Siguiendo las indicaciones del fabricante para la preparación de la superficie a recubrirse, y en base a las experiencias anteriores, se prepararon tres probetas con las siguientes características.



BIBLIOTECA

Prueba 1:

MATERIAL: Acero de transmisión.

DUREZA : 94 RB

PASO DE LA ROSCA: 0.8 mm PROFUNDIDAD: 0.2 mm

Prueba 2:

MATERIAL: Acero de transmisión.

DUREZA : 94 RB

PASO DE LA ROSCA: 1.5 mm PROFUNDIDAD: 0.6 mm

Prueba 3:

MATERIAL: Acero SAE 51420 (DIN X40Cr13)

DUREZA : 83 RB

PASO DE LA ROSCA: 0.5 mm PROFUNDIDAD: 0.3 mm

Todas las roscas se tallaron con un ángulo de 45°.

Una vez preparadas las probetas, se procedió a realizar el depósito. Se debe tener mucho cuidado en la selección de las condiciones de la llama; ésta debe ser ligeramente oxidante y tener la presión adecuada para que proyecte las partículas de polvo fundido contra el metal base a una velocidad suficientemente alta para que se produzca una buena unión.

ANALISIS DE LAS PRUEBAS:

Una vez realizado el recubrimiento, se cortaron probetas en un plano paralelo al eje de la pieza, a fin de poder observar las características tanto del material base como del depósito. Las probetas

de las pruebas 1 y 2, se pulieron y atacaron con nital al 3%. La probeta de la prueba 3 debió pulirse y someterse a ataque electroquímico.

Las figuras 8 y 9, muestran la microestructura formada en las probetas 1 y 2. Se pueden apreciar claramente las características del recubrimiento y el metal base. También es visible que no existe difusión entre los dos materiales, por lo que se deduce que la unión entre el recubrimiento y el sustrato es puramente mecánica.

La figura 10 es similar a la 9, pero en este caso la probeta fué pulida nuevamente y no se la atacó. En este caso no se observa la microestructura del material base, pero es muy visible la del material de aporte. Se puede ver que el material de aporte presenta una estructura laminar y no homogénea, las zonas claras son partículas de metal, las zonas grises, óxidos y las zonas negras, poros. La presencia de óxidos nos indica que existe una unión química entre las partículas de material de aporte, y su forma aplastada e irregular les proporciona una fuerte unión mecánica.

La figura 11 es la microestructura de la probeta 3. En este caso se observa que las partículas del material de aporte conservan, en su mayoría, la forma circular; ésto indica que tanto la fusión

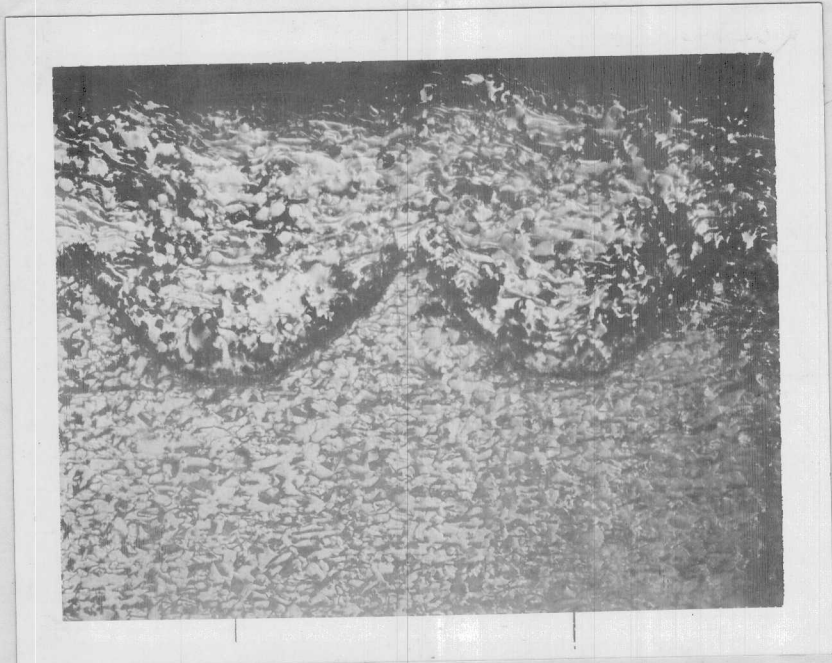


FIGURA 8.- MICROESTRUCTURA DEL REVESTIMIENTO PROBETA 1 (55X).

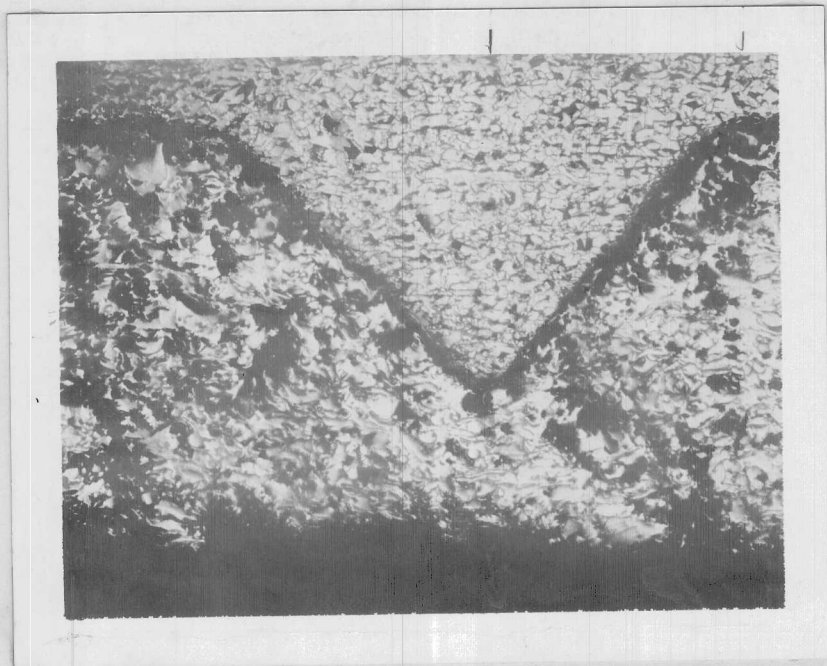


FIGURA 9.- MICROESTRUCTURA DEL REVESTIMIENTO PROBETA 2 (55X).

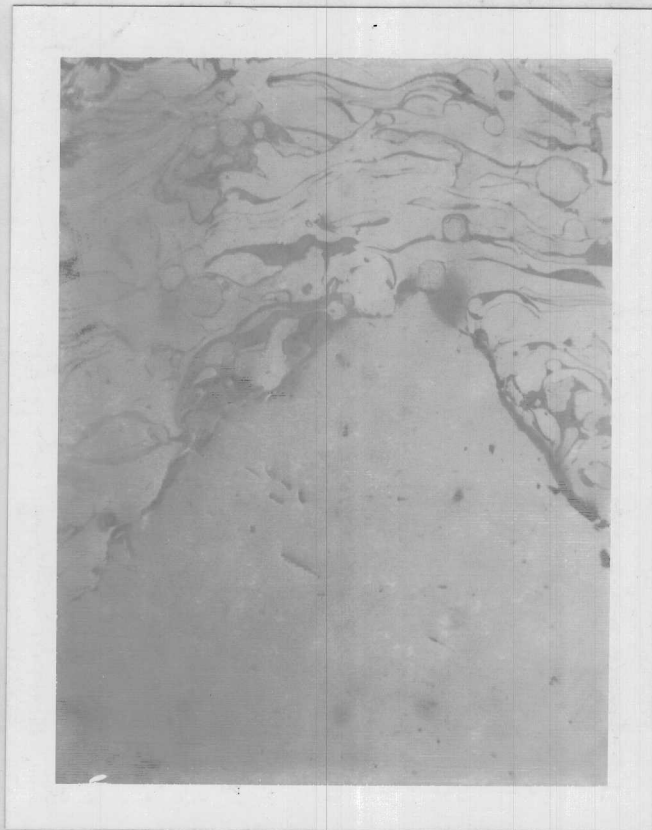


FIGURA 10.- MICROESTRUCTURA DEL REVESTIMIENTO, PRO-BETA 2 (110x).



BIBLIOTECA

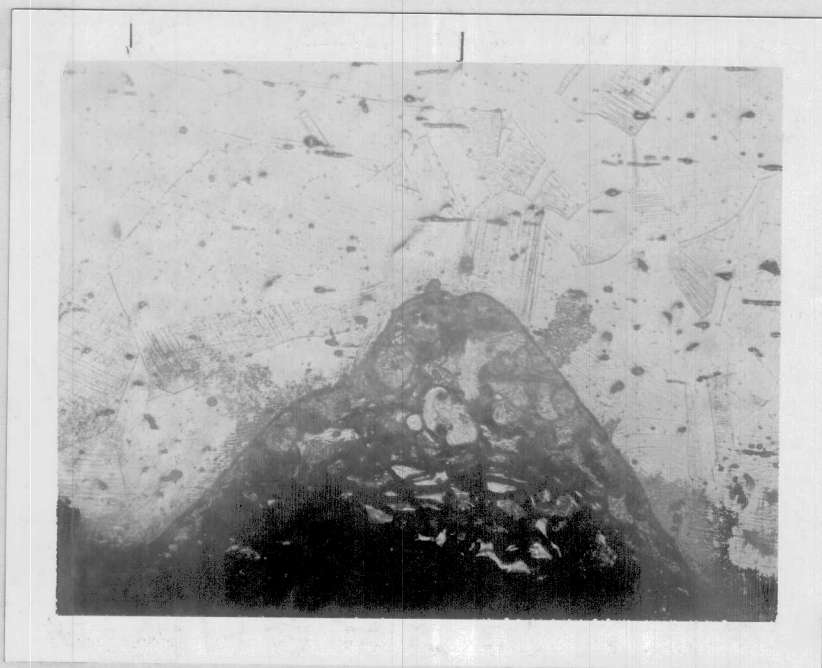


FIGURA 11. MICROESTRUCTURA DEL REVESTIMIENTO PROBETA 3 (110X).



BIBLIOTECA

del material de aporte como la velocidad con que fue proyectado contra el sustrato no era la adecuada, causando una unión muy débil y porosa. Esta falla se explica porque debido a un error del operador, la llama del soplete fué regulada de tal manera que la velocidad de las partículas fué muy baja.

ENSAYOS DE MICRODUREZA.

Una de las propiedades más importantes que debe tener este recubrimiento para esta aplicación en particular, es la de poseer una buena resistencia, al desgaste por abrasión. Una forma de evaluar esta propiedad es a través de la dureza del material. Puesto que el espesor del recubrimiento varía entre 0.3 a 0.5 mm, el método más aconsejable es el de microdureza. Usando el durómetro Vickers, se hicieron varias pruebas, alcanzando los resultados que se muestran en la tabla V.

B. DESCRIPCION DEL METODO UTILIZADO

La pieza escogida para la aplicación de este proceso es el macho de un molde para fabricación de tubería de 50 mm de diámetro. La pieza tiene forma cónica, y se la ha escogido porque ha perdido su capa de cromo en un 60%, haciendo prácticamente imposible su utilización.

IDENTACION	A	B	CARGA	DUREZA VICKERS
1	3.8	3.55	20	343.25
2	3.83	3.45	20	306.3
3	3.7	3.68	20	340.4
4	3.73	3.8	20	327.02
5	3.7	3.8	20	329.6
6	4	4	20	289.7
7	3.65	3.74	20	339.5
8	4	4	20	289.7
PROMEDIO				320.695
EQUIVALENTE A				33RC 11

TABLA V.- TOMA DE MICRODUREZA AL REVESTIMIENTO

Un diagrama de la pieza puede verse en la figura 12.

Tanto la hembra como el macho del molde están contruidos de un acero especial conocido con el nombre de STAVAX, de la casa ASAB de Suecia. Este material corresponde a la norma SAE 51420 o DIN X40Cr13.

Este material es un acero aleado con cromo, que da excelentes condiciones para el pulido, buena resistencia a la corrosión, buena maquinabilidad y buena estabilidad dimensional durante el templado.

De la carta de identificación del material se obtuvieron los resultados de su análisis químico aproximado:

C	0.38%
Si	0.8%
Mn	0.5%
Cr	13.6%
V	0.3%

El sistema de recubrimiento por atomización de polvos requiere que se apliquen dos tipos de materiales a la pieza que se va reparar.

El material que se deposita en primer término sobre la pieza a trabajarse, es un material de enlace. Su función es adherirse a la pieza y proveer una superficie adecuada para recibir al

material que dará el acabado.

Estos polvos son compuestos de molibdeno, aleaciones de níquel-cromo o aleaciones de aluminio-níquel.

El enlace usado para este caso es conocido con el nombre comercial de Xuper UltraBond 50000, y está recomendado como material de enlace para todos los polvos usados por el sistema Rototec.

El material usado como recubrimiento final, fué el CORORESIST 19300. Esta es una aleación al cromo-níquel con un bajo contenido de carbono y molibdeno. Está recomendada por el fabricante para aplicaciones que requieran una gran resistencia a la corrosión atmosférica y a la oxidación a altas temperaturas, más allá de 427 °C. Las características de algunos de estos materiales para recubrimiento, se encuentran en la tabla VI.

La gran ventaja de este sistema se manifiesta en la facilidad con que puede ser aplicado por cualquier taller, aún por uno pequeño, ya que el equipo utilizado es el básico para un taller metalmecánico. El equipo necesario es el siguiente:

- Tanque de acetileno con regulador de presión.

CARACTERISTICAS NOMBRE	MAGNITUD	RESISTENCIA DESGASTE POR FRICCION	RESISTENCIA DESGASTE POR ABRASION	RESISTENCIA AL IMPACTO	RESISTENCIA A LA CORROSION	DUREZA	MAXIMA TEMPERATURA OPERACION °C	ESPESOR MAXIMO DEL RECUBRIMIENTO
ROTOTEC 19300	8	9	7	8	9	Rb 75	871	1.27
ROTOTEC 19400	7	9	8	8	9	Rc 30	760	1.52
ROTOTEC 19666	8	9	6	9	9	Rb 85	538	3.18
ROTOTEC 19850	10	10	6	9	9	Rb 60	427	3.81
ROTOTEC 19868	10	8	7	9	9	Rb 75	482	3.18

ESCALA 10 _____ 1
BUENO MALO

TABLA VI.- MATERIALES DE APORTE



BIBLIOTECA

- Tanque de oxígeno con regulador de presión.
- Un indicador de temperatura (termómetro de contacto o tiza térmica).
- Un torno.
- Cuchilla de carburo.
- Desengrasante.
- Equipo aplicador Rototec 1A.

PREPARACION DEL MOLDE

La unión entre el material base y el material del recubrimiento puede ser, mecánica, química, metalúrgica o una combinación de éstas. Esto depende del material base, del material de aporte, de la forma de la superficie y del método de atomización utilizada. Por estas razones es muy importante una adecuada preparación de la superficie, a fin de obtener un enlace fuerte.

En primer lugar, la superficie y las áreas adyacentes deben estar libres de aceite, grasa, polvo y otros materiales extraños. La limpieza debe ser mantenida al máximo, antes y durante la aplicación del revestimiento.

Algunos materiales porosos, como el hierro fundido, pueden absorber lubricantes, humedad u otros productos químicos. Antes de la aplicación del revestimiento, estos materiales deben ser calentados a temperaturas entre 200°C a 300°C

ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO mm	PASO DE LA ROSCA mm
0.76	0.38
1.02	0.51
1.27	0.64
1.52	0.76
1.78	0.89
2.03	1.02
2.29	1.14
2.54	1.27
5.59	1.4

TABLA VII.- PARAMETROS PARA PREPARACION DE LA SUPERFICIE

DIAMETRO mm	RPM mm
MENOR QUE 50 mm	300
50 - 100 mm	150
100 - 150 mm	100
150 - 200 mm	75
200 - 250 mm	50

TABLA VIII.- VELOCIDAD DE ROTACION DE LA PIEZA



BIBLIOTECA

para evaporar estos contaminantes. Las piezas de material no poroso pueden ser limpiados con solventes para eliminar todo rastro de los contaminantes.

Debido a que en este método, la forma prevaleciente de enlace es la mecánica, es aconsejable dar a la superficie a ser recubierta cierto grado de rugosidad o aspereza. Esto se logra maquinando la superficie con alguna forma de roscado o ranurado. Así mismo para mejorar la adherencia es aconsejable someter la superficie a un tratamiento de granallado metálico.

Una vez desengrasada la pieza, se la colocó en el torno. Estando allí, primero se rebajó el diámetro de la pieza para dar lugar al recubrimiento que se le daría. El diámetro de la pieza se rebajó aproximadamente 1mm en toda su longitud. Posteriormente, se procedió a torneear un filete muy ligero sobre toda la pieza. El paso que se escogió fué de 1.5mm. Para tallar la rosca fué necesario afilar la cuchilla del torno en un ángulo de 90°. La profundidad del corte que se escogió para este paso de rosca fué de 0.6mm. Estos parámetros fueron seleccionados en función de lo recomendado por el fabricante según la tabla VII y las pruebas desarrolladas y descritas anteriormente.

APLICACION DEL RECUBRIMIENTO

- Para aplicar el recubrimiento, se conecta el soplete Rototec a los tanques de oxígeno y acetileno. La presión del oxígeno se regula a 20 psi y la del acetileno a 8 psi.
- La pieza que ha sido desbastada y roscada, debe permanecer en el torno y se la hace girar de tal forma que la velocidad lineal de la superficie exterior sea de aproximadamente 45 a 60 m/min. La tabla VIII ayuda a escoger la velocidad de rotación de acuerdo al diámetro de la pieza que se va a revestir.
- Abrir la válvula del acetileno 1/4 de vuelta y encender el soplete. Abrir completamente las válvulas del oxígeno y del acetileno. El soplete Rototec 1A produce automáticamente la llama correcta, ligeramente oxidante. Durante este paso es necesario seguir las instrucciones fielmente. El problema ocurrido en la probeta 3 se dió por un error cometido en este paso. No se abrieron completamente las válvulas.
- Hacer rotar la pieza a la velocidad escogida.
- Precalentar la pieza con el mismo soplete Rototec, hasta 200°C. Figura 13.
- Colocar en el soplete el polvo de liga que va a ser utilizado, en este caso el "Xuper Ultrabond". Una vez que la pieza está a la

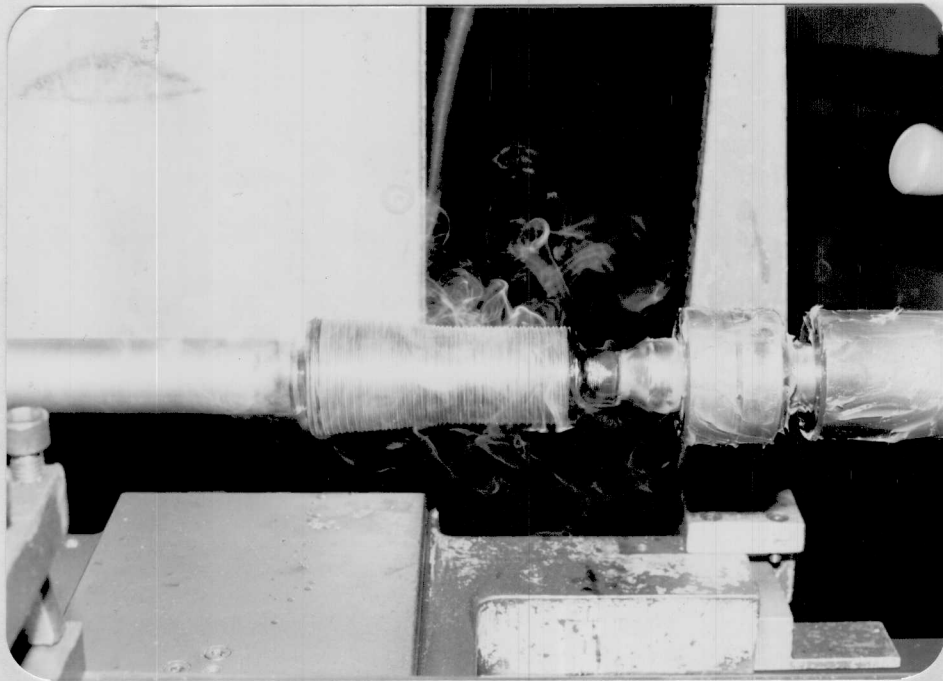


FIGURA 13.- PIEZA PREMAQUINADA Y PRECALENTADA.

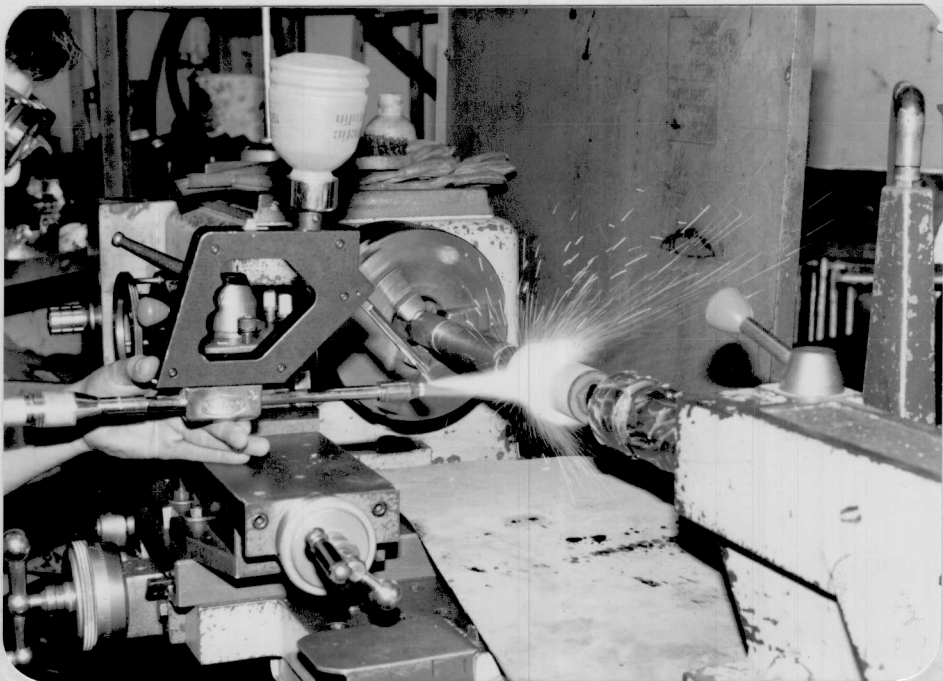


FIGURA 14.- RECUBRIMIENTO DE LA PIEZA

temperatura deseada, alejar el soplete a unos 20 cm de la pieza y abrir la válvula de paso del polvo.

- El soplete debe moverse manualmente, o colocado sobre el carro del torno, a una velocidad aproximada de 6 a 12mm por revolución, a fin de evitar el efecto espiral.
- La capa de material de liga debe tener un espesor aproximado de 0,1 a 0,2 mm. Como regla práctica aplicar solo una pasada del material de liga.
- Una vez aplicado el material de liga se debe aplicar la aleación final. Cuidando de no sobrecalentar la pieza, el producto se aplica en capas sucesivas siguiendo las mismas observaciones que con el material de liga, hasta alcanzar las dimensiones requeridas. Debe considerarse para esto que la superficie obtenida es irregular y debe ser maquinada. Así mismo, por causa de la dilatación térmica, las dimensiones de la pieza serán ligeramente mayores que a temperatura ambiente.
- La pieza no debe ser recalentada a más de 260 °C durante el proceso de aplicación del revestimiento. Si es necesario, debe suspenderse el proceso hasta que la pieza se enfríe a las temperaturas apropiadas. Puede

también ser aconsejable proporcionar algún sistema de enfriamiento a las partes del torno que entran en contacto con la pieza, ya que el calor puede afectarlas. Igualmente, es importante proteger la bancada del torno, especialmente las guías, para evitar que el material caliente que pueda caerles cause daños irreparables a las mismas. Figura 14, figura 15.

ACABADO DE LA PIEZA.

El recubrimiento debe ser aplicado en un espesor tal, que las dimensiones de la pieza recubierta sean mayores que las dimensiones deseadas, a fin de poder maquinar y pulir adecuadamente la pieza. Para piezas cilíndricas se recomienda un exceso de 1 a 1.5 mm sobre el diámetro.

Dado que el recubrimiento usado para este caso permite el corte con cuchilla de carburo, el maquinado de la pieza se la realiza en el mismo torno, usando este tipo de herramienta.

Se procede inicialmente a un desbastado de los bordes, que son los puntos más delicados. Luego se procede a dar medida a la pieza y a pulir la superficie, haciendo el trabajo desde el centro hacia los extremos. Se debe tener cuidado de nunca mover la herramienta de corte en una

dirección tal que provoque el levantamiento del recubrimiento. Los parámetros utilizados para el trabajo de maquinado se escogieron de la tabla IX.



BIBLIOTECA

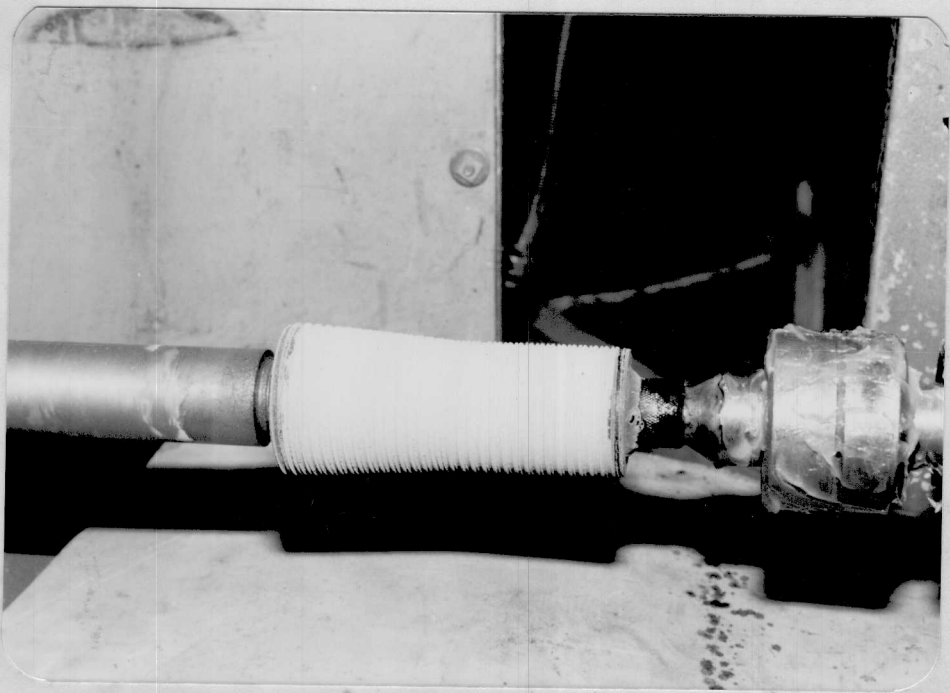


FIGURA 15.- PIEZA RECUBIERTA.



BIBLIOTECA

ALEACION	VELOCIDAD LINEAL DE LA PIEZA PTE/MIN	VELOCIDAD DEL CORTE PULG/REV	PROFUNDIDAD DEL CORTE MAX	ENFRIAMIENTO
19300	150	0.008-0.003	0.04-0.002	NO
19400	100	0.008-0.003	0.04-0.002	SI
19666	150	0.008-0.003	0.04-0.002	NO
19850	225	0.008-0.003	0.04-0.002	NO
19868	225	0.008-0.003	0.04-0.002	NO

TABLA IX.- PARAMETROS PARA MABUNADO DE LOS RECUBRIMIENTOS

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. ANALISIS COMPARATIVO ENTRE UN MOLDE ORIGINAL Y UNO RECUPERADO.

El análisis realizado a los moldes ha sido primordialmente visual en lo que se refiere exclusivamente a la calidad del revestimiento. El molde original presenta una superficie completamente lisa y libre de irregularidades. El molde reconstruido presenta las mismas características, aunque la calidad del pulido no puede ser comparada con la del molde nuevo. En la figura 16 se pueden observar los dos moldes y establecer la comparación. Esta diferencia era conocida de antemano y no fué el objetivo de este trabajo obtener recubrimientos de la misma calidad que proporciona el cromado.

A. CALCULO DE COSTOS DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO.

Se calculó anteriormente el costo que representa el realizar el cromado de los moldes localmente o en el exterior. En las siguientes líneas se calculará el costo del trabajo realizado usando el método del recubrimiento por proyección de polvos metálicos.

Cantidad de polvo utilizado:

El catálogo del fabricante indica el rendimiento



FIGURA 16.- COMPARACION DE MOLDES

del material de aporte. Para este caso el rendimiento es de: $123 \text{ cm}^3/\text{kg}$

De las dimensiones del molde, se obtiene el volumen aproximado requerido: 38 cm^3 , que significa $0,31 \text{ Kg}$.

El valor del material en el mercado es de S/. 38.000 cada Kg.

El costo del material será entonces de :

$0,31 \times 38.000 = 11.780 \text{ sucres}$.

Si se agrega a este costo lo correspondiente por mano de obra, consumo de oxígeno y acetileno, amortización del equipo, etc, se obtiene un costo total de 30.000 sucres.

Al comparar este valor con los costos mostrados en el capítulo II (para las otras alternativas) el proyecto resulta totalmente justificable.

Una ventaja adicional es la que se obtiene al no dejar de contar por períodos largos con moldes que son necesarios para la producción diaria de tubería.

4.2. PRUEBAS EN PLANTA.

El molde reparado fué puesto en servicio inmediatamente después de su reparación. Los resultados obtenidos demostraron que el rendimiento de la máquina mejoró entre 15 y 36%, y la frecuencia de las paradas se redujo a cero por esta causa.

De igual manera, los problemas de las inclusiones y de asperezas fueron superados en su totalidad. En cuanto a la durabilidad del molde, ha sido necesario luego de un período de 8 meses volver a repararlo para mantener su calidad.

La tabla X, elaborada a partir de las pruebas realizadas en planta, muestra el aumento en la producción, en la eficiencia y en el rendimiento obtenido en dos de las líneas en que se aplicó este proceso.

LINEA	RENDIMIENTO NOMINAL Kg/hr	EFICIENCIA TEORICA %	Kg NO PRODUCIDOS	PARADAS DIA	TIEMPO DE ARRANQUE	DESPERDICIO POR ARRANQUE Kg	DESPERDICIO DIARIO Kg	PRODUCCION DIA NOMINAL Kg	PRODUCCION DIA TOTAL Kg	PRODUCCION REAL Kg	RENDIMIENTO REAL Kg/hr	EFICIENCIA REAL %
A	70	94.53	91.6	0.49	1h	70	34.5	1680	1588.1	1546.5	64.4	92
B	80	95.28	90.6	0.42	1h	80	34	1920	1829.3	1795.3	74.8	93.5

TABLA X.- CALCULO DE EFICIENCIA CON MOLDES RECUPERADOS

CAPITULO V

CONCLUSIONES

5.1. ANALISIS Y RECOMENDACIONES.

Si bien es cierto que el método descrito en este informe no es aplicable en todos los casos en que sea necesario recuperar moldes para extrusión, es posible ahorrar una gran cantidad de dinero, rehabilitando moldes que de otra manera tendrían que desecharse.

Si se comparan las tablas IV y X, se observará el incremento en productividad obtenido en la planta, lo que hace totalmente justificable realizar este proceso.

Las limitaciones más importantes son:

- Para moldes de pequeño diámetro, es imposible revestir las "hembras".
- Para moldes de gran diámetro, la aplicación del revestimiento es muy difícil y no se pueden garantizar los resultados.
- Solo es aplicable a moldes o piezas de forma cilíndrica. Los moldes para tubería tienen todos esta forma.

Como ventajas podemos mencionar que:

- El método es sumamente sencillo. No se necesita mucha preparación técnica del personal de mecánicos.
- Se puede repetir cuantas veces sea necesario sobre

la misma pieza.

- Se puede aplicar sobre cualquier tipo de acero.

Este sistema puede ser aplicado a la recuperación de otro tipo de partes y piezas metálicas. Esta es solo una aplicación y no necesariamente la más importante.

CONTROL DE CALIDAD.

Es conveniente establecer un sistema de control de calidad para el proceso, el mismo que garantice la calidad del recubrimiento que se realice. De las pruebas realizadas y descritas en el capítulo III, se pudo observar que, si no hay un adecuado control de las condiciones y de los parámetros del proceso, existe el riesgo de realizar recubrimientos que tengan una adherencia muy pobre y una excesiva porosidad.

El control de calidad, por lo tanto, no deberá limitarse a solo una inspección visual del trabajo terminado, sino también a un control por parte de la dirección técnica del taller de cada paso del proceso, desde el momento que se prepara la pieza para el trabajo hasta cuando se la rectifica para darle las dimensiones apropiadas, sin descuidar los pasos intermedios.

Ya que es imposible evaluar la calidad del

revestimiento sin recurrir a pruebas destructivas, cada trabajo que se realice deberá estar suficientemente documentado, y en cada uno de ellos deberá construirse y recubrirse una probeta con las mismas condiciones que se realizó el recubrimiento, para poder evaluar apropiadamente la calidad del mismo por medio de observaciones al microscopio, toma de microdureza y otras pruebas que pudieran desarrollarse.

CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Dado que el método utilizado es un proceso de soldadura, e involucra la presencia de llama y calor, deben de tomarse las medidas necesarias para proteger el personal y las instalaciones de cualquier peligro que pudiera llevar consigo este proceso.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- C. Harper, Handbook of Plastic and Elastomers (USA: McGraw-Hill Inc., 1975).
- 2.- C. Bernhardt, Procesing of Thermoplastic Material (6^{ta} edición; USA : Renhold Publishing Corporation, 1967).
- 3.- Krauss-Maffei Corp., Trainiq Program for Extrusion Technology (USA: K. Maffei Corp., 1979).
- 4.- G. Sotelo, Hidráulica General (México: Limusa, 1974).
- 5.- H. Kearns, Welding Handbook V3 (7^{ma} edición; Miami: AWS, 1980).
- 6.- Eutectic C. Rototec 1A (USA: Eutectic Corporation, 1982).



BIBLIOTECA