

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS.

" CONTRIBUCION AL ESTUDIO SOBRE RECUBRIMIENTOS
PLASTICOS POR LECHO FLUIDIZADO "

MANUEL DÍNGO PAJA.
~~INGENIERO QUIMICO.~~
INGENIERO QUIMICO.

1967.



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.

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

1967

Diego Taya

JURADO QUE REVISÓ Y

PRESIDENTE: Ing. Enrique Villarreal

APROBO LA PRESENTE

VOCAL: Ing. Homero Fuentes.

TESIS.

SECRETARIO: Ing. Gabriel Anaya.

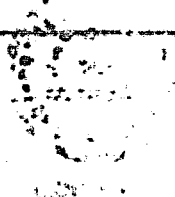
SITIO DONDE SE DESAROLLO EL TEMA: Holins, S.A.

45 Norte # 1070, Col. Industrial Vallejo, México, D.F.

SUSTENTANTE: MANUEL DIEGO TAJA.

ASESOR DEL TEMA: Ing. Homero Fuentes.

SUPERVISOR TÉCNICO. _____



A mi padre, Sr. Manuel Diego Sains con gratitud y
agradecimiento.

A mis maestros que han contribuido a mi formación
de profesionista.

A mi esposa Sra. Leticia Ruanova de Diego.

CONTENIDO.

- I INTRODUCCION.
- II GENERALIDADES.
- III METODOS DE RECUBRIMIENTOS PLASTICOS.
- IV RECUBRIMIENTOS PLASTICOS POR LECHE FLUIDIZADO.
- V COMPARACION DEL PROCESO DE LECHE FLUIDIZADO
CON OTROS PROCESOS.
- VI CALCULO DEL EQUIPO.
- VII EVALUACION ECONOMICA.
- VIII CONCLUSION.
- IX BIBLIOGRAFIA.

C A P I T U L O I

INTRODUCCION.

Algunos materiales en su estado normal no se pueden usar en ciertas condiciones extremas, por lo que se pensó en ayudarlos por medio de un recubrimiento que por lo general es de plástico.

Los recubrimientos plásticos le dan a los productos una resistencia contra la corrosión, abrasión, agentes químicos, los aíslan eléctricamente; ofrecen una buena apariencia a la vista y al tacto y además se obtienen unos colores decorativos.

Uno de los principales objetivos de un recubrimiento plástico, especialmente en productos hechos de acero u otros metales es darles una protección económica contra la corrosión y agentes químicos contenidos en gases o líquidos. Estos revestimientos resistentes a la corrosión, se deben aplicar en una gran escala, en el mantenimiento de equipos de plantas químicas y de plantas de proceso. Los planes satisfactoriamente recubiertas para protegerlas contra la corrosión incluyen agitadores, tanques de proceso, recipientes de transporte, tuberías, válvulas, etc.

Los fabricantes de motores eléctricos constantemente han buscado un sistema para aislar eléctricamente el devanado del campo y el estator de hierro, y reemplazar los insertos de papel y las láminas de fibra que se han venido usando desde que se fabricó el primer motor eléctrico.

Por medio de un recubrimiento plástico dichos fabricantes han encontrado mejor método de obtener este aislamiento. Muchas otras partes se recubren para obtener un aislante eléctrico. A menudo el recubrimiento tiene otra función además del aislante eléctrico; por ejemplo, resistencia a la corrosión y al ambiente, en este caso están los transformadores, cubiertas y cajas de interruptores eléctricos, barras colectoras, bobinas y herramientas eléctricas de mano.

Con el recubrimiento plástico no tan solo se pueden recubrir metales, sino también otros productos como vidrio, porcelana, telas, tejidos, filamentos, fibra de vidrio, toldo de alambre, y además se han recubierto plásticos con otro plástico.

Otra aplicación del recubrimiento plástico es la de recubrir productos comerciales y para el hogar, que les dan una apariencia de porcelana, excelentes colores y además una buena resistencia al envejecimiento. En este caso se encuentran: manijas para puertas y gabinetes, espátulas, escurridores para platos, cajas de refrigerador, canastas, etc.

Hay varios métodos para aplicar un recubrimiento plástico. En este trabajo se trata de enumerarlos y hacer una comparación de éstos con el proceso de recubrimientos plásticos por leche fluidizada.

En la empresa Rolins, S. A., se recubren diversos artículos con PVC pero por el proceso de plastisol. En este proceso existen varias dificultades, por lo que se pensó en sustituirlo por el proceso de leche fluidizada. En esta compañía se recubren diversos productos, tanto para el hogar como industriales.

La mira de esta empresa es la de maquilar recubrimientos plásticos y con esto se ahorrará inventario de materia prima y producto terminado y otros factores que afectarían directamente la inversión.

C A P I T U L O I I

GENERALIDADES.

Hay varios métodos de aplicar un recubrimiento plástico y en general se pueden dividir en dos grupos:

En el grupo A, el plástico se aplica al objeto que se va a recubrir y éste está fijo.

El grupo B, se caracteriza porque el producto que se va a recubrir se aplica adonde está el plástico estático.

Los métodos del grupo A, se usan para recubrir con el plástico -- grandes extensiones de superficies pero la calidad que se obtiene es menor comparándola con la que se obtiene con los procesos del grupo B.

Los recubrimientos del grupo B, por lo general se aplican cuando -- el producto que se quiere recubrir es pequeño. Esto se debe a las limitaciones en la inversión del equipo e inventarios de materia prima. Estas técnicas se consideran imprácticas para recubrir grandes extensiones como paredes, tanques y equipo de proceso.

Los métodos del grupo A se pueden subdividir en: a) recubrimientos por barniz y b) recubrimientos por atomizado. Cualquiera de estos métodos se puede intercambiar o lo que es lo mismo, el barniz se puede atomizar y el plástico que se atomizó se puede aplicar con brocha.

Dentro del grupo B la mayoría de los procesos son por inmersión. -- El producto que se quiere recubrir, se precalienta y después se sumerge en el plástico que puede estar en polvo o dispersado en un plastificante, y como esta caliente, las partículas de plástico se fusionan a su -- superficie para que posteriormente, se postcalienten y se complete la -- fusión a la superficie. Dentro de este grupo se encuentran los recu-- brimientos por plantisol y lecho fluidizado, que posteriormente se osobará.

C A P I T U L O I I I

RECUBRIMIENTO PLASTICO APLICADO COMO PINTURA.

Hay muy poca técnica para esta aplicación pues el proveedor que su ministra esta pintura la provee completamente lista para aplicarla. Hay dos formas para aplicar un recubrimiento plástico en forma de pintura: a) con brocha y b) con atomizador, por lo que se debe escoger la que de mejor calidad como mano de obra.

El plástico que se aplica en forma de pintura es la resina epoxi, - pero esto no quiere decir que no se pueda usar otra.

En algunos casos el artículo que se quiera pintar se tiene que precalentar, pero en todos los casos se necesita postcalentar, ya sea calentamiento natural o artificial, pero los recubrimientos son de muy ba ja calidad y muy delgados. Claro que se puede aumentar este espesor — con varias aplicaciones.

Para obtener el máximo de beneficio se deben tener en cuenta estos factores:

- A).- La correcta preparación de superficies por cubrir.
- B).- Escoger y aplicar correctamente el material plástico adecuado, según la finalidad perseguida, tomando esencialmente en cuenta las condiciones a que va a estar sujeto el recubrimiento.

La finalidad de una pintura es la de resolver los problemas particula res de protección, conservación, empaque, acabado y decoración; indispen sables para la industria, la construcción y el hogar.

Este método se encuentra en el grupo de técnicas que se aplican -- por atomizador. Aunque el equipo de atomizado para este propósito todavía está en etapa de desarrollo, lo trataremos brevemente.

El recubrimiento electrostático es el método más prometedor de los recubrimientos por atomizado, especialmente para artículos pequeños y medianos. Las partículas de polvo salen de la pistola de atomizado bajo presión y cargadas con 90,000 volts. de corriente directa que es un voltaje negativo a un bajo amperaje. No se requiere flama. El gatillo de la pistola controla el voltaje y el flujo de polvo.

Una corriente de aire comprimido lleva el polvo de una reserva a -- la pistola. Otra corriente de aire fuerza el polvo a pasar por el sacrificio de la pistola. El flujo puede ser de 30 a 40 libras por hora que equivale a cerca de 3 milésimas por pie cuadrado por segundo. El polvo electrostático que sobra caerá de la superficie e inmediatamente después el artículo se curará en un horno o se almacenará a temperatura -- ambiente por días y aún por semanas. El mismo recubrimiento aisla la -- pieza que eventualmente rechaza más polvo en lugar de atraerlo hacia su superficie. Por lo tanto, recubrimientos que excedan a tres milésimas -- de pulgada, no se pueden aplicar, solo que se precaliente la pieza.

Se debe controlar muy drásticamente la temperatura del artículo como la del polvo plástico. El voltaje y el amperaje de la corriente y -- el tiempo que se este aplicando el atomizado.

La principal ventaja de la pistola electrostática es que los artículos no necesariamente se necesitan precalentar y se obtienen unos recubrimientos muy delgados.

RECUBRIMIENTOS PLASTICOS POR EL METODO PLASTISOLES.

Basicamente, los plastisoles son mezclas de resinas vinílicas, -- plastificantes, estabilizadores, pigmentos y algunas veces otros componentes. Estos materiales se mezclan a temperaturas ambiente hasta consistencia pastosa. No parecen muy fluidos porque no contienen ingredientes volátiles y por lo tanto no requieren evaporación de solventes ó -- agua para ser convertidos en artículos terminados. Sometiéndole a tem--

peraturas alrededor de 177° C. La resina se funde en el plastificante y el plastisol se transforma en un sólido homogéneo plástico con excelentes propiedades físicas, las mismas que son características de los otros vinílicos; flexibilidad, tacto, resistencia a la abrasión y agentes químicos, ilimitadas posibilidades de colores y excelente estabilidad al envejecimiento.

En los 15 años transcurridos desde la introducción de la resina de policloruro de vinilo para usar en compuestos para pastas, los plastisoles se han convertido en un conocido material para miles de usuarios. Se utiliza para fabricar diversos productos como esponjas, juguetes, botas de lluvia, telas para tapicería, recubrimientos de artículos de alambre y cubas electrolíticas, interior de tambores, recubrimientos de pisos, etc., etc.

Hay varios métodos para aplicar un plastisol que son: **MOLDEO ROTATIVO, MOLDEO POR VACIADO y RECUBRIMIENTO POR INMERSION.**

En este caso solo trataremos de los recubrimientos por inmersión.

La composición de los plastisoles abarca la selección de las cantidades y tipos de resinas vinílicas, plastificantes, estabilizantes y otros ingredientes para obtener las cualidades específicas deseadas en el producto final y las características de flujo para procesarlos. Por lo tanto veremos rápidamente las características de los compuestos usados más comúnmente.

RESINAS.-

El principal componente de cualquier plastisol es una resina de policloruro de vinilo de alto peso molecular. La resina debe ser fácilmente dispersable en plastificante, preferentemente por medio de una técnica especial de mezclado y luego fundir dando productos de alta calidad. A veces y para asegurar ciertas cualidades especiales de flujo se recurre al agregado de resinas de PVC de mayor o menor tamaño de partículas.

Los cambios en las propiedades de flujo de los plastisoles pueden resultar por el reemplazo de partes de una resina por otra u otras, por ejemplo:

Agregando resina con

tamaño de partícula:

Viscosidad Inicial

Dilatancia.

"Yield Value"

menor

aumenta

decrece

aumenta

mayor

decrece

decrece

no afecta.

Estabilidad de la viscosidad.

decrece

aumenta.

Brillo de la película.

aumenta

decrece.

"Yield Value".- Valor del esfuerzo mínimo de deformación permanente. (Es la fuerza en dinas / cm² que debe ser ejercida sobre la pasta para iniciar su flujo constante). En la mayoría de los plastisoles, este valor es medido con el viscosímetro Brookfield. Los plastisoles de alto "yield value", son generalmente referidos a "Plastisoles".

PLASTIFICANTES.-

La selección de un sistema de plastificantes es de suma importancia en la composición de los plastisoles, ya que el plastificante es el único medio de dispersión; -él determina en innumerables grados, las propiedades de flujo de la pasta vinílica tanto como la flexibilidad, las propiedades a bajas temperaturas el olor y las características de migración del mismo en el producto terminado.

Ambos, la viscosidad y el poder de solvatación del plastificante, afectan la viscosidad del plastisol. Inicialmente, su propia viscosidad de terminada la de la pasta, por ejemplo: una baja viscosidad también en el plastisol. La acción solvatante de algunos plastificantes tiene un marcado efecto en la estabilidad de la viscosidad. Con el tiempo el poder de solvatación, se esfuerza y disuelve las partículas de resina aumentando la viscosidad de la pasta.

Los plastificantes pueden ser divididos en dos categorías, Primarios y Secundarios: Un Plastificante Primario es aquel de absoluta compatibilidad y únicamente usado para plastisoles.

El secundario es de menor compatibilidad y produce plastisoles de viscosidad extremadamente altas; frecuentemente se usan juntamente con los primarios en aquellas formulaciones donde interesa bajar el costo o lograr alguna cualidad especial como mayor resistencia a la imigración o a la inflamabilidad.

ESTABILIZANTES.-

Los plastisoles vinílicos deben ser casi siempre estabilizados para reducir los efectos causados sobre ellos por el calor y la luz. El nivel de estabilidad a la luz requerida para los plastisoles no es tan

alto como para otros compuestos vinílicos, debido al corto período de exposición al calor que tienen las pastas para transformarse en producto terminado. Los compuestos de Pb son los utilizados normalmente en plastisoles opacos, para luz y calor y los complejos de Sn o Ba-Cd para los translúcidos. Es una práctica normalmente dispersar los estabilizantes sólidos en pequeñas cantidades de plastificantes o en un molino de 3 rodillos -tipo tintas- y luego agregar la dispersión al plastisol. Esto asegura una buena distribución del estabilizante en el compuesto.

CARGAS Y PIGMENTOS.-

A menudo se usan cargas en los compuestos vinílicos para reducir el costo de los mismos. En los plastisoles las cargas ofrecen otro método para controlar las propiedades del flujo de los mismos, además de bajar igualmente el costo. Las propiedades de absorción de aceite de las mianas son un factor que produce efecto directo sobre la viscosidad del plastisol. Una carga de alta absorción es un camino directo y sencillo para experimentar el "Yield Value" en el plastisol.

Pigmentos se usan normalmente, previa dispersión en el plastificante o en molino de 3 rodillos, en pequeña cantidad. Un plastificante de viscosidad media es el aconsejado para este propósito. Las dispersiones de pigmentos plastificante pueden ser adquiridas ya preparadas como tales o en forma de polvo seco. Estos simplemente se mencionan en el plastisol.

DILUYENTES VOLÁTILES.-

Para controlar el peso del recubrimiento en operaciones de inmersión, es aconsejable, agregar a veces diluyentes volátiles. Esta adición hace disminuir la viscosidad y aumenta el valor del "yield" a la misma. Hidrocarburos aromáticos y alifáticos son los normalmente usados, aunque se prefieran los alifáticos por su menor efecto de disolución sobre la resina vinílica.

La cantidad de diluyentes usada, excepcionalmente sobrepasa el 20% del peso total de compuesto.

AGENTES DE ACTIVACION SUPERFICIAL.

Se les puede usar en proporción de 1 a 2% sobre resina, para disminuir la viscosidad inicial de un plastisol. Frecuentemente el efecto de un auxiliar de talen características disminuye con el tiempo, pero rebaja la tensión superficial del plastificante y ayuda a la solvatación de la resina.

INMERSION.

Basicamente el proceso consiste en sumergir un objeto dentro de un baño de plastisol, y luego fundir el mismo que ha quedado adherido a las paredes de dicho objeto.

Actualmente se han introducido una serie de variantes prácticas: - el molde puede ser precalentado, usarse más de una inmersión; el objeto puede ser demoldado y el molde usarlo nuevamente, el objeto moldado - puede ser parte funcional del molde, quedar allí, etc.

El goteo o ochorreo se produce frecuentemente en los bordes o puntas del molde durante la fundición del material, luego de haberlo sacado - del baño correspondiente; para algunas aplicaciones esto carece de importancia pero para otras es fundamental.

El control de este fenómeno se puede obtener desde la formulación - misma y su "yield value". Las últimas técnicas la inmediata inversión - del molde antes de fundir el plastisol o tambien es recomendable (de bajo de 2000 ops.) una dilatación mínima.

Una fórmula típica para este camino de inmersión, reducida a un - 90% de sólidos totales con un solvente orgánico, es la siguiente:

Resina Geon 121	100 partes.
Plastificante ftálico	87
Óxido de titanio	5
Carga (baja absorción aceite)	55
Carga (alta absorción aceite)	12
Estabilizante Epoxi	6
Estabilizante Ba Cd.	1
Solvente hidrocarburo	El necesario para llegar a su contenido total del - 90%.

El alto "Yield Value" para llegar a la viscosidad es logrado por - la combinación de una carga de alta absorción de aceite y el solvente. La carga aumenta el "yield", mientras que el solvente baja la viscosidad.

Los plasticos para recubrimiento pueden ser aplicados a cuchilla, pincel o pulverizado, cada uno de ellos usa diverso tipo de fórmula, justamente para lograr las propiedades adecuadas a cada método de aplicación.

Como se podrá ver se necesita un control rígido en la viscosidad - del plasticol, pues es la que limita el proceso. Para obtener la viscosidad adecuada se debe controlar la velocidad de movimiento de mezclado, la formulación misma y la calidad del plastificante. Para obtener un recubrimiento de buena calidad se necesita controlar también la temperatura del horno, tanto como la temperatura del plasticol.

RECUBRIMIENTO PLASTICO POR ATOMIZADO DE POLVO SECO.

Este método es una modificación al método de recubrimiento por lecho fluidizado, para aplicar recubrimientos termoplásticos. La resina - termoplástica se mete en el recipiente de una pistola de atomizado diseñada para aplicar materialmente el polvo. La pistola de atomizado usa aire comprimido y produce un atomizado de las partículas de polvo plástico. Este atomizado se dirige sobre la superficie que se requiere recubrir y se ha precalentado a una temperatura mayor que la temperatura de fusión del plástico. Cuando la superficie se ha cubierto completamente - con el plástico se para el atomizador hasta que el polvo se fusione. Si se quiere más espesor en el recubrimiento se volverá a repetir la misma operación hasta obtener el deseado. Esta técnica es útil para recubrir objetos de grandes superficies planas.

Sin embargo, también tiene algunas limitaciones, la más importante - es que no es posible conseguir una pistola de buena capacidad de atomizado y que el operador debe tener bastante experiencia en este campo.

RECUBRIMIENTOS PLÁSTICOS POR LECHE FLUIDIZADO.

La técnica del lecho fluidizado consiste en calentar el objeto que se va a recubrir a una temperatura arriba del punto de fusión del plástico usado, sumergir el producto en un lecho fluidizado del plástico - sin polvo y después de sacarlo, dejar que el calor residual del objeto fusione las partículas de plástico adheridas y se forme una película continua. La unión del objeto con el plástico es única en su función de optimizar las ventajas de cada uno.

Algunas ventajas del recubrimiento por lecho fluidizado son:

- a).- Los recubrimientos tienen en sí un excepcional revestimiento en rincones y partes puntiagudas.
- b).- Están libres de burbujas o caceras.
- c).- Se pueden obtener espesores del recubrimiento de 8 a 85 milésimas - de pulgadas de una sola inmersión.
- d).- Los materiales del recubrimiento tienen fuerza y buena apariencia.
- e).- Los materiales del recubrimiento son capaces de aguantar las más - severas condiciones atmosféricas.
- f).- Los recubrimientos tienen una excelente resistencia a la corrosión del alto grado y proveen aislante eléctrico.
- g).- Los recubrimientos son resistentes, tienen buena apariencia al tacto y muy buena variedad de colores.

Estas características deseables se pueden obtener comercialmente -- por medio de la tecnología del lecho fluidizado.

TECNICA DEL LECHE FLUIDIZADO.

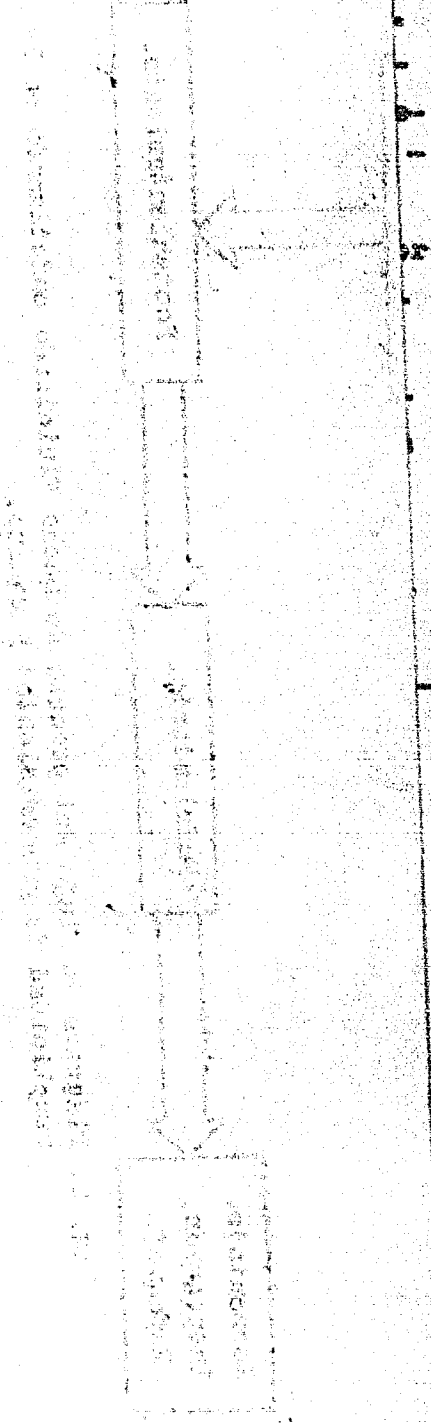
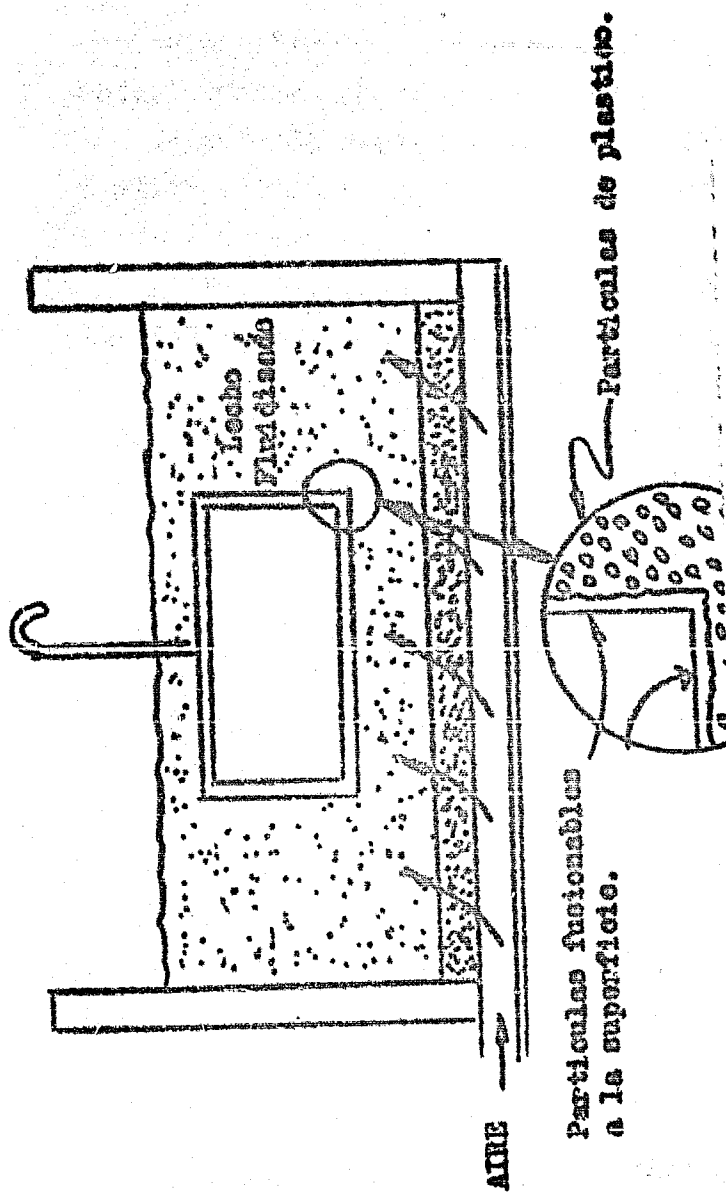
Los dos términos fundamentales que se incluyen son:

- a).- Materiales fusibles al calor aplicados de b).- un lecho fluidizado. (Fig. 1).

Los lechos fluidizados se generan en recipientes o tanques con un -- fondo falso poroso. El material que se va a fluidizar se vacía por la -- parte de arriba del tanque; el gas fluidizante se admite por la parte -- baja bajo varias libras de presión; se difunde a través del plato poroso, su movimiento hacia arriba causa que el polvo plástico finamente dividi- do se aeree y se obtengan unas características de fluido. El polvo se -- puede decir que está en suspensión agitada. En esta forma, no ofrece --

alguna resistencia para sumergir en él un objeto, e instantáneamente se pone en contacto con todas las superficies.

Quando un objeto se sumerge en un líquido...



usados en la inmersión no se calientan para evitar que se recubra también

resistencia para sumergir en él un objeto, e instantáneamente se
 en contacto con todas las superficies.

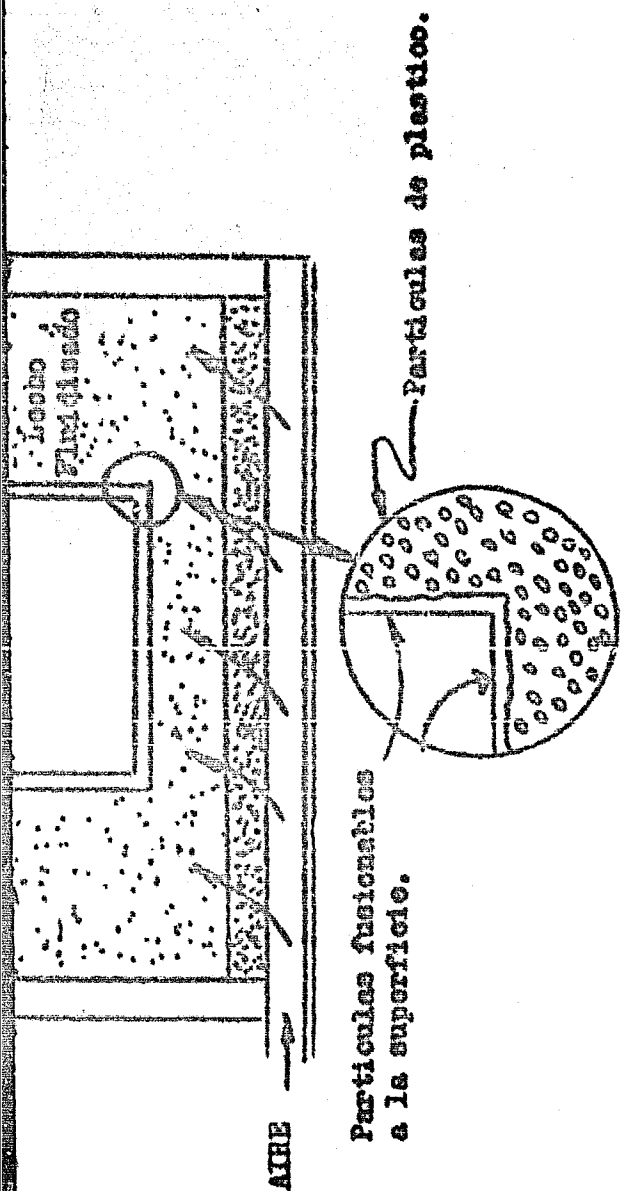


Fig. 1. Esquema del Recubrimiento por Lecho Fluidizado.

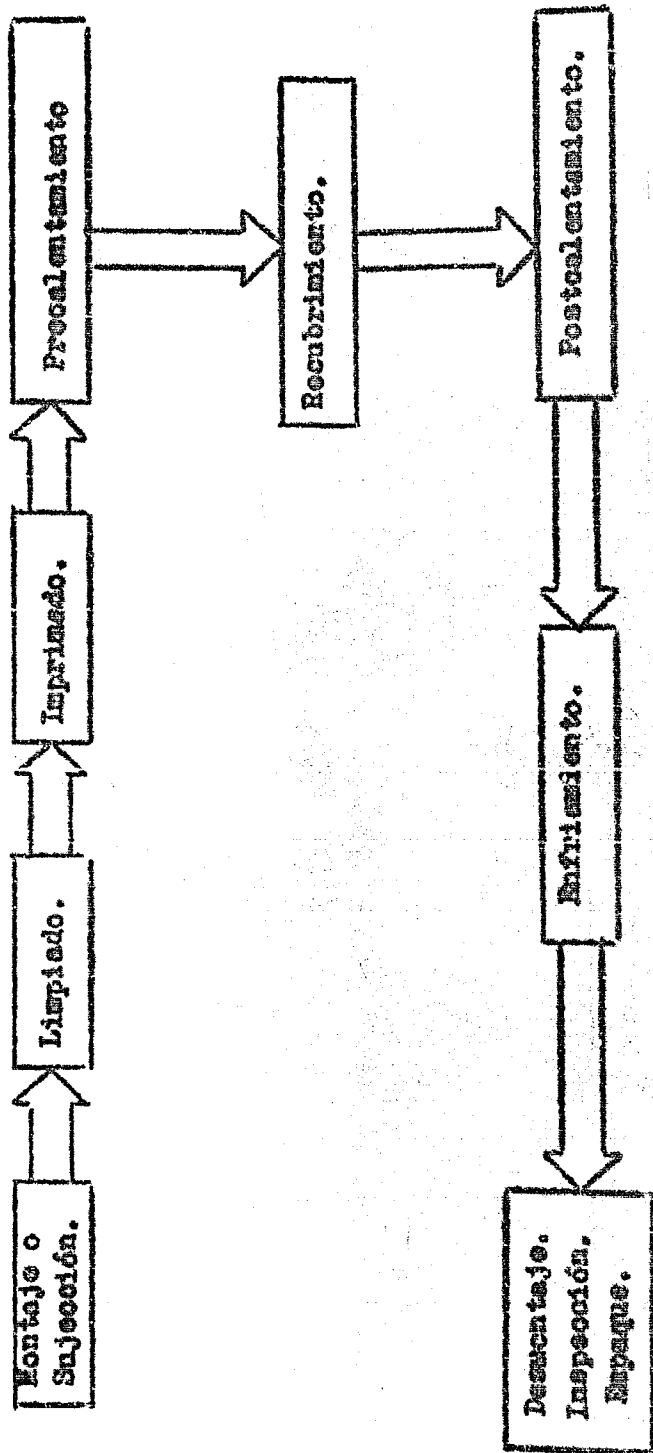


Fig. 2. Diagrama de Flujo del proceso de Lecho Fluidizado enfatizando en la simplicidad de procedimientos y equipo.

a inmersión no se calientan para evitar que se recubra también

alguna resistencia para sumergir en él un objeto, e instantáneamente se pone en contacto con todas las superficies.

Cuando un objeto es calentado a una temperatura mayor del punto de fusión del material plástico y se sumerge en el lecho fluidizado, las partículas tocan la superficie y hay una transferencia de calor y éstas. En cosa de segundos el polvo se pegará rápidamente, fusionará y fluirá para formar un recubrimiento. El peso y espesor del recubrimiento lo determina el calor que lleva el objeto a recubrir y el tiempo que está en contacto con el polvo.

Después de removerlo del lecho fluidizado, la fusión se completa por el calor residual en el objeto o por un postcalentamiento. Entonces se enfría por aire o por un baño de agua para completar el proceso.

Uno de los factores más interesantes del proceso es la variedad de materiales que se pueden aplicar con el mismo equipo. Se pueden usar los dos tipos de plásticos, Termoplásticos o Termofijos.

Los plásticos termoplásticos son fusibles permanentemente, pueden fundirse con calor y endurecerse con frío. Son moléculas lineales, solubles en solventes orgánicos.

Los plásticos termofijos son infusibles permanentemente en el producto final. Son moléculas lineales pero entre cruzadas. Son insolubles en solventes orgánicos.

Se pueden aplicar plásticos como vinilo, nylon, acrílicos, pentón, polietileno, resina epoxi, poliestireno, resina acetal y fluorocarbonos.

Los recubrimientos se pueden aplicar sobre acero, cobre, aluminio, hierro fundido o bronce, en la forma de partes fabricadas, fundidas o continuamente en filamentos o alambres. También se aplican a tejidos o telas, vidrio, fibra de vidrio, y algunos otros objetos que pueden resistir la temperatura de fusión del plástico que se va a usar.

En el proceso por lecho fluidizado la parte que se va a recubrir es generalmente manejada de la siguiente manera (Fig.2).

(1) MONTAJE O SUJECIÓN:- común a casi todos los métodos, es la necesidad de sujetar el objeto mientras se aplica el recubrimiento. El escoger la localización y el método de sujeción influye directamente en el diseño del producto e involucra el costo de mano de obra y de materiales, así como de calidad. Generalmente se usan varios accesorios de sujeción para el precalentamiento, inmersión y postcalentamiento, los accesorios usados en la inmersión no se calientan para evitar que se recubra también

el accesorio (que ocasiona que se gaste plástico y se necesita limpiar) y obtener líneas limpias. Se usan otros accesorios para prevenir que estos no se unan a las partes recubiertas.

Se usan varios tipos de materiales para tapar las áreas que no se requirieron recubrir. Estos son: Hule Silicón, Tetrafluoretileno y hules resistentes al calor. Cuando para el precalentamiento se emplea calor por inducción se usa para envasar fenoles resistentes al calor.

El accesorio se debe diseñar para que el objeto se pueda sujetar o soltar lo más rápido posible para minimizar las pérdidas de calor del artículo en transferencia. En operaciones intermitentes se prefieren usar grapas, pestillos, aldaban o partes magnéticas; en operaciones continuas se usan accesorios hidráulicos o neumáticos. En algunas operaciones donde la limpieza del accesorio no es difícil o cara, se puede usar un solo accesorio en todas las operaciones.

En el proceso del lecho fluidizado las consideraciones de sujeción son de fundamental importancia y se deben tomar en cuenta para diseñar el objeto terminado.

(2) LIMPIADO.- Obviamente la limpieza del objeto es un importante factor. Las superficies deben estar libres de aceites, polvo, óxido u otros contaminantes. Un depósito pesado de materia extraña generalmente se puede detectar más de que el objeto se recubrió porque esto ocasionará una superficie no uniformemente cubierta, tal vez haya burbujas o bordes que se deben a la degradación del calor después de que se aplicó la capa plástica.

La adhesión no decrece con el tiempo si el recubrimiento no es afectado por otra sustancia.

Un procedimiento típico para limpiar una superficie metálica es el siguiente:

a).- La superficie debe desescamarse. El desescamado se llama al hecho de quitar el óxido por los incrustantes que estén presentes en la superficie. Para desescamar la superficie hay dos formas: 1.- Por un baño químico., 2.- Por abrasión mecánica.

La técnica del baño químico consiste en lavar o sumergir el objeto en una solución diluida de ácido, sacarlo y dejarlo secar.

Por abrasión mecánica se entiende en limpiar la superficie con esmeriles, cepillos de alambre, etc. Cuando la superficie ya está desescamada-

de es extremadamente susceptible a la oxidación por lo que se le debe proteger y esto se hace por medio de un baño de ácido crómico-fosforico o con una mezcla de ácido fosforico con fosfato, también se puede usar ácido crómico con cromato, pero cuando inmediatamente despues del limpieza se lleva a recubrir no hay necesidad de usar alguno de los anteriores.

b).- La superficie debe desgrasarse. El desgrasado quita cualquier raso de aceite o grasa de la superficie que se va a recubrir. Esto es necesario para obtener una buena adhesión del recubrimiento.

El desgrasado de la superficie se puede hacer por varios medios. El método tradicional es el uso de un baño químico o lavarlo con alguno de los siguientes productos químicos: Sosa cáustica, carbonato de sodio, fosfatos, silicatos alcalinos, jabones y detergentes sintéticos. Otro método es el uso de solventes, particularmente solventes clorinados como tricloroetileno, tetracloroetileno, también tolueno, acetona, acetato de etileno, acetato de butilo, o eter etílico. Estos solventes se pueden usar en baños, sistemas de fase vapor, o en sistemas de solventes emulsionados.

c).- Para obtener una máxima adhesión es necesario tener una superficie un poco rugosa, por lo tanto es necesario algunas veces esmerilarla o usar algunos de los métodos descritos anteriormente para el desescamado mecánico. Con la superficie rugosa se obtiene una mayor área para que se adhiera el plástico. Al mismo tiempo que se hace el desescamado se puede a veces hacer la superficie rugosa.

El número de pasos de preparación usados en una operación de recubrimiento depende de la condición inicial de los objetos que se van a recubrir y el grado final de adhesión. Esto se determina mejor por experimentación con el objeto que se va a recubrir.

Como se podrá ver hay muchas formas posibles de limpiar un objeto; en la mayoría de los casos es aconsejable determinar el mejor en las condiciones particulares que se van a usar.

(3) IMPRIMADO.- El imprimado del objeto se debe hacer si se requiere una máxima adhesión del recubrimiento con el objeto. Aquí otra vez, los requerimientos del uso final, dictarán la necesidad del imprimado. En general estos imprimadores son soluciones de solventes con una baja viscosidad, como los imprimadores son materiales orgánicos, expuestos a altas temperaturas, períodos largos de tiempo, ocasionaran que se desgranden.

Si el imprimador es degradado por sobrecalentamiento, se perderá su efecto y resultará una adhesión pobre.

No es necesario que el imprimador este completamente seco antes de precalentar el objeto que se va a recubrir, pero se deben tomar precauciones si es que el imprimador contiene solventes inflamables, y que la fuente de calor usada para precalentar el objeto es tal que pueda causar la ignición de los vapores.

PRECALENTAMIENTO RECUBRIMIENTO Y POSTCALENTAMIENTO.

En los recubrimientos por lecho fluidizado, las partes que se van a recubrir se calientan antes de sumergirlas en el polvo plástico fluidizado. Esta operación de calentamiento deberá aumentar la temperatura del objeto a una temperatura un poco mayor en que las partículas de polvo que toque la superficie se fusionaran a ésta. Usualmente, solo es necesario que las partículas queden pegadas a la superficie del objeto. La fusión de las partículas a una capa continua se puede completar en la operación de postcalentamiento.

En la operación de precalentamiento, las variables normalmente relacionadas con él, se pueden reducir a la relación entre la temperatura del objeto y el espesor y uniformidad del recubrimiento.

La cantidad de calor que la parte a recubrir puede o deberá tener cuando es sumergida en el lecho fluidizado, dependerá de dos consideraciones: primera, deberá contener la mínima cantidad de calor requerida para fusionar las partículas lo suficiente para que se adhieran y formen una película en la superficie del objeto. Sin embargo, no deberá contener demasiado calor para que las partículas de plástico se calienten a un punto que el recubrimiento se haga muy fluido o se deforme o que el plástico se decolore o degrade.

Estos límites se pueden determinar experimentalmente para un objeto dado y para un plástico determinado en condiciones específicas. Estos límites por lo general están expresados en términos de mínima y de máxima temperatura del objeto, en un sistema dado, medidas en el instante en que el objeto se sumerge en el lecho fluidizado.

Estos límites se deben conocer para determinar los requerimientos de calentamiento y la manipulación del objeto de precalentamiento hasta que se sumerge.

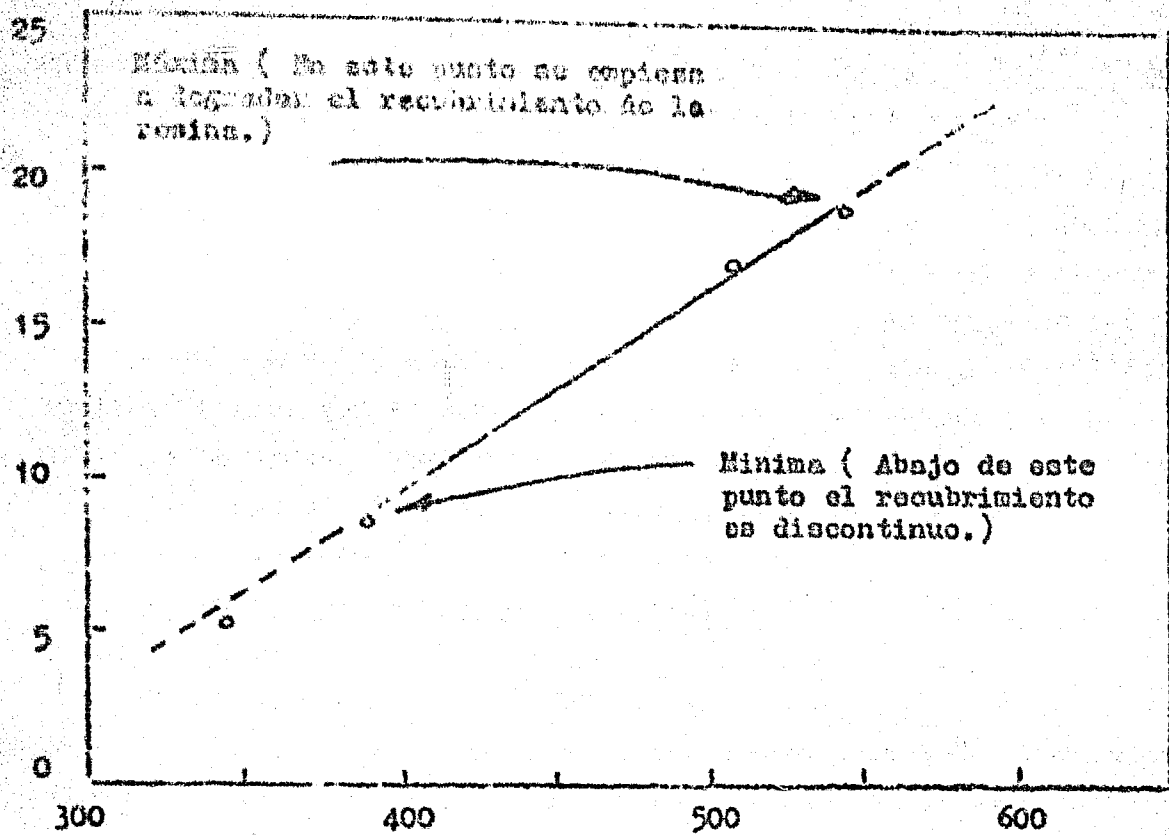
TABLA II.- Resumen de las condiciones usadas en el estudio del proceso de recubrimiento por lecho fluidizado.

VARIABLES DEL PROCESO.	NUMERO DEL EXPERIMENTO.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dimensiones muestra.											
Pulg. (b)											
Largo.	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	o
Ancho.	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	o
Espesor.	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	1/16	20	1/16	o
Ciclo de precalentamiento.											
Temperatura °F.	500	550	-	600	d	500	550	500	500	500	550
Tiempo Min.	6	6	20	6	6	6	6	6	5	6	10
Retardo antes de sumergir.											
Tiempo de retardo.	10	10	10	o	10	10	10	10	10	10	10
Temp.final del objeto.	530	-	-	o	f	510	-	-	-	-	-
Tiempo sumergido.											
Segs.	6	5	5	10	4	5	5	10	10	10	5
Movimiento estando - sumergido (oscilación)(g).											
Frecuencia ciclos Min.	180	180	180	180	180	h	180	180	180	180	h
Amplitud, pulg.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	h
Velocidad del aire fluidizante, pies/min.											
	h	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	7.0	4.9	4.9	4.9	-
Temperatura del lecho, °F.											
	75	-	75	75	75	75	75	75	75	-	-
Temperatura de post - calentamiento, °F (i).											
	450	450	450	450	450	450	450	4--	500	500	-

- a).- En todos los experimentos se usó resina vinílica Corvel VCA- 1289.
- b).- Todas las muestras se hicieron de acero rolado en frío.
- c).- La muestra consistió en un tubo de 1/4" Dia., Cod.40 y 7" de largo.
- d).- La temperatura de precalentamiento varió usando valores de 350, 450, 550 y 650°F.
- e).- Condiciones variables de retardo.
- f).- Retardo de 10 Seg. produjeron temperaturas en la muestra de acero de 325,420,510 y 590°F
- g).- Todas las muestras se oscilaron verticalmente para promover una uniformidad en el espesor. En el experimento 7 la altitud del objeto se varió al gusto y en el experimento 11 se usaron condiciones variables.
- h).- Variadas.
- i).- Se usó en todos los los experimentos un retardo de 10 Seg. antes de exponer la muestra a

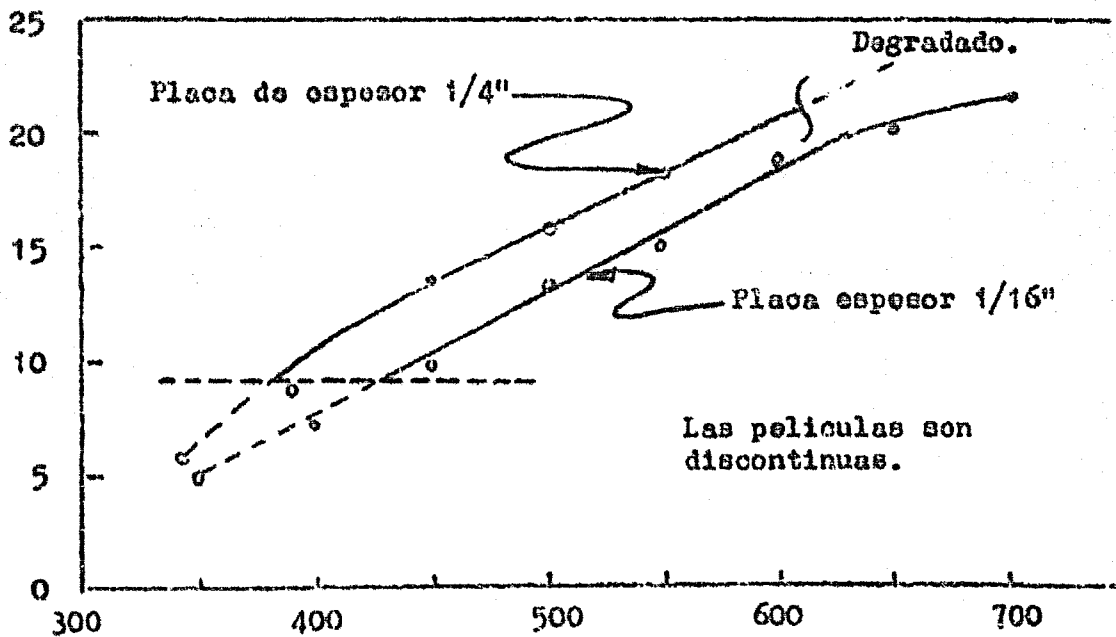
Ciclo de precalentamiento.											
Temperatura °F.	500	550	-	600	d	500	550	500	500	500	550
Tiempo Min.	6	6	20	6	6	6	6	6	5	6	10
Retardo antes de sumergir.											
Tiempo de retardo.	10	10	10	o	10	10	10	10	10	10	10
Temp.final del objeto.	530	-	-	o	f	510	-	-	-	-	-
Tiempo sumergido.											
Segs.	6	5	5	10	4	5	5	10	10	10	5
Movimiento estando - sumergido (oscilación)(g).											
Frecuencia ciclos Min.	180	180	180	180	180	h	180	180	180	180	h
Amplitud, pulg.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	h
Velocidad del aire fluidizante, pies/min.											
	h	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	7.0	4.9	4.9	4.9	-
Temperatura del lecho, °F.											
	75	-	75	75	75	75	75	75	75	-	-
Temperatura de post - calentamiento, °F (i).											
	450	450	450	450	450	450	450	4--	500	500	-

- a).- En todos los experimentos se usó resina vinílica Corvel VCA- 1289.
- b).- Todas las muestras se hicieron de acero rolado en frío.
- c).- La muestra consistió en un tubo de 1/4" Dia., Cod.40 y 7" de largo.
- d).- La temperatura de precalentamiento varió usando valores de 350, 450, 550 y 650°F.
- e).- Condiciones variables de retardo.
- f).- Retardo de 10 Seg. produjeron temperaturas en la muestra de acero de 325,420,510 y 590°F
- g).- Todas las muestras se oscilaron verticalmente para promover una uniformidad en el espesor. En el experimento 7 la altitud del objeto se varió al gusto y en el experimento 11 se usaron condiciones variables.
- h).- Variadas.
- i).- Se usó en todos los los experimentos un retardo de 10 Seg. antes de exponer la muestra a la temperatura de postcalentamiento. Las muestras fueron postcalentadas en varios tiempos, desde su postcalentamiento hasta un tiempo en que se fusionó el recubrimiento.



TEMPERATURA DEL OBJETO, °F.

Fig. 5.



TEMPERATURA DEL HORNO, °F.

Fig. 4.

C. K. Pettigrew hizo unos experimentos de recubrimiento por lecho fluidizado en una placa de acero y la recubrió con resina vinílica, en la tabla II se da un resumen de las diferentes condiciones usadas.

En las condiciones del experimento #3 de la tabla II, se ilustra en la figura (3) la mínima y máxima temperatura del objeto para recubrir una placa de acero de 1/4" de espesor de resina vinílica. También se ilustran los espesores del recubrimiento aplicados a los rangos de temperatura.

La temperatura mínima del objeto de este sistema es de 385°F. A temperaturas menores que éstas no proveen el calor necesario para que se forme una capa continua. (Cambiano algunas de las condiciones probablemente resulte una capa continua aún a temperaturas menores de 385°F. Por ejemplo, tiempo de sumergido más grande, menos movimiento de inmersión o menor velocidad de aire fluidizante podrán ocasionar una capa continua aún a temperaturas menores).

A una temperatura de 575°F., el recubrimiento fué severamente degradado; por lo tanto la temperatura máxima del objeto para este sistema es menor de 575°F. porque el recubrimiento a esta temperatura fué satisfactorio.

TEMPERATURA DEL OBJETO VS. ESPESOR DEL RECUBRIMIENTO.

La figura 3 no es útil para obtener otros datos.

En el sistema indicado podrá ser útil definir el rango de temperatura del objeto para aplicar un recubrimiento de espesor definido.

Por ejemplo, se puede ver en este sistema que para un rango de temperaturas del objeto de 435 a 350°F., darán un espesor del recubrimiento de 12 a 14 milésimas de pulg. Teniendo un control de esta variable es como se obtiene una producción en la escala industrial.

La figura 4 ilustra los espesores del recubrimiento aplicados en función de la temperatura del objeto, (estas expresadas como temperaturas del horno) para dos objetos que difieren en espesor. Estas partes fueron recubiertas lo mismo que los otros experimentos. Los objetos se calentaron hasta la temperatura del horno y con un retardo antes de sumergirse de 10 segundos.

Los materiales plásticos difieren grandemente en sus requerimientos de energía calorífica. En algunos casos como los vinilos usados en el experimento de Pettigrew la amplitud de energía calorífica es muy grande. Con otros materiales, por ejemplo vinilos rígidos, la amplitud es pequeña. La

utilidad de un material plástico para recubrimiento por lecho fluidizado se puede medir por su amplitud de energía calorífica en condiciones variables.

TIEMPO DE RETARDO DEL PRECALENTAMIENTO A LA INMERSION.

Cuando se han establecido un ciclo de precalentamiento es necesario -- controlarlo para obtener resultados reproducibles. Cambios en la temperatura del horno o en el tiempo de residencia del objeto en horno, ocasionarán cambios en la temperatura del objeto y por lo tanto también en el recubrimiento.

También es igualmente importante controlar el tiempo del retardo del precalentamiento a la inmersión. Durante este período el objeto se está enfriando rápidamente. En la figura 5 se puede ver el espesor del recubrimiento en función del tiempo de retardo. Las temperaturas del objeto que siguen este retardo están entre paréntesis. Las condiciones usadas para obtener esta gráfica fueron las del experimento 4 de la tabla II.

En cada punto graficado, las temperaturas del objeto están entre paréntesis. Graficando estos puntos en la figura 4 se puede ver que se obtiene la misma curva como el experimento previo. (Los puntos no salen de la curva para la placa usada de $1/16''$, aunque se usará un ciclo de inmersión más grande).

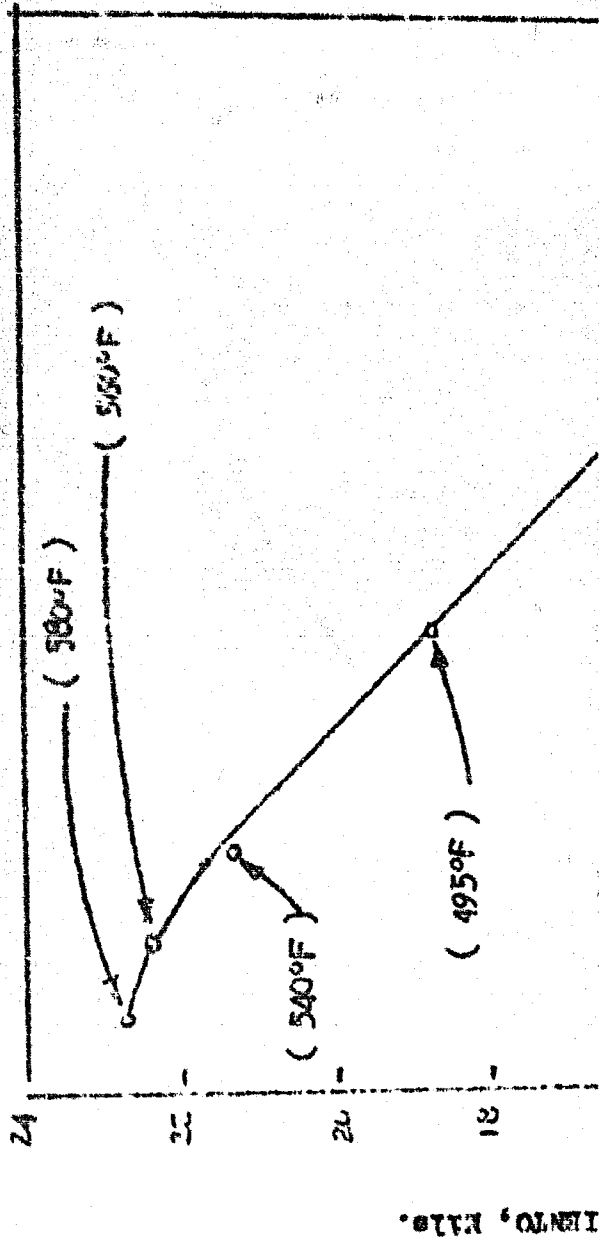
Cuando ya se estableció el período de retardo para un sistema de recubrimiento, también se debe controlar. Al haber variaciones en el tiempo de retardo, variará la temperatura del objeto y por lo tanto afectarán los espesores del recubrimiento. Tiempos de retardo de 60 Seg. no son comunes; -- podrá haber algunos casos en que el tiempo de retardo para manipular el objeto del horno al lecho fluidizado sea de 60 segundos; en estos casos los objetos deberá precalentarse a una temperatura mucho mayor para compensar la pérdida de calor durante el largo período de retardo.

En la figura 6 se ilustra un importante subproducto de este experimento del tiempo de retardo. Cambios en la temperatura del objeto, con todas las otras variables controladas, alterarán el tiempo requerido para el postcalentamiento.

La capa de plástico no se fundirá en el horno de postcalentamiento -- hasta que el material llegue a una temperatura que permita que fluya y se funda. Si se reduce la temperatura del objeto deberá aumentarse en el horno de postcalentamiento.

MÉTODOS DE DILATAMIENTO.

El mismo Pettigrew (13) hizo algunos experimentos para demostrar las



LARGO, MILS.

top
 las -
 re-
 fox
 eratu
 e -
 grá
 es-
 con-
 a que
 etre-
 . Pa
 ada
 esa -
 mo -
 turá
 fria-
 adas
 o na-
 pon -
 ente.
 uestran
 meó.
 fac-
 la -
 pie-
 non-
 a de

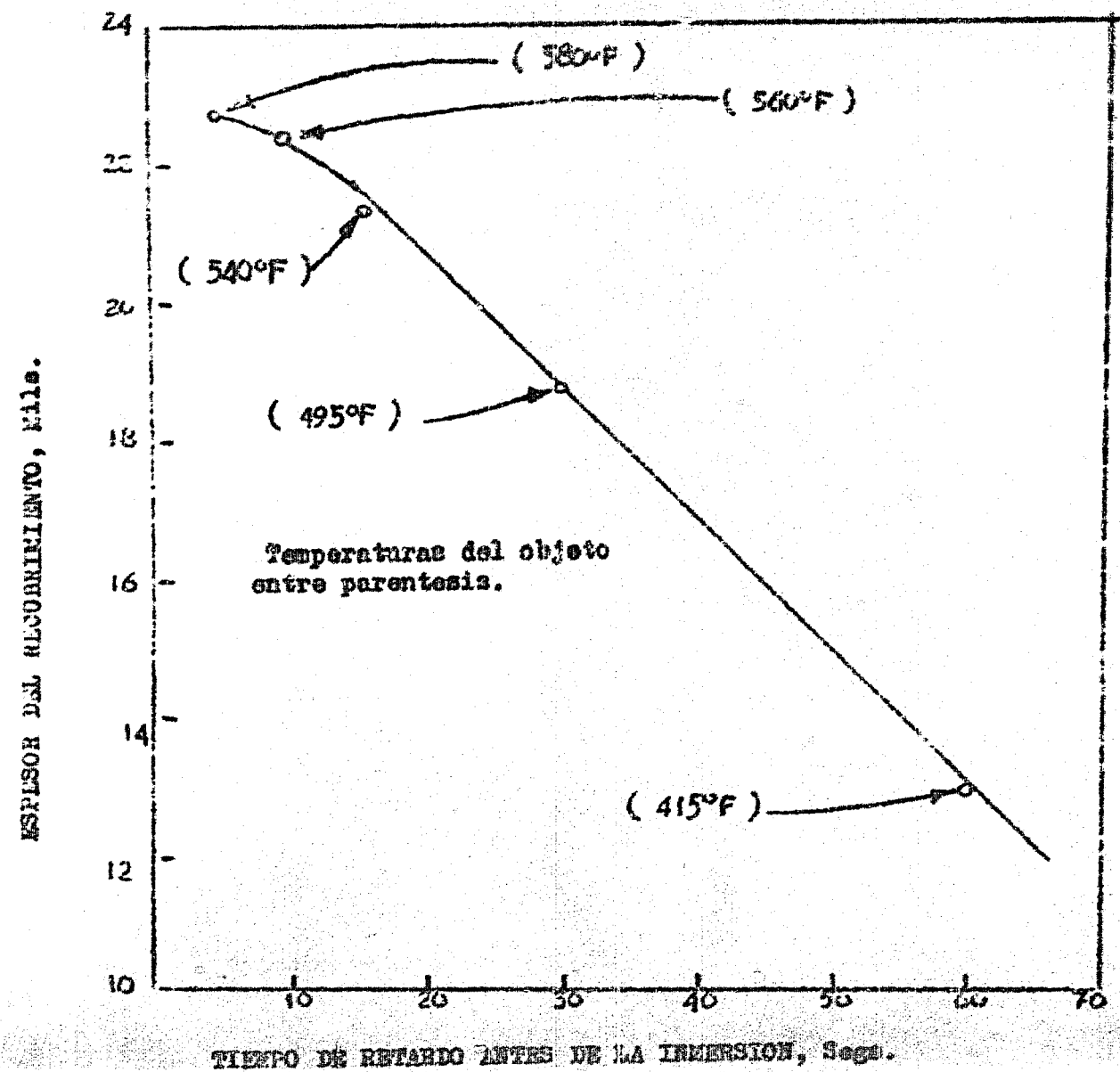


Fig. 5 Efecto del tiempo de retardo antes de la inmersión en los espesores del recubrimiento obtenido. Para esta gráfica se usaron las condiciones del experimento 4 de la Tabla II.

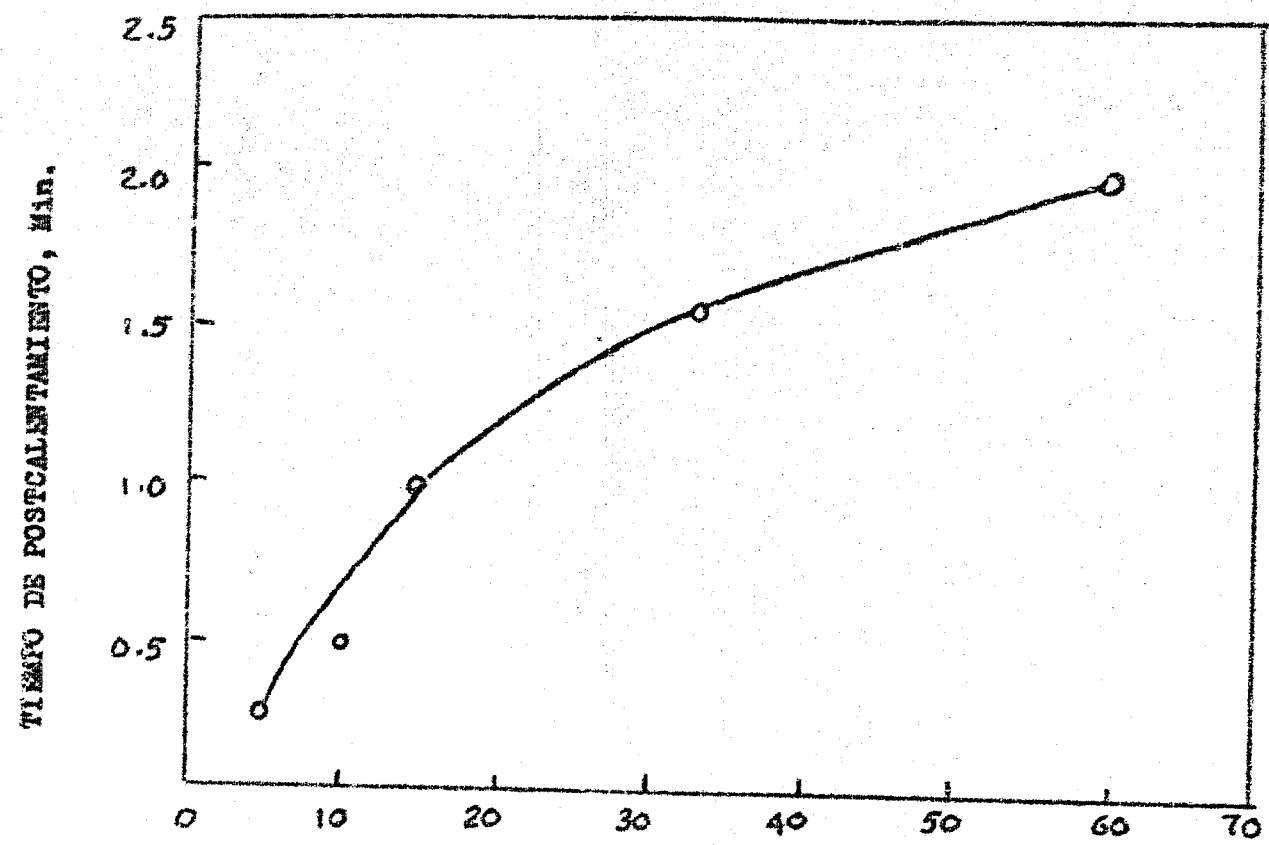


Fig. 6. TIEMPO DE RETARDO ANTES DE LA INMERSION.

Aumentando el tiempo de retardo antes de inmersión del objeto en el lecho fluidizado aumentará el postcalentamiento necesario para completar la fusión del recubrimiento después de la inmersión. El tiempo de precalentamiento fué de 6 minutos y el tiempo de inmersión de 10 segundos. Las otras condiciones fueron las del experimento 4 de la tabla II.

MÉTODOS DE CALENTAMIENTO.

El mismo Pettigrew (13) hizo algunos experimentos para demostrar las temperaturas del horno y el tiempo de calentamiento para producir las temperaturas de los objetos. En la gráfica de la figura 15 se ilustran las velocidades de calentamiento y enfriamiento para unas placas de acero rodado en frío de $3" \times 4" \times 1/16"$. Estas se calentaron en un horno de tiro forzado de temperaturas variables y después se enfriaron con aire a temperatura ambiente. Como se pensará hay muchas combinaciones para producir la temperatura del objeto.

Por ejemplo, si la temperatura del objeto deseada es de 350°F. , la gráfica ilustra 4 condiciones de calentamiento y retardo que pueden dar a esta temperatura. Como se podrá ver hay un número infinito de posibles condiciones para obtener la misma temperatura. Como por ejemplo, la curva que representa el calentamiento con el horno puesto a 700°F. , permite un retraso de 1.8 min. para manipular la muestra del horno al lecho fluidizado. Pero por otro lado la temperatura a la que está el horno no es la adecuada si es que la muestra tiene un imprimador orgánico y éste se degrada a esa temperatura. El uso de este imprimador así vez determine el uso del horno a 600°F y con un retardo al lecho de 1.5 min. para mantener la temperatura del objeto a aproximadamente 350°F.

En la gráfica B se ilustran las velocidades de calentamiento y enfriamiento de unas placas de acero rodado en frío de $3" \times 4" \times 1/4"$ calentadas en el mismo horno y enfriadas a temperatura ambiente.

El tiempo que está la placa dentro del horno en este caso es mucho mayor, porque la placa es cuatro veces más gruesa; por lo tanto los tiempos de retardo pueden ser más grandes pues la placa se enfriará más lentamente.

Las velocidades de calentamiento para las placas de muestra se ilustran en las gráficas A y B, solo son útiles para el horno de prueba que se usó. La habilidad de calentamiento de cada horno varía y depende de varios factores.

Para la gráfica A se usó una placa de $1/16"$ de espesor y llegó a la temperatura que tenía el horno en 6 minutos; todas estas pruebas se hicieron en el mismo horno, que era uno de tiro forzado calentado eléctricamente. La velocidad del aire en el horno era de 300 pies/min. y se usó una potencia de calentamiento de 18 Kw.

Se probaron varios hornos para mostrar la variación de su habilidad de calentamiento. En la tabla III se presentan estos datos.

TABLA III.-Tiempo de calentamiento necesario para que una placa de acero de 3" x 4" x 1/16" llegue a la temperatura del horno en varios tipos de éstos.

Dimensiones interiores del horno, Pulg.	Calentador Kw.	Velocidad del aire pies/min.	Tiempo de calentamiento, minutos.
24 x 24 x 24	18.0	300	6.0
18 x 15 x 15	8.0	175	7.0
24 x 24 x 24	24.0	400	4.0
12 x 12 x 13	1.5	400	6.0
16 x 18 x 19	3.6	150	8.0
20 x 20 x 20	12.4	300	6.0
20 x 20 x 20	18.4	300	6.0

Los aparatos de calentamiento que se pueden usar para recubrimientos por lecho fluidizado, son del tipo de tiro forzado, éstos pueden calentarse eléctricamente, o por gases indirectos de combustión.

" INMERSION "

La operación de inserción es quizá la fase menos entendible del proceso. En algunos sistemas comerciales los operadores sumergen los objetos a mano, y dichos operadores deben considerarse como verdaderos artistas. Es muy difícil calcular las acciones que hacen a mano para recubrir los objetos y obtener buenos resultados; sin embargo, estudios técnicos de la operación de inserción pueden aportar las bases para el diseño de máquinas de inserción completamente automáticas que suplanten a los operadores.

Grehre ha descrito los parámetros que influyen en la uniformidad de la fluidización. Ha investigado el efecto en la rapidez y espesor del recubrimiento, del tamaño de la partícula, temperatura de inmersión, tiempo de inserción, velocidad del gas y la densidad del lecho fluidizado; el equipo que usó en el curso de esta investigación, se muestra esquemáticamente en la fig. 7. Para evaluar el recubrimiento, Grehre seleccionó una figura simple pero representativa como lo muestra la Fig. 8. Este medio cubo se hizo de lámina de cobre de 1/16" de espesor, que se cortó y dobló para que hubiera una variedad de curvas y rincones agudos como también superficies planas para que se recubrieran. Para desgrasar y limpiar la superficie antes de recubrirla, se usaron técnicas simples; no se emplearon tratamientos ni imprimadores.

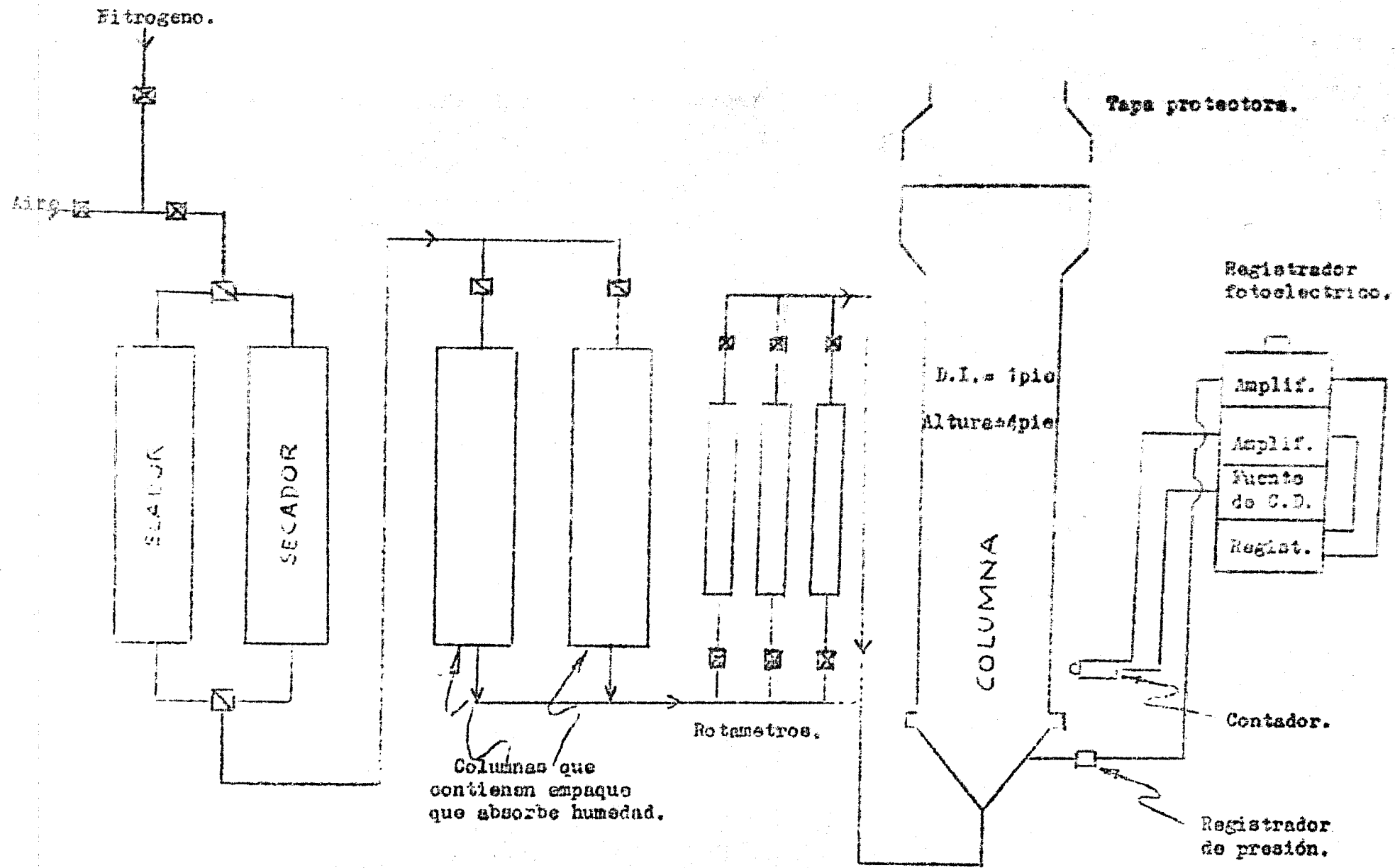
Para esto se usó la resina epoxi Spon 1004. Este material se molió al tamaño de partícula apropiada en un molino Fitzgerald; después se separó el polvo en un separador centrífugo, la distribución del tamaño de la partícula se mantuvo entre límites estrechos.

Del 75% al 80% de las partículas fueron del tamaño reportado. La distribución fué asimétrica cerca de esos valores. Los tamaños de partícula investigados fueron de 580, 350, 125 y 25 micrones.

El procedimiento experimental es el siguiente:

Después de secar, limpiar y pesar la muestra que fué recubierta se calentó en un horno de temperatura constante, después del calentamiento, las muestras se bajaron al lecho fluidizado por un tiempo especificado y se secaron. (El exceso de polvo se soplo de la superficie plana con una pistola de aire). El grosor promedio de la película, se determinó por peso, y la distribución del grosor se determinó con un micrómetro.

El sistema fué fluidizado por varias horas antes que las muestras fueran recubiertas, para asegurar estabilidad y reproducibilidad. Para cada experimento se registraron los datos de: recubrimientos, rapidez del



- ☒ Valvulas de compuerta.
- ☒ Valvulas de aguja.

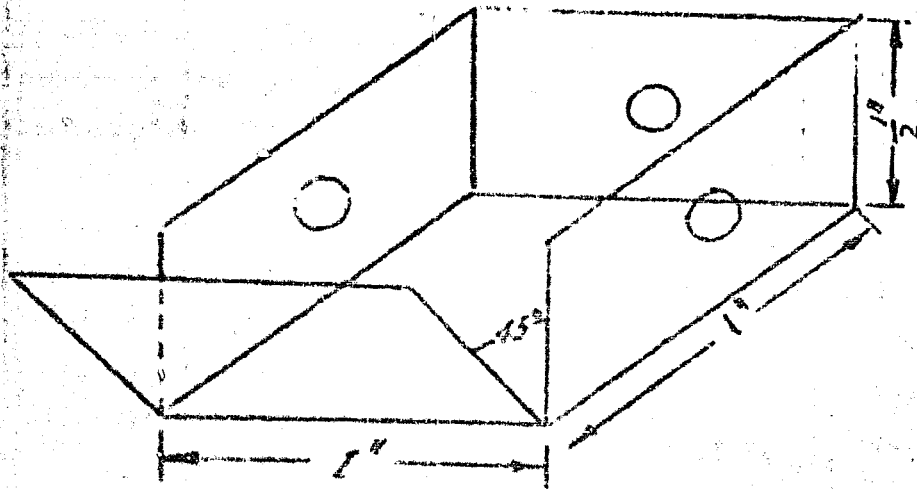


Fig. 8 Objeto usado para investigar el recubrimiento por lecho fluidizado. Se hizo doblando una lámina de cobre en la forma indicada. No se pegó ni soldó.

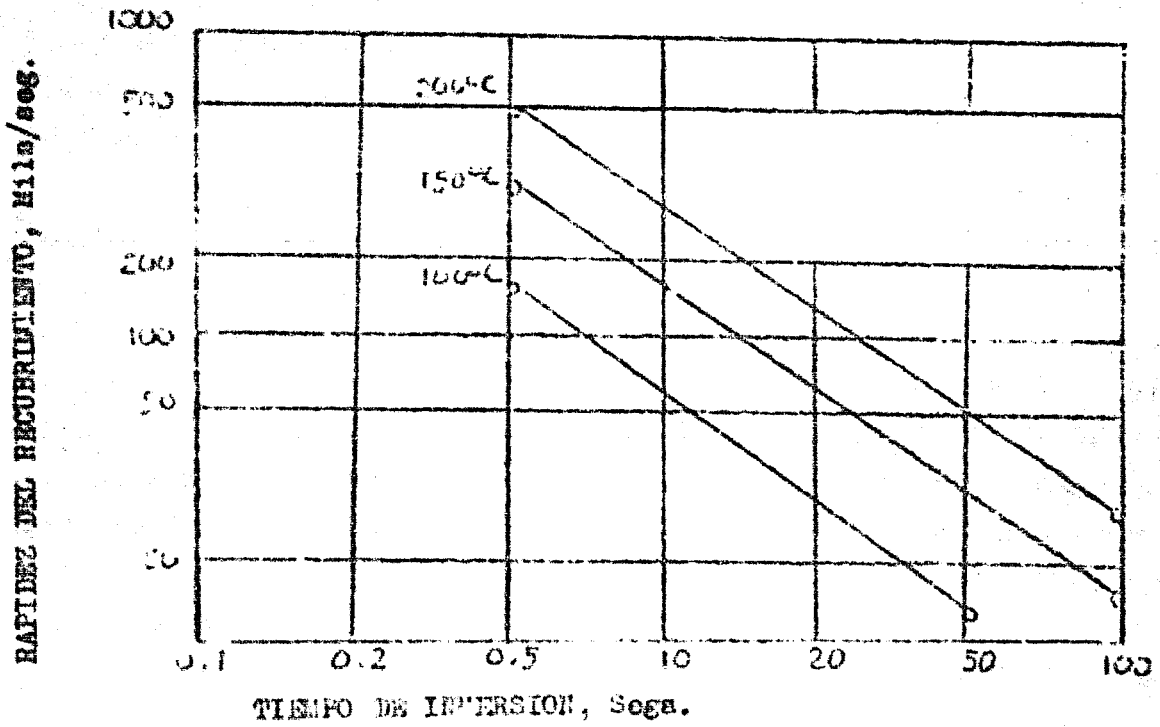


Fig. 9 Rapidez del recubrimiento en función del tiempo de inmersión a tres diferentes temperaturas de inmersión.

flujo, rapidez del gas, altura del lecho, baja de presión, variación y densidad del lecho y tamaño de partícula. Las muestras se sumergieron en el centro geométrico del lecho: el tiempo y la temperatura de inmersión se investigaron en condiciones constantes de fluidización.

En la investigación se vió que la uniformidad del recubrimiento del sistema fluidizado se relacionaba con la uniformidad del recubrimiento resultante; se vió que dentro de unos límites dados de velocidad del gas, y cuando éste se distribuyó sobre la sección de la columna.

Se mantuvo una suspensión uniforme de polvo. Todos los recubrimientos los aplicó en estas mismas condiciones.

En condiciones constantes de fluidización, el tiempo de inmersión y la temperatura controlan la rapidez con que se aplica el recubrimiento. En la figura 9 se representa la rapidez del recubrimiento en función del tiempo de inmersión, a 3 temperaturas de inmersión. Estas 3 curvas pueden ser descritas por la ecuación siguiente:

$$C = K t^{-a} \text{ (Ecuación 1)}$$

C = Rapidez del recubrimiento.

a = Pendiente de la recta.

t = Tiempo de inmersión, segundos.

La velocidad del gas fué de 28 pies/min. que fué la necesaria para iniciar la fluidización, y a ésta nos referiremos como la velocidad mínima de fluidización, V_{mf} . Las pendientes de estas rectas son idénticas y tienen el valor de 0.97. Por lo tanto la relación es casi lineal. Si se investigan intervalos de tiempo más cortos, la relación exponencial no se adapta como se puede ver en los datos de Chekol y Geamer. Sin embargo, los datos de Buchmans que cubren un rango de tiempo más amplio, muestran una desviación de la linealidad. Si se examina la ecuación se verá que la constante "K" es igual a la velocidad del recubrimiento cuando el tiempo de inmersión de un segundo.

Por lo tanto escribiendo esta ecuación en forma diferencial nos queda:

$$\left(\frac{\partial L}{\partial t} \right)_T = L_1 t^{-a} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde L = espesor a cualquier tiempo t, milésimas de pulgada.

L_1 = Espesor cuando t es igual a 1 segundo, milésimas, y la letra T significa temperatura constante.

Integrando entre límites de espesores L_1 y L_t milésimas y tiempos de l y t segundos. Se arregla y nos produce la simple expresión:

$$\frac{L_t t}{L_1} = t(1 - \alpha) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Sin embargo "a" tiene un valor de 0.97. Por lo tanto la ecuación 3 nos dice que las exposiciones mayores de un segundo, no producen aumentos significativos en el espesor. En la figura 10 se muestra el efecto de la temperatura de inmersión y la rapidez del recubrimiento. La rapidez del recubrimiento es directamente proporcional a la temperatura de inmersión. En esta gráfica se puede ver que las pendientes de estas rectas difieren. Cuando el tiempo de inmersión aumenta, la pendiente decrece y a 10 segundos la recta tiene una pendiente muy pequeña. — Este último efecto es fácilmente predecible de la ecuación 3. Se puede ver que las rectas convergerán, la rapidez del recubrimiento, será 0 — cuando la temperatura de inmersión se haga menor que la temperatura a la cual se adhieren las partículas a la superficie calentada. Por lo tanto es razonable postular que la rapidez del recubrimiento es igual a:

$$\left(\frac{\partial L}{\partial t}\right) = \alpha (T - T_{(m-1)})$$

Donde $\alpha = f(t)$ pero es constante a t ,

T = Temperatura de inmersión, °C.

$T_{(m-1)}$ = Temperatura menor que la requerida para adherirse °C.

La expresión matemática exacta donde $\alpha = f(t)$ no se ha derivado, — por lo tanto, la integración de la ecuación 4 no es posible, ni es necesario obtener más información del mecanismo del proceso porque la variación de la rapidez del recubrimiento con el tiempo es conocida.

Estas dos figuras (9 y 10) muestran que la rapidez del recubrimiento sigue muy de cerca a la rapidez del enfriamiento de la muestra. La rapidez del recubrimiento es mayor cuando la temperatura es mayor y a tiempo de inmersión cortos. También es obvio que la velocidad de recubrimiento, es más sensitiva a la temperatura y a tiempos de inmersión cortos que a largos, es posible mayores velocidades de recubrimiento, y resolviendo la relación $\alpha = f(t)$, permitirá la derivación de la ecuación para la rapidez de recubrimiento y espesor como función del tiempo y de la temperatura de inmersión.

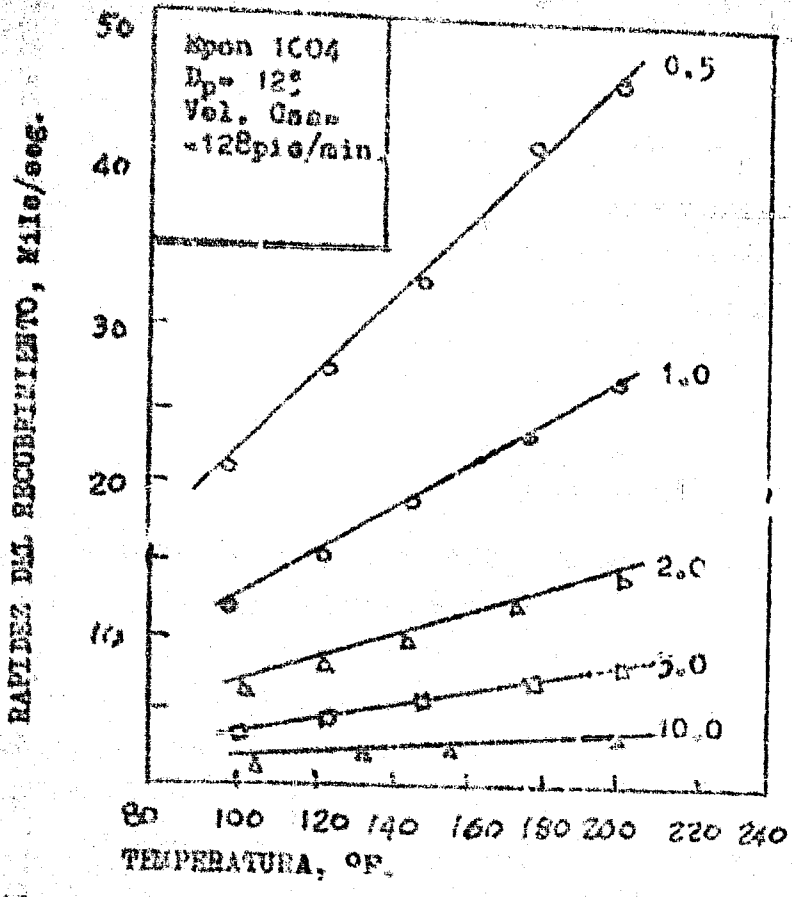


Fig. 10.

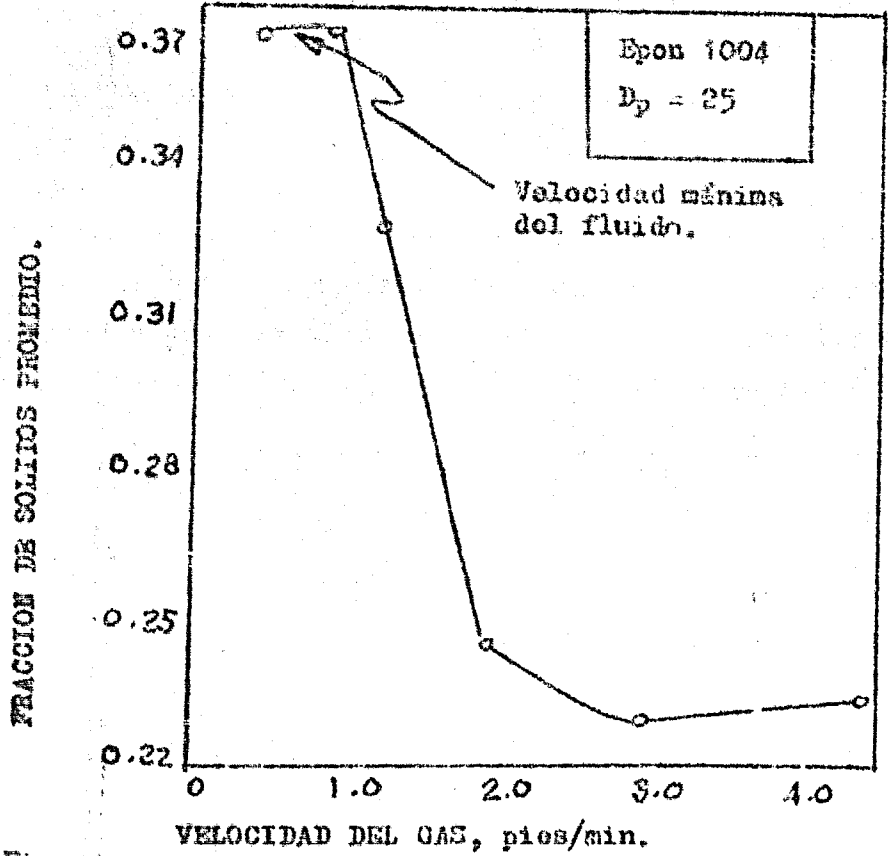


Fig. 11.

VARIABLES DE LA FLUIDIZACION.

La figura 11 muestra el efecto de la velocidad del gas superficial en el promedio de sólidos fraccionados en la columna (1-). Que es igual a la relación de la densidad en masa del sistema fluidizado con la densidad teórica sólidos; por ejemplo:

$$(1 - \epsilon) = \frac{\rho \beta}{\rho_s} \quad (\text{Ecuación 5})$$

La curva muestra que un cierto rango de velocidad la cantidad de material por unidad de volumen cambia muy rápidamente. El efecto del espesor en el recubrimiento se muestra en la figura 12 aunque el rango de velocidad no es tan amplio como en la figura 11, se ve que ambas curvas son similares y que el espesor del recubrimiento es muy sensible con la concentración de la partícula.

Entonces, una fluidización uniforme es el requerimiento más crítico para el depósito de recubrimientos uniformes y reproducibles.

Utilizando cantidades conocidas y medidas, la concentración de la partícula a cualquier tamaño de esta se puede graficar en función de cualquier velocidad del gas. (La concentración de partículas es numéricamente igual a la densidad en masa del lecho fluidizado dividido entre el peso de una partícula). Entonces la concentración de la partícula P , puede correlacionarse con cualquier espesor o con una cantidad relacionada al número de capas, como en la figura 13. Esta correlación cubre un rango de tamaños de partícula de 25 a 560 micrones, velocidades del gas desde 0.66 a 28.1 pies por minuto, espesores de 11.5 a 28 milésimas de pulgada y fracciones sólidas desde 0.23 a 0.67. La desviación estándar a lo largo de la abscisa es de 1.1. La ecuación que representa la recta es:

$$\text{Log} \left(P D_p^2 \left(\frac{V_{mf}}{V} \right) \right) = \gamma \text{Log } L + \text{Log} \beta \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde P = Concentración de la partícula, partículas/cm³.

D_p = Diámetro equivalente de partícula, micrones.

V_{mf} = Velocidad mínima de fluidización, pies/min.

V = Velocidad actual, pies/min.: y β y γ son constantes.

Esta ecuación relaciona la velocidad del gas, tamaño de partícula y

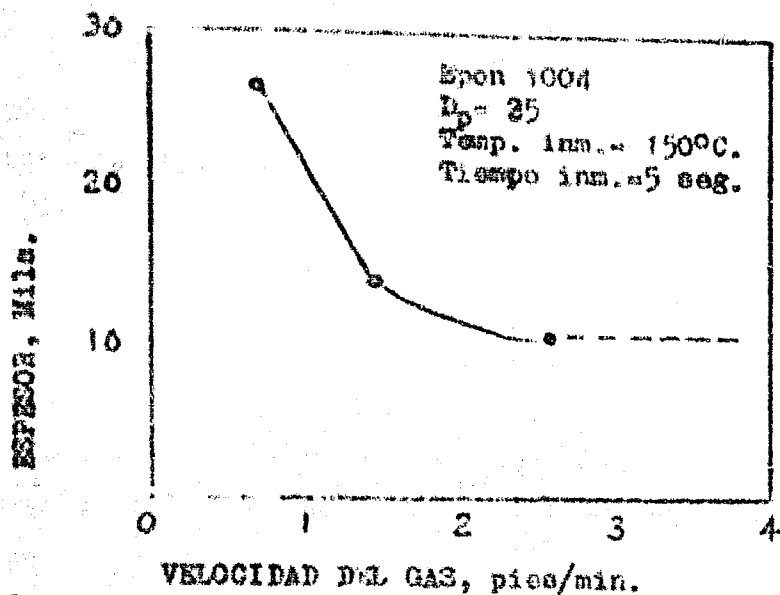


Fig. 12.

Efecto de la velocidad del gas fluidizante en el espesor del recubrimiento formado. La temperatura y el tiempo de inmersión fueron como se indican.

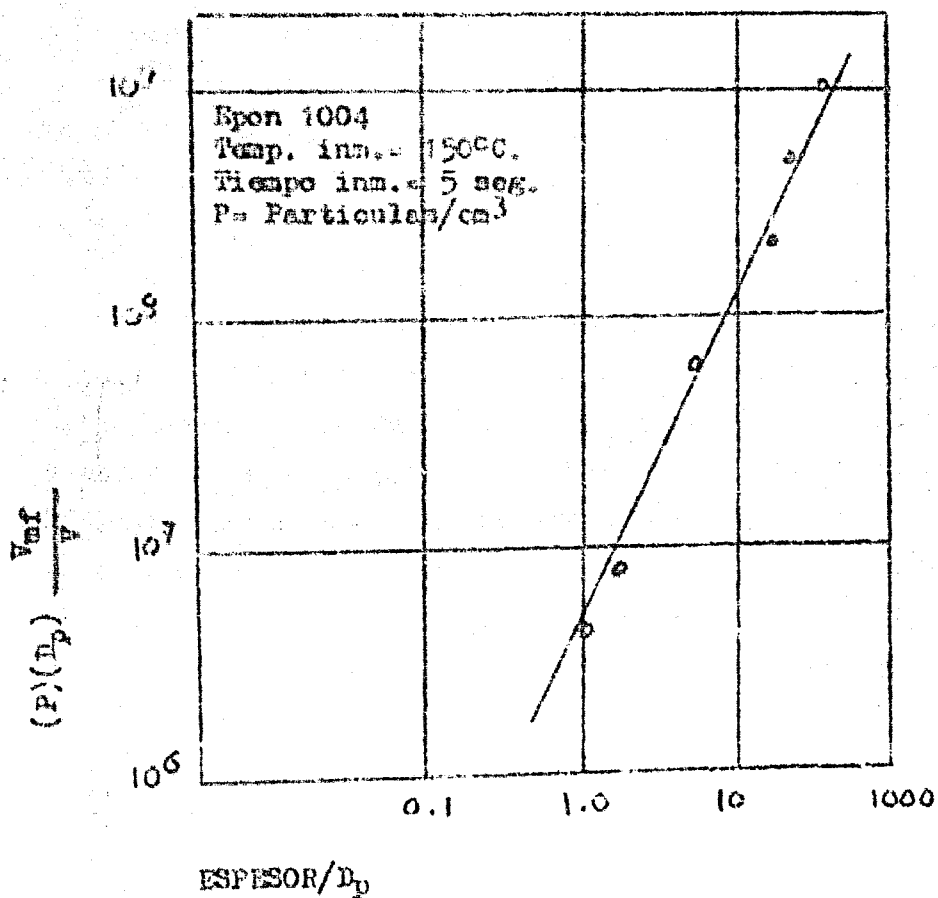


Fig. 13

Gráfica que describe las relaciones entre el espesor del recubrimiento, concentración de partícula (D_p), velocidad mínima del gas fluidizante (V_{mf}) y la velocidad del gas fluidizante (V).

densidad del lecho al espesor del recubrimiento a unos tiempos y temperaturas de inmersión dados. En un sentido, la ecuación 6 es una correlación de diseño del proceso. D_p y V_{mf} son constantes. Sin embargo, V_{mf} es dependiente de D_p en un sistema dado. Similarmente, P y V son variables controlables pero totalmente independientes una de la otra. Cuando V aumenta P decrece hasta un límite, Fig. 10. El espesor L es la variable dependiente. Su magnitud es determinada por la combinación de parámetros a temperaturas y tiempos de inmersión constantes. No se ha hecho una extensión de esta ecuación para incluir los efectos del tiempo y la temperatura.

El tamaño promedio de la partícula afecta la velocidad mínima del gas requerida para la fluidización como también la densidad en masa del sistema fluidizante. Operando la columna a la V_{mf} para cada tamaño de partícula, el objeto previamente descrito se sumergió por 5 segundos a tres temperaturas y se midieron los espesores del recubrimiento acumulados.

En la figura 14 se han aplicado logarítmicamente tres isotermas de recubrimiento, por 100, 150 y 200°C.

A cada temperatura el espesor decrece cuando aumenta el tamaño de la partícula. Las pendientes negativas varían con la temperatura. A 200°C. el espesor varía muy poco con el tamaño de la partícula en cambio la dependencia es muy marcada a 100°C.

Una explicación razonable de estos efectos esta basada en la teoría de la transferencia de calor. Las partículas pequeñas llegarán a su temperatura de fusión más rápido que las partículas grandes porque su relación de superficie a volumen es mas grande. Cuando el gradiente térmico es pequeño como en el caso de temperaturas de inmersión bajas solo un número limitado obtendrán la temperatura necesaria para adherirse, por lo tanto, se depositarán mucho más partículas pequeñas que grandes.

También una capa de partículas pequeñas es mucho más delgada que una capa de partículas grandes, como resultado, la barrera térmica impuesta por el depósito de partículas pequeñas es relativamente baja, la capa delgada tiene fácilmente la temperatura requerida para la deposición; y mas partículas se fusionan y se adhieren, lo contrario ocurre con las partículas grandes. En este caso su relación de superficie a volumen es baja

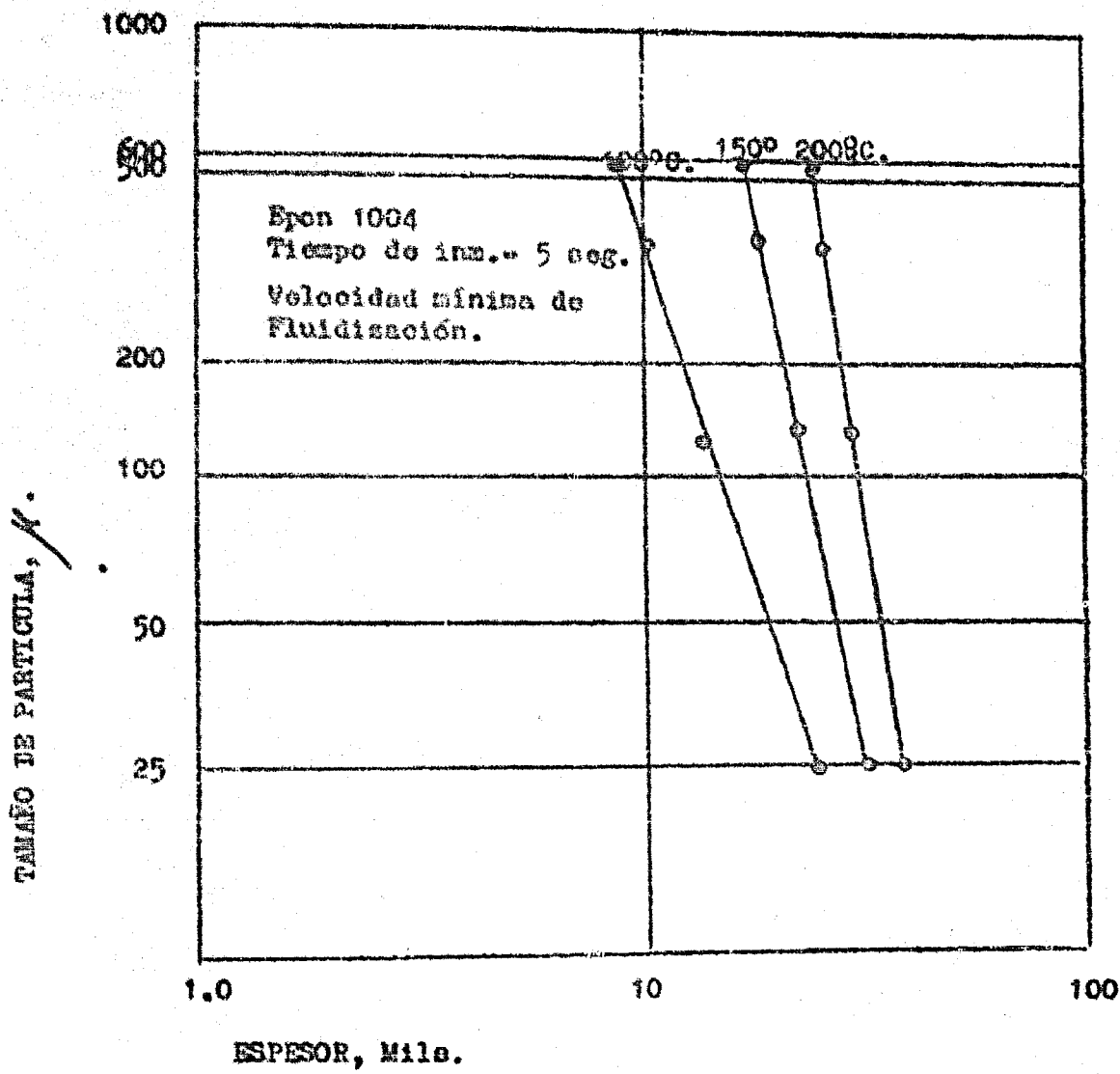


Fig. 14 Efecto del tamaño de partícula en el espesor del recubrimiento
 a espesores se depositaron a tres temperaturas de inmersión.

Fig. 15-A.

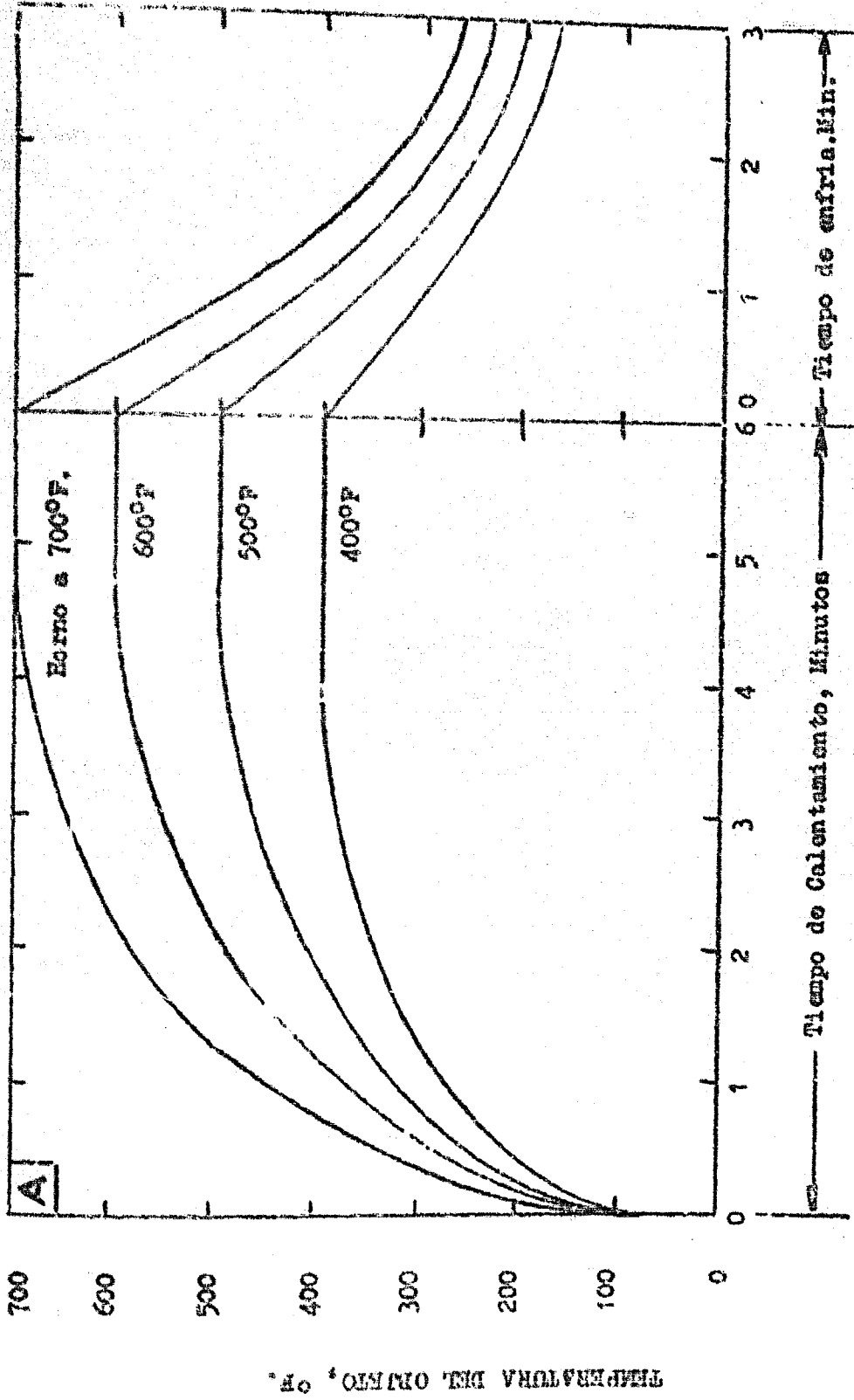
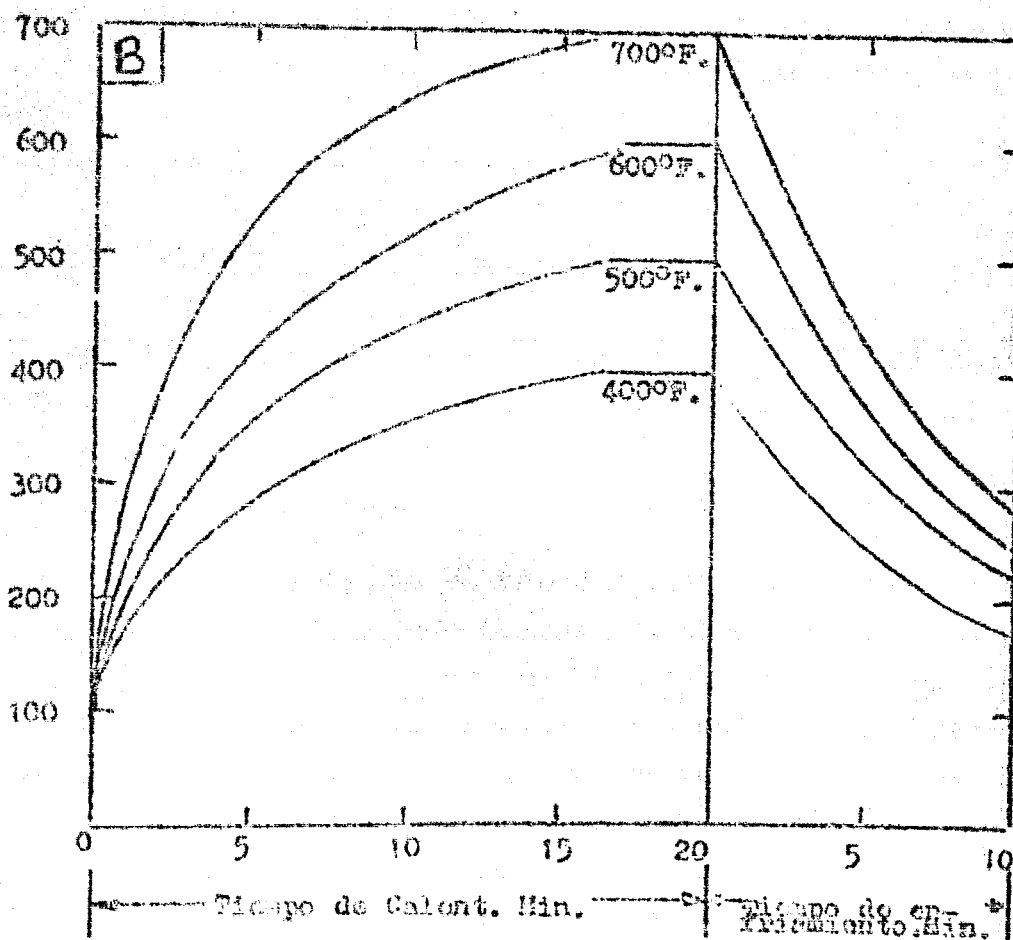


Fig. 15-B.

TEMPERATURA DEL OBJETO, OF.



se necesita más calor para fusionarlas y su barrera térmica de una sola película es mucho mayor. El resultado neto es una capa más delgada sin descontar el hecho que una sola capa de partículas grandes es más gruesa - que una capa de partículas pequeñas. Por lo tanto a gradientes térmicos - relativamente bajos (temperatura de inmersión) la transferencia de calor - juega un papel muy importante en el proceso de deposición.

El mismo razonamiento se emplea cuando se aplican gradientes térmicos altos. Allí hay más que suficiente calor para fusionar ambas partículas, grandes y pequeñas. El espesor de la capa de plástico se forma - rápidamente en ambos casos, extrayendo calor del objeto que se está cubriendo. Como los polímeros son notoriamente pobres conductores de calor y la temperatura de la superficie exterior de la película depositada continuará a disminuir cuando el espesor aumente hasta que llegue a un espesor que - tenga una temperatura menor que la requerida para la deposición y el recubrimiento cesará. Una vez más las partículas pequeñas requieren menos calor que las grandes para la deposición, por lo tanto todavía hay una pequeña dependencia del espesor, en el tamaño de la partícula aún a temperaturas de inmersión más altas.

La expresión matemática será:

$$L_T = K D_p^{-b} \quad (\text{Ecuación ?})$$

L_T = Espesor isotérmico a tiempo constante de inmersión, milésimas.

D_p = Tamaño promedio de partícula, milésimas.

K = Constante empírica.

b = Pendiente que depende de la temperatura de inmersión.

Los efectos de las variables de fluidización en el proceso de recubrimiento, se han comportado independientemente en el espesor y la rapidez del mismo, sin embargo, se han relacionado con su espesor: la concentración de la partícula, tamaño de la misma, velocidad mínima de fluidización y la velocidad superficial del gas, para dar una gráfica junto con una ecuación del diseño del proceso. No se ha derivado una sola correlación en que todas las variables aparezcan. Un conocimiento de la manera en que la pendiente de la gráfica, rapidez del recubrimiento, temperatura de inmersión, varía con el tiempo de inmersión, permitirá la derivación de una ecuación para la rapidez y espesor del recubrimiento en términos de ambas variables.

Los resultados infieren que ambos parámetros juegan o no juegan un papel importante en el proceso de deposición dependiendo de las condiciones operatorias que prevalezcan.

Entonces a tiempos de inmersión relativamente grandes y gradientes térmicos altos, el tamaño de la partícula tiene poco efecto en el espesor total depositado. En un lecho fluidizado expandido grandemente, el espesor se hace independiente de la velocidad del gas, porque la concentración de la partícula por unidad de volumen se hace constante, excepto que la velocidad de la partícula por unidad de volumen se haga constante, y también exceptuando que la velocidad de la partícula pueda aumentar.

La rapidez del recubrimiento decrece al aumentar el tiempo de inmersión independientemente de la temperatura de inmersión. Integrando la ecuación adecuada, imponiendo límites adecuados, muestra que más allá que el tiempo de inmersión de un segundo el espesor del recubrimiento aumenta muy lentamente.

La operación de inmersión es tal vez la menos entendible del recubrimiento por lecho fluidizado.

En algunos sistemas comerciales donde el operador sumerge el objeto manualmente, éstos deben considerarse como artistas.

Es difícil relacionar sus movimientos para obtener los resultados que obtienen. Sin embargo, haciendo un estudio de tiempos y movimientos de la operación de inmersión, se pueden obtener las bases para el diseño de máquinas de inmersión completamente automáticas que suplanten a los operadores.

Las variables principales en el recubrimiento por lecho fluidizado de algi plástico en polvo, son el tiempo a que debe estar expuesto el objeto al polvo plástico, el movimiento que se le debe dar al objeto en relación al lecho fluidizado.

Alguna variación en el tiempo de inmersión influye en el espesor del recubrimiento. La capa de plástico se forma rápidamente mientras el objeto está en contacto con el polvo.

Para ilustrar esto, C. K. Pettigrew (13) hizo algunas pruebas en placas de acero que recubrió; y estudió el espesor del recubrimiento en función del tiempo de inmersión a diferentes temperaturas. En la Fig. 16 se representan los resultados de estas pruebas que usó las condiciones del experimento 5 de la tabla II.

Los espesores para la serie de precalentamientos a 350°F., están puntuados porque la película formada fue discontinua.

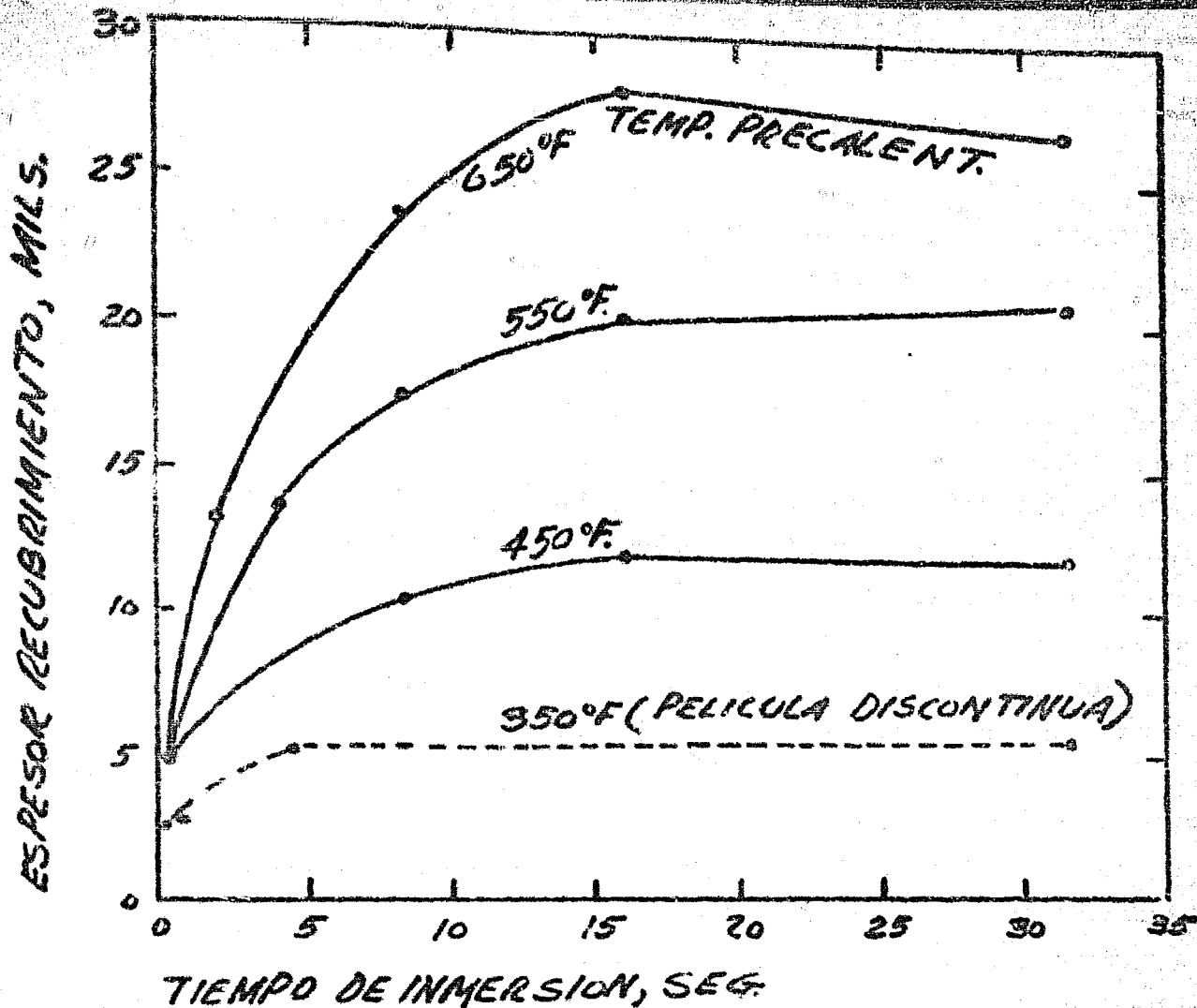


FIG. 16

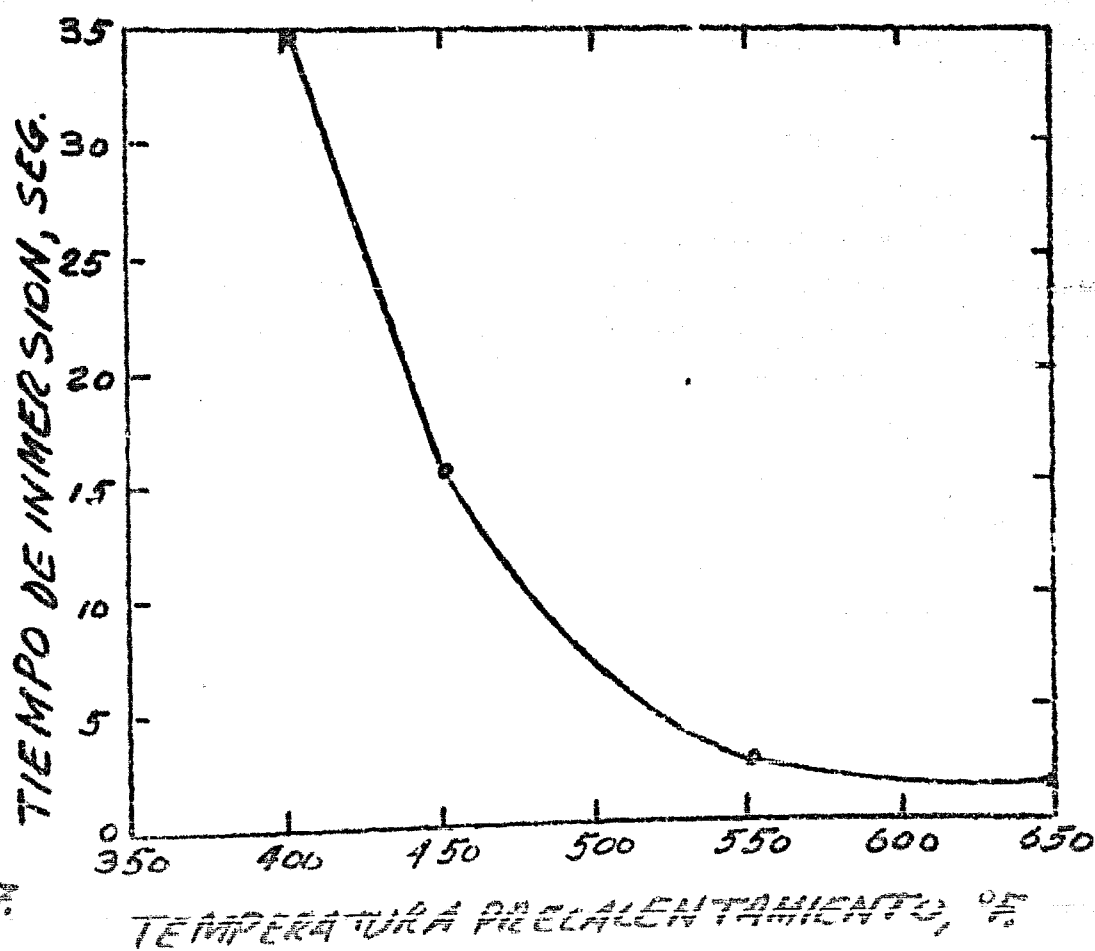


FIG. 17

A ciclos de precalentamiento de 450, 550 y 650 °F., la mayoría de los recubrimientos fueron continuos. Hay un tiempo máximo de inmersión fácilmente advertible, que al excederse no se obtienen recubrimientos más gruesos.

En las curvas con tiempos de inmersión de más de 16 segundos, se hacen rectas paralelas. No se aplica mayor espesor de recubrimiento porque la energía calorífica en este punto, no es suficiente para proveer una adhesión suficientemente fuerte para resistir el momento de otras partículas en polvo chocando sobre la superficie de la película. Por lo tanto, las partículas poco adherentes se quitan de la superficie mientras el objeto está sumergido; pero también puede suceder que se obtenga una erosión de la superficie al aumentar el tiempo de inmersión, resultando recubrimientos más delgados en función del tiempo de inmersión. La pendiente de estas curvas es mayor a tiempos de inmersión cortos.

Hay una gran variación en el espesor del recubrimiento aplicado a diferentes tiempos de inmersión. Por ejemplo a 550°F. un tiempo de inmersión de 20.5 Seg. obtiene un espesor de recubrimiento de 9 a 11.5 milésimas de pulgada. A temperaturas mayores el rango es mayor. (A 650°F. de precalentamiento se obtiene en espesores de 11.5 a 15 milésimas de pulgada). Es usualmente necesario hacer lo más baja posible la temperatura del objeto para minimizar los efectos de la variación del tiempo de inmersión; se pueden fácilmente interpolar los datos de una gráfica de este tipo para otras temperaturas de precalentamiento. Registrando la misma información como se muestra en la Fig. 17, se obtiene una gráfica que se puede usar para estimar las combinaciones de la temperatura de precalentamiento y tiempo de inmersión necesarias para obtener un espesor de recubrimiento determinado. Generalmente estos datos no son adecuados para obtener un rango tan amplio de temperaturas de precalentamiento.

UNIFORMIDAD DEL ESPESOR.

Quando se recubren objetos largos y se ponen en posición vertical, uno esperará en tener dificultades en obtener un control adecuado a la uniformidad del espesor desde la parte más baja a la más alta del objeto. El tiempo de exposición en el lecho fluidizado en la parte más alta del obje-

to al polvo será diferente al de la más baja; esto depende de la longitud del objeto, el tiempo de inmersión usado, y la rapidez de entrada y salida del objeto en el lecho fluidizado.

Por ejemplo, si un objeto de 10 pies de largo se necesita sumergir 4 Seg., para que el objeto completo quede expuesto al polvo, la parte más baja estará expuesta 8 Seg. más que la parte más alta. Se esperará que en la parte más baja se produzcan recubrimientos más gruesos que en la parte alta. Esto podría acentuarse cuando se necesitase aplicar recubrimientos delgados con pocos tiempos de inmersión.

Afortunadamente hay varios métodos para prevenir recubrimientos uniformes, aún el caso de condiciones extremas. Es posible limitar la temperatura del objeto a aquella que da el espesor del recubrimiento deseado sin importar el tiempo de inmersión. Nótese en la Fig.16 que se obtiene en la placa un espesor de 12 milésimas a un precalentamiento de 450°F., usando tiempos de inmersión de 16 a 32 Seg.

De cualquier sección de un objeto de similar longitud que esté expuesto al polvo por lo menos 16 Seg., se obtendrá una capa de milésimas. No se afectará si se usan tiempos de inmersión más grandes.

También se puede ganar algún control en la uniformidad del espesor, aumentando el movimiento del objeto. Los objetos que se muevan rápidamente obtendrán recubrimientos más delgados como se verá después.

Usando una técnica para controlar la temperatura, arro un interesante fenómeno. Cuando el objeto se sumerge en el lecho de algo de su calor al mismo lecho. Algunas de las partículas del polvo, calentadas por radiación o convección, viajan hacia arriba para que finalmente se adhieran a las superficies más altas del objeto haciendo posible que se produzcan recubrimientos más gruesos en la parte alta que la baja. Sin embargo este efecto del polvo caliente no sucederá más arriba de varias pulgadas.

Si se tiene en constante movimiento el objeto, no se alterará el espesor porque siempre habrá un movimiento en relación a las partículas calentadas.

Para estudiar este fenómeno se recubrieron placas de acero en lecho fluidizado, sumergiéndolos verticalmente en 4" de longitud y usando un rango de tiempos de inmersión de 8 a 32 Seg., también se usaron diferentes temperaturas de precalentamiento, y los datos colectados fueron para tempe

turas de 450, 550 y 650°F. Las otras condiciones del experimento se muestran en la tabla II, experimento 5.

Los espesores del recubrimiento se midieron a media pulgada de la parte más alta como de la más baja, y la relación de estos espesores de la parte alta a la baja se graficaron en función del tiempo de inmersión y la temperatura de precalentamiento. (Fig.12).

El punto donde las curvas intersectan a la recta que representan la relación de 1 (No hay diferencia de los espesores tanto de la parte de arriba como de la de abajo) muestra al tiempo de inmersión óptimo para recubrimientos uniformes en estas condiciones.

MOVIMIENTO DE INMERSION.- El movimiento que se le da al objeto mientras está recubriéndose dentro del lecho fluidizado, es el factor más importante para obtener un espesor uniforme en el recubrimiento. Es casi imposible llevar a cabo algunos experimentos para investigar las variables del recubrimiento por lecho fluidizado sin tomar las medidas de seguridad necesarias para prevenir la más mínima variación en el movimiento del objeto. — Por eso todos los objetos que recubrió C. K. Pettigrew (13) para obtener los datos experimentales, utilizó una máquina que controla las siguientes condiciones:

1).- Retardo de precalentamiento a la inmersión.

Se adoptó un micro switch a la puerta del horno de precalentamiento que arrancaba un contador de tiempo en el instante en que se abría ésta para sacar el objeto. El intervalo prefijado (generalmente 10 Seg.) provee al operador de suficiente tiempo para remover el objeto del horno y sujetarlo al accesorio de inmersión. Al final del retardo prefijado, el aparato recubridor sumerge el objeto en el polvo fluidizado.

2).- Rapidez de entrada del objeto en el polvo.

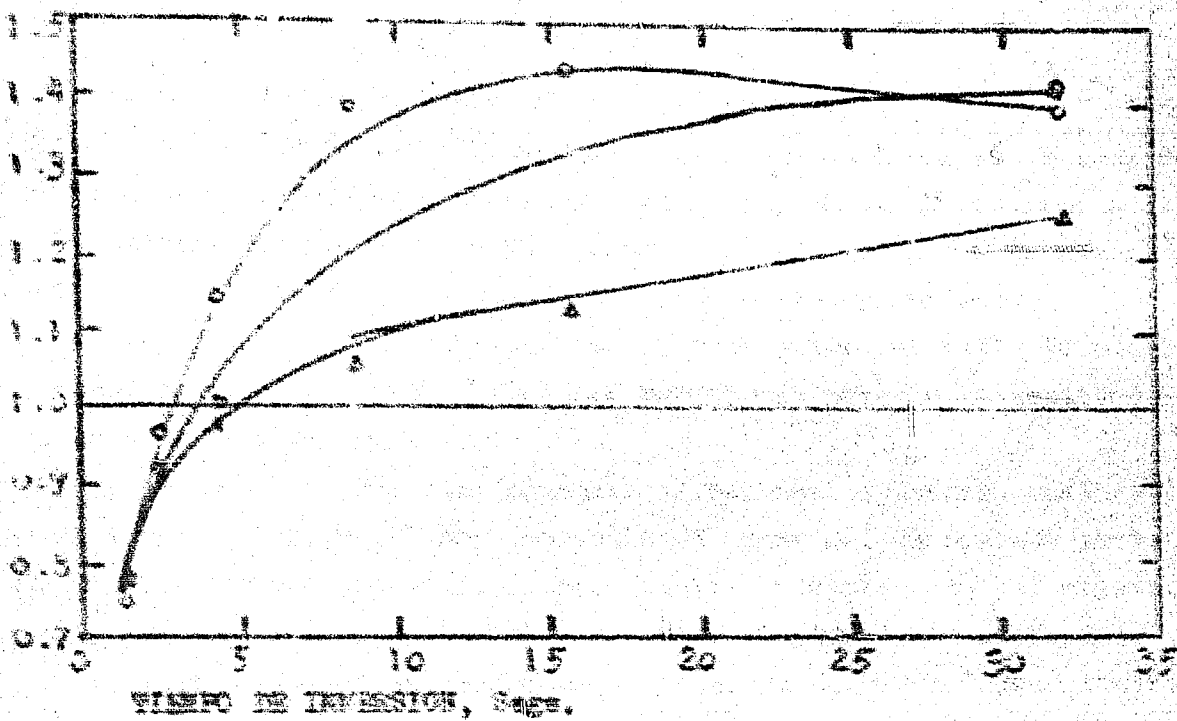
3).- Altitud del objeto.

4).- Movimiento del objeto.- Se usó para proveer al objeto un movimiento ondulatorio en forma de diente, un pistón automático reciprocante operado por aire, que tenía una amplitud fija a 2 Pulg. La frecuencia era ajustable de 0 a 300 ciclos/min., pero se fijó a 180 ciclos/min.

5).- Para el tiempo de inmersión se usó otro tomador de tiempo del tipo "Timer".

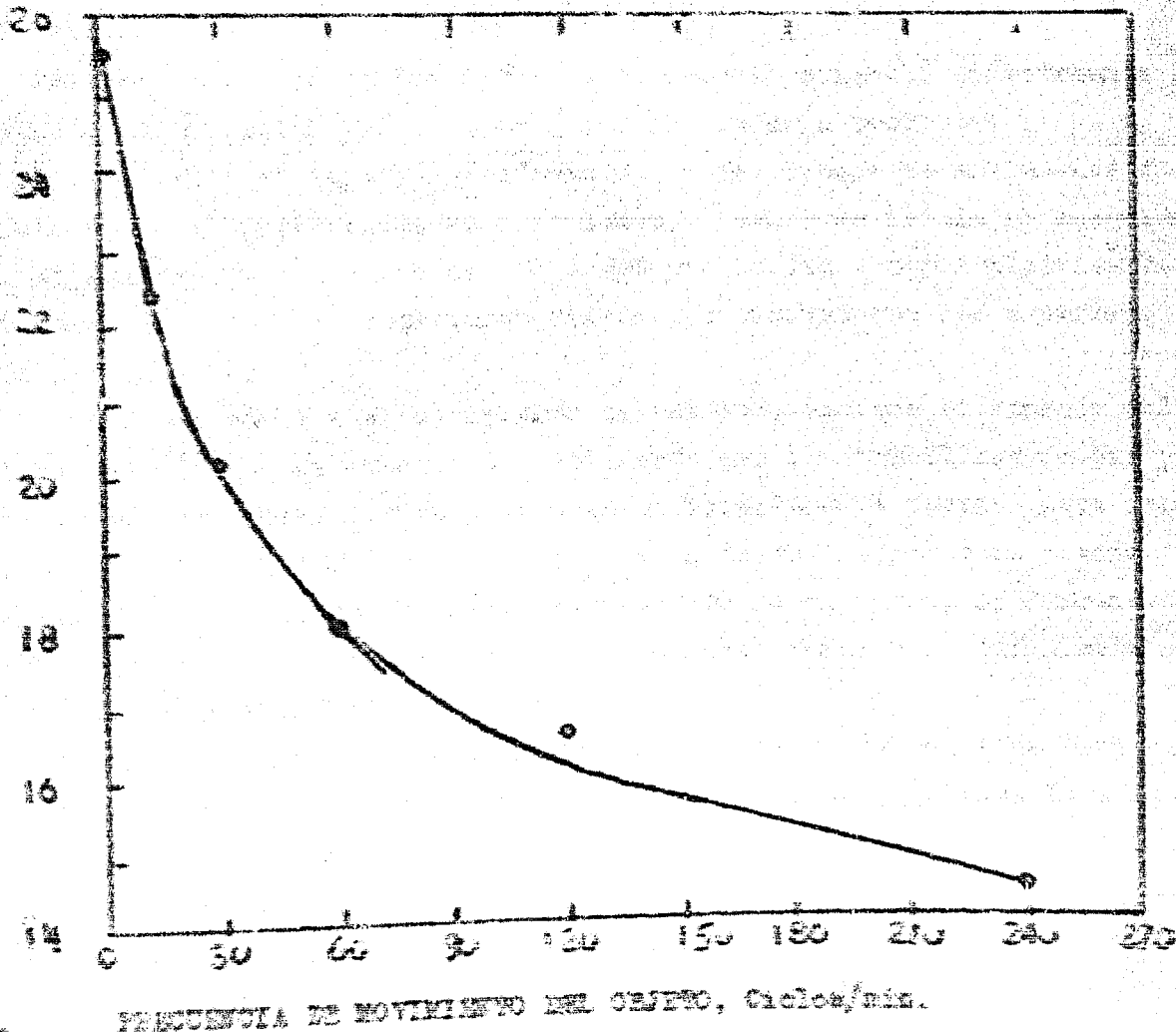
INFLUENCIA DE LOS ESPESORES DEL
RECUBRIMIENTO DE LA PARTE
ALTA A LA BAJA.

Fig. 18



EFECTO DEL RECUBRIMIENTO, MILG.

Fig. 19



6).- Retardo de la inmersión al postcalentamiento.

Se usó un tercer tomador de tiempo, que arranca cuando el tomador de tiempo de inmersión termina. Suena una campana al final de retardo prefijado. La campana ordena al operador abrir la puerta del horno de precalentamiento, para meter el objeto en el horno de postcalentamiento.

Este aparato es extremadamente útil porque provee un medio de controlar y estudiar los efectos de todas las variables, excepto la amplitud — del movimiento del objeto.

No se puede adiestrar adecuadamente al personal operador, hasta el grado de tener un control y reproducibilidad, cosa que el aparato provee.

Se hizo una investigación de la frecuencia de movimiento del objeto, — para estudiar sus efectos sobre el espesor de recubrimiento aplicados.

En este experimento se recubrieron placas de acero usando un movimiento vertical con el objeto en la misma posición. Esto originó cambios en la velocidad de las partículas del polvo en relación al objeto, que podría — afectar el momento de las partículas de polvo cuando se mueven en relación del objeto.

Como se puede ver en los datos, este momento controla directamente la cantidad del material pulverizado que forma la capa recubierta.

En la Fig. 19 se ilustra el efecto de la frecuencia de movimiento del — objeto sobre el espesor del recubrimiento. Cuando se inicia el movimiento del objeto, es generalmente de 100 a 200 ciclos/Min., con amplitudes de 1 a 6 Pulg. Los datos se obtuvieron usando las condiciones del experimento — 5 de la tabla II.

Cuando se aumenta el movimiento del objeto, decrece el espesor del recubrimiento. Esto es causado probablemente por la inhabilidad de las partículas de polvo para formar ligaduras suficientemente fuertes para resistir el movimiento rápido del objeto. Por lo tanto, la película cubriente — formada en el objeto que se mueve rápidamente en el lecho, se compone de — partículas más pequeñas. Las partículas mayores tendrán la suficiente inercia para formar las ligaduras.

Si la capa cubriente se compone de las partículas pequeñas ésta se fusionará para formar un acabado más fino que una capa cubriente formada de las partículas mayores, porque la distancia que las partículas necesitarán para que fluyan será menor.

Las capas cubrientes formadas de las partículas grandes estarán fusionadas por ligaduras más débiles. En consecuencia, en el manejo de poner — el objeto en el horno de postcalentamiento, se caerán del objeto empujadas

de polvo que están débilmente adheridos, resultando un aglutinamiento en el recubrimiento. Las ligaduras débiles también ocasionan puentes en el recubrimiento, es decir, en un objeto completo se forma "puente" entre dos superficies adyacentes, que es otro defecto distinto.

Se hicieron varias pruebas a algunos movimientos del objeto y se vio que si éste estaba fijo, o sea no tenía movimiento, se formaba un aglutinamiento en el recubrimiento. Cuando el objeto se sumergió y se le dio un movimiento de tipo péndulo, se formó un recubrimiento de las partículas grandes que eran espacios de adherirlos con fuerza de adhesión débil por el movimiento del objeto relativamente lento. Y cuando el objeto se sumergió en un movimiento oscilatorio que tenía una frecuencia de 100 ciclos/sin. y una amplitud de 2 Pulg. a lo largo del eje longitudinal, la superficie tenía un acabado muy parejo.

Los resultados parecen indicar que hay un rango ideal de tamaño de partícula, que es el adecuado para cada tipo de material y sistema cubriente. Por ejemplo, un vinilo puede formularse con un rango de tamaño de partícula adecuado para proveer un recubrimiento uniforme a una placa de $1/16$ " de espesor, con este estudio de movimiento del objeto.

Es obvio que si las placas de prueba se van a recubrir de manera que solo se usen las partículas pequeñas del lecho, pronto se acumulan en una sobrecantidad las partículas grandes. Esto prevendrá un control adecuado sobre las características del recubrimiento aplicado.

En efecto, esto ocurre en algunos sistemas de recubrimientos pero las condiciones necesarias son únicas. Primero, es raro que los objetos sean recubiertos con movimientos suficientes como para prevenir un porcentaje medible de las partículas mayores en el hecho de participar en formar capas cubrientes. Segundo, las ligaduras que parecen que una partícula se adhiera al objeto se hacen más débiles solo cuando el espesor del recubrimiento aumenta, por lo que algunas partículas grandes indudablemente se hacen parte de la capa cubriente cuando son de los primeros en estar en contacto con la superficie caliente. También es difícil que haya una instalación industrial que recubra objetos tan simples como las muestras de estos experimentos. Algunos objetos más complejos tendrán determinadas superficies que serán casi perpendiculares al movimiento del objeto. Las partículas de polvo que están más cerca a esta superficie no se mueven fácilmente por lo que las partículas más grandes no serán influenciadas por

el movimiento del objeto y formaran parte de la película cubriente. También, un movimiento muy rápido en objeto complejo, no es apropiado porque no hay una uniformidad de espesor en el recubrimiento de una superficie a otra por la diferencia del comportamiento del polvo en las mismas.

ALTURA DEL OBJETO EN RELACION AL LECHO.

La formación de una película cubriente, es influenciada directamente por la velocidad de las partículas del polvo en relación al objeto y - por la densidad del lecho adyacente a la superficie del objeto.

Se recubrieron unas placas de acero como prueba a diferentes alturas en el lecho, variando la posición de vertical a horizontal. El movimiento de inmersión fué vertical.

La parte de arriba del lado que se hace a 90° de la vertical recibe progresivamente recubrimientos más gruesos. Cuando la superficie se hace más horizontal, el polvo arriba de ésta, en el lecho se hace menos fluidizado. El objeto mismo bloquea el aire fluidizante de esta región.

El objeto que se está moviendo verticalmente, acarrea este polvo hacia arriba y hacia abajo. Había menos movimiento de las partículas de polvo en relación progresiva con la superficie del objeto.

La parte de abajo de la placa, cuando estaba horizontal recibía un recubrimiento un poco más grueso. Cuando la superficie se hacía más horizontal, bloqueaba el aire fluidizante. El lecho tenderá a residir debajo de ésta y el aire escapará alrededor del objeto.

El movimiento hacia abajo del objeto, golpea el polvo y lo hace más compacto abajo del mismo objeto que causa que se forme un recubrimiento más pesado.

POSTCALENTAMIENTO.

La operación de postcalentamiento se usa para obtener una completa fusión de la capa de plástico. Una excepción notable es cuando el material cubriente es un polímero termofijo y requiere un ciclo de curado. Sin embargo, con termoplásticos, la operación de postcalentamiento generalmente cambia las propiedades físicas de la película cubriente, eliminando las burbujas muy finas de la capa.

Al contrario de otros sistemas de acabado, no hay necesidad de curar o secar la capa cubriente después de haberla aplicado al objeto, excepto - para algunos materiales termofijos que existen en el mercado. Sin embargo, hay algunos casos en que el postcalentamiento es un elemento crítico para obtener propiedades deseadas en el producto recubierto. Pero en la mayoría de los casos el ciclo de postcalentamiento regula el recubrimiento para obtener una buena apariencia.

Un gran número de sistemas comerciales pueden operar sin ciclo de postcalentamiento, omitiendo esta operación, se bajará el capital de inversión y el sistema se simplificará. Pero podría haber una pérdida sobre el control de la calidad, y las otras operaciones en el sistema serán más críticas.

Se puede decir que el proceso tiene un ciclo de postcalentamiento adecuado, si: 1)°- La superficie del recubrimiento no está áspera ni arenosa; y 2) El color del recubrimiento no muestra alguna degradación o la capa cubriente no se ha desprendido.

Entre los recubrimientos ásperos, el decoloramiento, o los recubrimientos desprendidos, hay un rango en las variaciones secundarias de sus características que hacen difícil determinar las necesidades del ciclo de postcalentamiento; por ejemplo, el reflejo de la luz cambiará la superficie - como corteza de naranja y también cambiará la continuidad de la película. Todos estos atributos son difíciles de medir.

Para estudiar con eficacia el postcalentamiento, es necesario entender las características principales de la capa cubriente que se necesita.

En la mayoría de los casos, cuando un objeto caliente se sumerge en polvo fluidizado, la capa cubriente inicial, aplicada a la superficie del objeto, se fusionará completamente (en efecto, la capa inicial generalmente muestra algún pequeño grado de deterioración del material plástico). Cuando el objeto se está sumergiendo, se adicionan a la primera capa, otras capas. El espesor del recubrimiento puede aumentar hasta que la temperatura del objeto se reduce hasta el punto de que no haya suficiente calor como para recoger más polvo. Otras capas se adhieren fusionadas en otra forma de ligadura.

En el instante en que el objeto recubierto se saca del lecho fluidizado, hay un gradiente de temperatura en la película cubriente. La capa inicial aplicada (la superficie adyacente al objeto) esta cerca de la temperatura requerida, y la viscosidad de fusión necesaria para que el plástico fluya o fusione.

ESPESON DEL RECUBRIMIENTO, MILS.

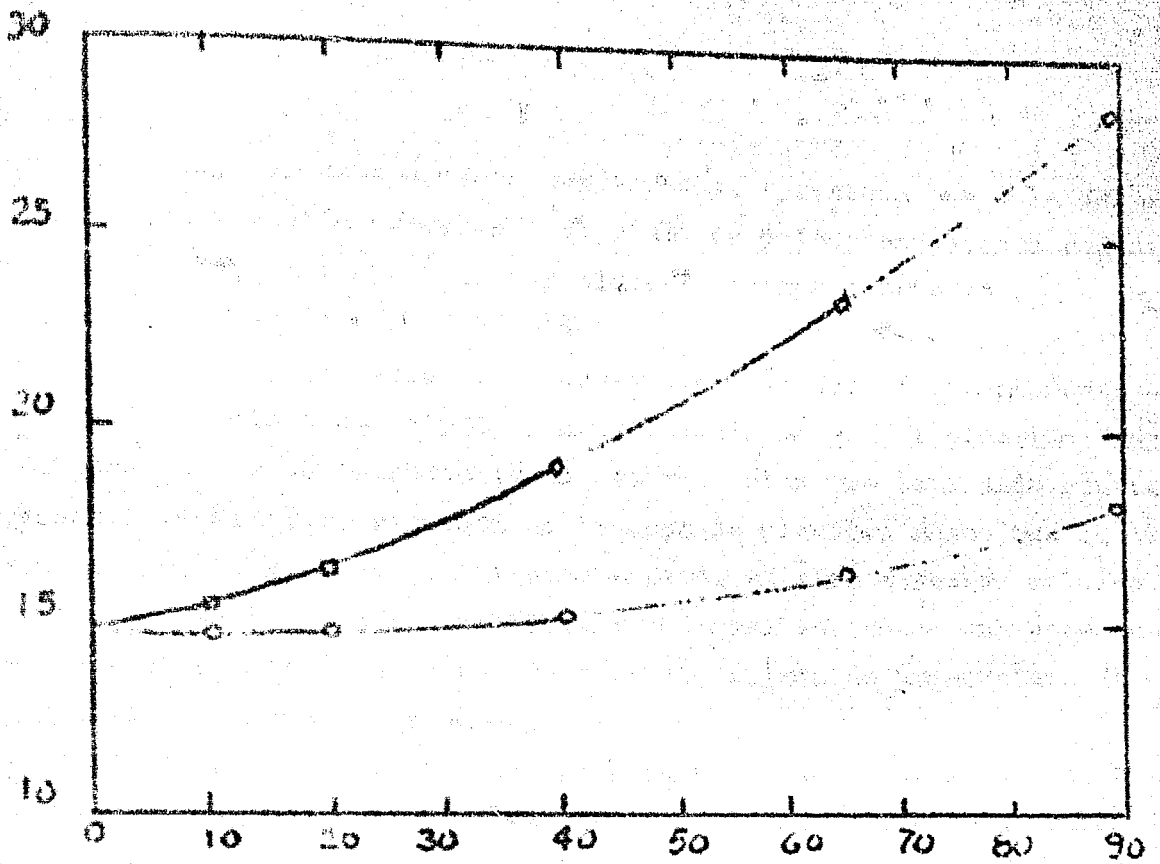
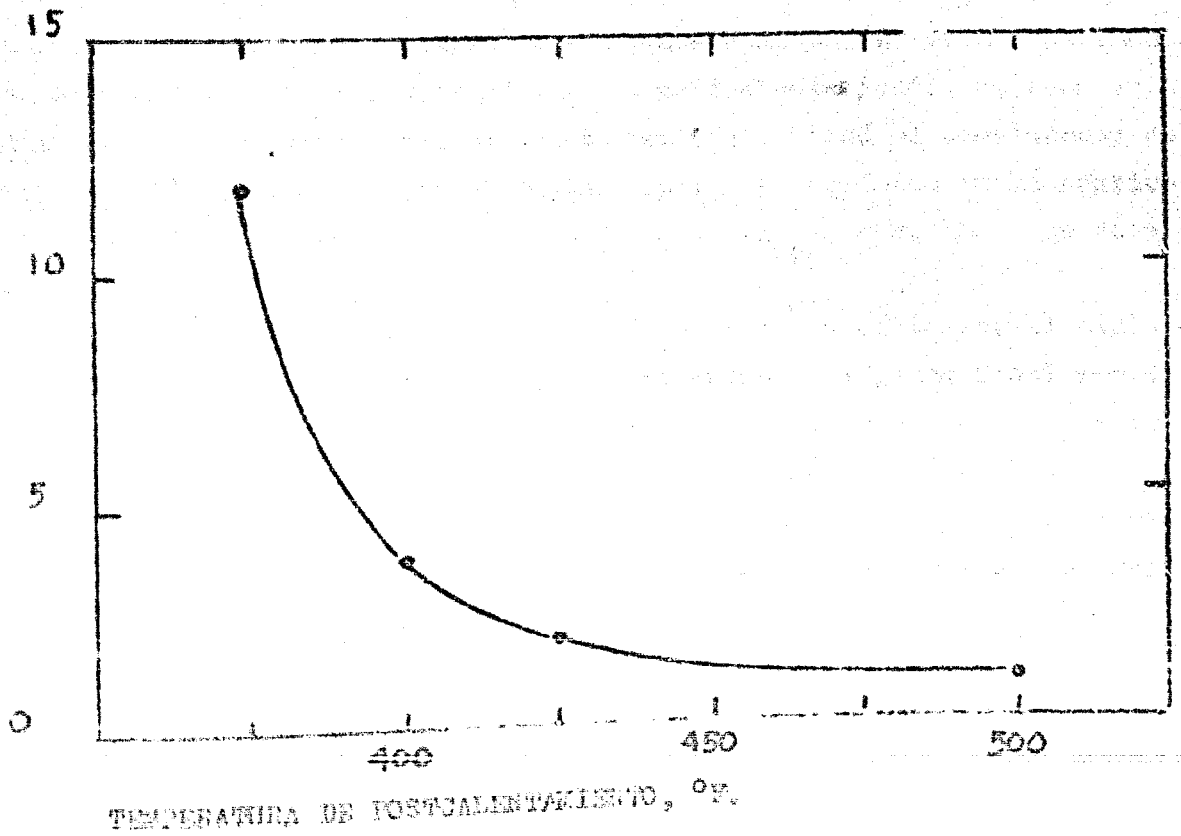


Fig. 20.

ALTITUD DEL OBJETO, DE LA VERTICAL, Grados.

TIEMPO DE POSTCALENTAMIENTO
REQUERIDO, MILS.



TEMPERATURA DE POSTCALENTAMIENTO, °F.

La superficie exterior está a menor temperatura, aproximándose a la del -
lecho cuando la inmersión progresa. El ciclo de postcalentamiento reduci-
rá este diferencial de temperatura, y llevará la capa cubriente a una tem-
peratura mayor requerida para la fusión.

Para hacer esto, el ciclo de postcalentamiento deberá primeramente -
aumentar la temperatura del objeto hasta el punto en que el plástico fluya.
Si la temperatura de postcalentamiento es tan alta que la fusión ocurre
en la superficie exterior expuesta de la capa de plástico antes que la tem-
peratura del objeto se aumente suficientemente, el aire excesivo ocluido -
resultante que está entre las partículas intermedias, hacen una capa cu-
briente aléutica débil. Se usan generalmente rangos de temperatura de -
postcalentamiento entre 400 y 500°F.

El ciclo óptimo de postcalentamiento en un sistema cubriente, se esta-
blece mejor evaluando las propiedades de la película cubriente a través -
de pruebas de uso en el artículo recubierto.

RAPIDEZ DE POSTCALENTAMIENTO.

Se hizo un estudio de rapidez de postcalentamiento a varias tempera-
turas entre el rango que se consideró satisfactorio para el material cu-
briente usado para el experimento. El rango de temperatura usado es en-
tre 375 y 500°F. En el experimento 8 de la tabla II, se encontrará una -
descripción del material y otras condiciones usadas. En este experimento,
el punto final medido del tratamiento de postcalentamiento, se basó en la
aparición del recubrimiento, en ese momento se indicó el complemento del
postcalentamiento cuando hubo un mínimo de irregularidades en la aparien-
cia de corteza de naranja. La figura 21 muestra los resultados de este -
experimento.

Esta es una información útil cuando se trata de optimizar el ciclo -
de recubrimiento en un sistema de recubrimientos. El punto final medido
que se necesita no debe ser forzosamente la aparición de la superficie -
como en este experimento. Puede ser dureza, brillantes, flexibilidad, re-
sistencia al vapor, etc. Los datos pueden ser útiles para proveer el ciclo
óptimo con el fin de obtener los detalles de la longitud del horno, rapidez
de entrada y secado, disposición del equipo, etc.

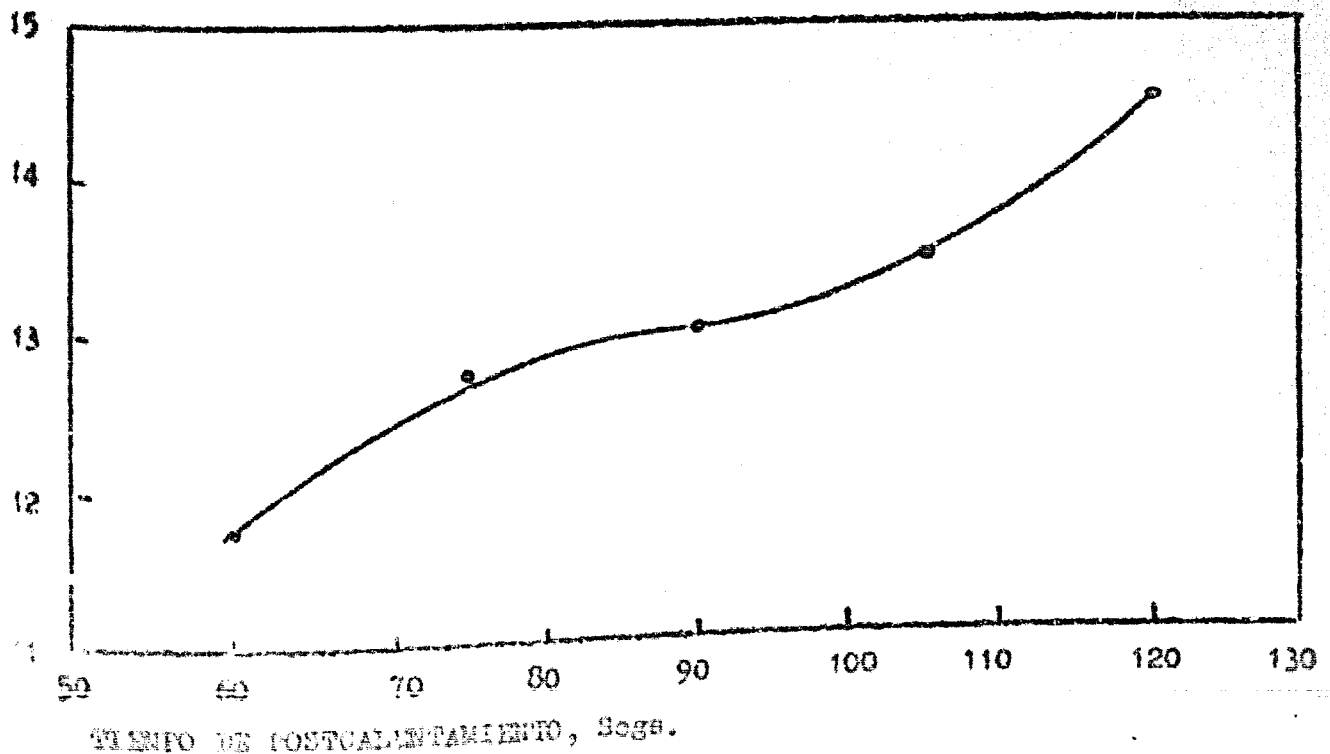
EFFECTO EN LAS PROPIEDADES.

Como regla la mayoría de los objetos cubiertos, tienen capas cubrientes que contienen pequeñas burbujitas de aire, aunque esto no es tan severo para que baje la calidad del objeto recubierto. Es más drástico esto cuando se usan materiales claros para recubrir, estos se usan para proteger la superficie de un objeto, sin cubrir la apariencia del mismo, por ejemplo el uso de recubrimientos claros en bronce pulido o herrajes plateados. En este tipo de aplicación las burbujas de aire en la película cubriente harán defectuosa la apariencia de la superficie del objeto.

La figura 22 muestra los efectos del postcalentamiento dado a un recubrimiento sobre el módulo de la película (fuerza de la tensión a 100% de la elongación). Los datos se obtuvieron con las condiciones del experimento 10 de la Tabla II.

En este experimento la película cubriente se quite de la placa de prueba para analizarla. Cada uno de los experimentos se postcalentó hasta que se despegó el revestimiento, y no se notó decoloración que indicaría deterioración del material plástico. De este experimento se puede ver que el postcalentamiento juega un papel importante en la obtención de propiedades físicas de recubrimiento plástico.

Figura 22.



RESUMEN DE PLASTICOS ADECUADOS PARA RECUBRIMIENTOS PARA
 PRODUCCION POR EL PROCESO DE LECHO FLUIDIZADO.

RESINA.	TEMPERATURA DE PRECALENTA- MIENTO. °F.	IMPRESION	TEMPERATURA DE de POSTCALENTA- MIENTO. °F.	TIEMPO DE INMERSION. Min.
Epoxi.	250-450	No	250-450	5-60
Vinilo.	450-550	Si	400-600	1-3
Celulosico.	500-600	Si	400-550	1-3
Nylon.	650-800	Si	650-700	1
Poli-etileno.	500-600	No	400-600	1-5
Poli-propileno.	500-700	No	400-600	1-3
Penton.	500-650	Si	450-600	1-10
Teflón.	600-1000	No	600-900	1-3

RESUMEN.

En los recubrimientos plásticos por lecho fluidizado hay dos variables principales que afectan el espesor y uniformidad de la película.

Estas son:

- 1).- Temperatura del objeto.
- 2).- Tiempo de inserción.

El espesor de la película aumenta cuando aumenta la temperatura del objeto.

También hay otras variables secundarias que afectan el espesor y son:

- a).- Densidad del lecho, al aumentar la densidad aumenta el espesor.
- b).- Si aumenta el movimiento relativo del polvo se obtienen espesores más delgados.
- c).- Y al aumentar la temperatura del lecho, se obtienen espesores más gruesos.

Hay dos claves para obtener un recubrimiento de buena calidad.

- A).- En los recubrimientos por lecho fluidizado cualquier cosa que este caliente se recubrirá o causará una transferencia de calor. Por lo tanto, cuando sea posible, se deben usar accesorios fríos.
- B).- Para mantener controlada la temperatura del objeto, se debe transferir rápidamente el objeto del horno al lecho fluidizado.

COMPARACION DEL PROCESO DEL LECHO FLUIDIZADO CON OTROS PROCESOS.

La tecnología del lecho fluidizado difiere con las otras esencialmente en estos factores:

- 1).- Los materiales plásticos que no se pueden usar como recubrimientos por otros métodos, se pueden usar por el del lecho fluidizado.
- 2).- El mismo lecho fluidizado.
- 3).- La formación de una película plástica sin necesidad de aplicar una presión externa.

Ventajas del proceso del lecho fluidizado con otros procesos:

En el proceso del lecho fluidizado se puede usar cualquier plástico, ya sea termofijo o termoplástico.

Se puede aplicar un recubrimiento uniforme controlable, con un espesor que puede variar de 5 a 85 milésimas de pulgada de una sola inmersión.

No se necesitan solventes, y no es necesario aplicar varios recubrimientos para obtener el espesor deseado.

No hay goteo ni chorriamiento que es el mayor problema que se tiene cuando se recubre con plásticos.

Solo se necesita controlar dos variables para obtener un recubrimiento deseado y son: el tiempo de inmersión y la temperatura del objeto.

En la siguiente tabla se fa una comparación gráfica de los procesos.

COMPARACION DEL PROCESO DE LECHO FLUIDIZADO CON OTROS PROCESOS.

PROCESO	FUNCION ACABADO.	ESPEJOR	LIMPIADO	IMPRIMADO	PRECALENTAMIENTO.	POSTCALENTAMIENTO.	CONTROLES REQUERIDOS.
Pintura (sistemas basados en solventes).	Color Protección. Aislante eléctrico.	1 mil.	Si	Si	No	Si	Viscosidad Temperatura de sólidos. Velocidad de pintado.
Electroplateado (sistema basado en electricidad).	Decorativo. Protección al ambiente y abrasión.	1-3 Mil.	Si	Si	No	No	Temperatura PH. Tiempo y electricidad.
Plastisol	Resistencia química abrasión y ambiente, y color.	5-50	Si	Si	Algunas veces.	Si	Viscosidad Temperatura Velocidad de movimiento. Temperatura plastisol. Vida del plastisol.
Lecho Fluidizado.	Resistencia química abrasión y ambiente. Aislante eléctrico. Color.	6-85 mil.	Si	Si	Si	Si	Tiempo y temperatura.

C A P I T U L O VI.

APLICACION DEL PROCESO DE LECHE FLUIDIZADO PARA RECUBRIR UNA PARRILLA DE ALAMBRE.

La idea de esta Tesis es hacer una comparación de los diferentes procesos de recubrimientos plásticos y escoger el mejor para recubrir un artículo específico. En la empresa Rolins, S.A. lugar donde se hizo al presente trabajo, se recubre una parrilla de alambre del número 12 con un largo de 36 cm. y 30 cm. de ancho y un peso de 6.6. Lbs. - pero se recubre con el proceso de plastisoles, el cual como se ha dicho anteriormente presenta varias problemáticas, por lo que se pensó en cambiarlo por otro proceso y este proceso debe ser el de leche fluidizado, por la calidad obtenida y su alta producción.

Por lo tanto, el cálculo del equipo, la evaluación económica se va a hacer con base al proceso de leche fluidizado para recubrir 60 - parrillas por hora, con el peso y dimensiones antes citadas.

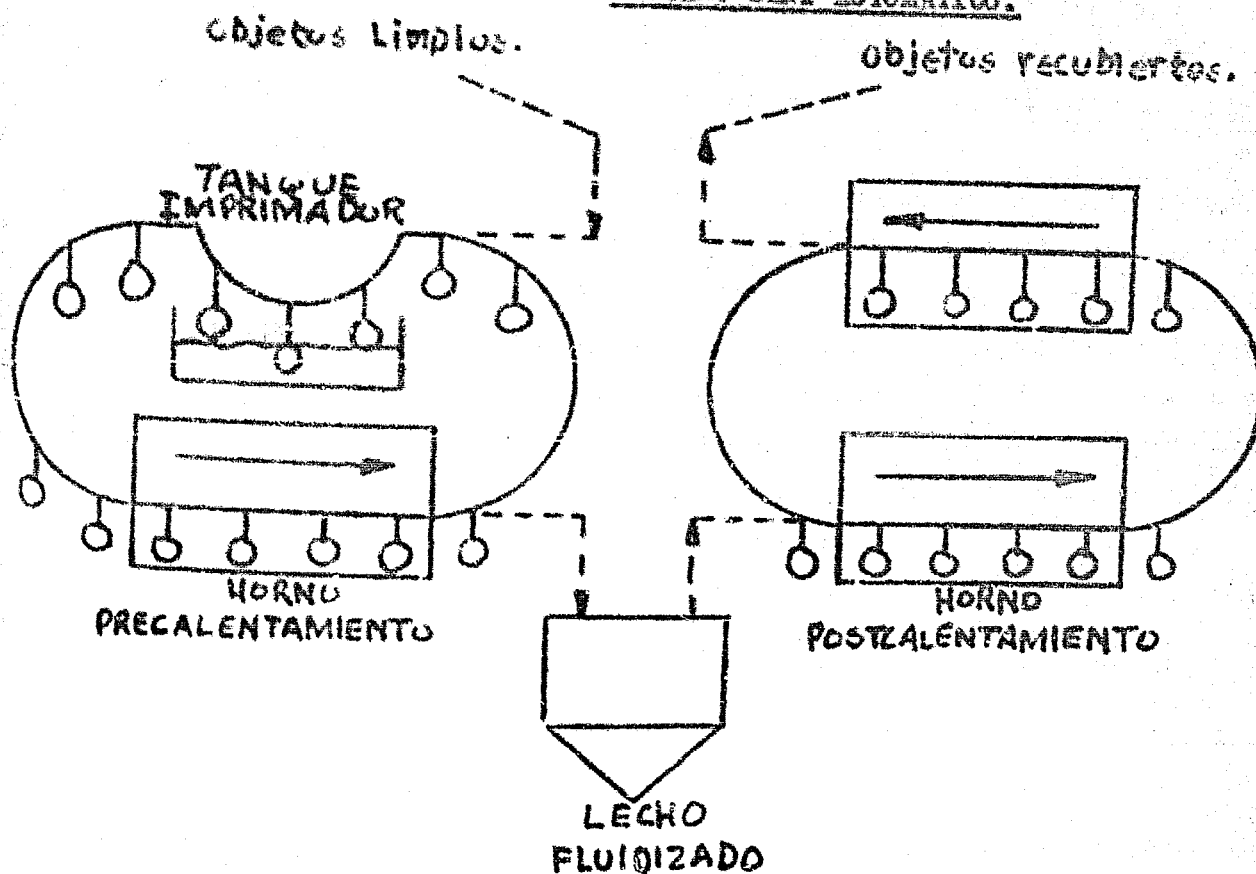
CAPITULO VII.

CALCULO DEL EQUIPO.

Como se dijo anteriormente, se puede usar el mismo equipo para recubrir con cualquier plástico, termofijo o termoplástico, la única condición que se necesita es que se encuentre en forma de polvo.

Cuando ya está instalado el equipo, el material que se va a usar es una resina vinilica, por lo tanto los siguientes cálculos van a estar basados en este plástico, pero las condiciones del equipo van a ser variables, y por ese motivo se puede usar cualquier plástico.

PROCESO SEMI AUTOMATICO.



DISÑO Y SELECCION DEL FLUIDIZADOR.

La principal unidad del equipo de recubrimiento es el fluidizador. El corazón del fluidizador -la capa difusora- debe dispersar -- uniformemente el gas fluidizante en el lecho. Esta capa difusora es una malla de bronce del tipo de las que se usan en las máquinas de papel. Si no hay una distribución uniforme del gas, se puede causar chorreo y una densidad irregular en el polvo fluidizado, de lo que resultará un recubrimiento defectuoso. También en algunos casos se necesita vibración. La vibración permite el uso de lechos extremadamente densos (se necesitan para obtener recubrimientos uniformes), permite un enfriamiento lento en el objeto sumergido, y la aplicación de recubrimientos delgados, también previene el acanalamiento, chorroamiento y la pérdida de polvo. En general, el principal propósito del fluidizador es crear un lecho de polvo controlable de completa -- uniformidad y densidad apropiada.

En la selección del fluidizador, se deben considerar varios factores para adecuarlos a los requerimientos de producción del proceso -- particular de recubrimiento. Primero es el tamaño del lecho. No hay ninguna limitación en el tamaño del lecho, excepto la cantidad de polvo para llenarlo. Cuando el lecho es muy grande tendrá una gran cantidad de polvo y se requerirá una gran inversión en inventarios de -- materia prima. El ancho y el largo del lecho deberán permitir que el objeto y el instrumento que lo sujeta no ocupen más del 50% de la superficie del lecho, esto es para que no haya un sobreflujo de polvo. La profundidad deberá ser tal que permita un control uniforme de la -- densidad del lecho.

Debido a los artículos que vamos a recubrir, las dimensiones del lecho deberán ser:

Longitud del tanque, 54 Pulg.

Ancho del tanque, 38 Pulg.

Altura total 37 Pulg.

Altura desde la placa difusora, 30 Pulg.

Capacidad 35.6 pies cúbicos.

Diámetro de la entrada del aire 1.5 Pulg.

Material de construcción, aluminio.

Cantidad de aire requerida, 15-30 pies cúbicos por Min.

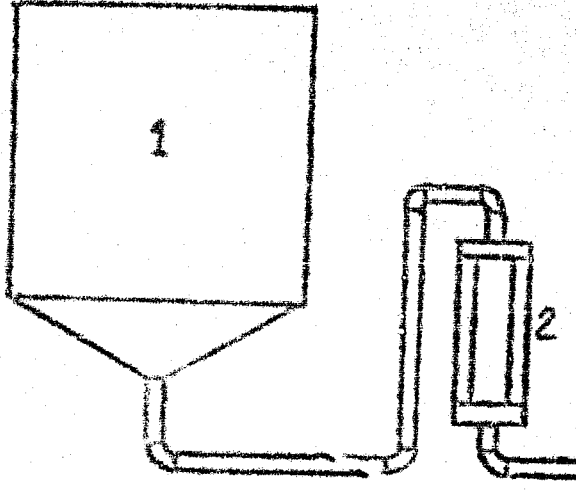
Peso aproximado de la unidad, 400 libras.

Para obtener este gasto de aire se deberá conseguir un compresor de aire de 5 HP. de potencia que nos dará el flujo de aire necesario para fluidizar cualquier polvo de plástico con el que se quiera recubrir; este compresor de una presión de aire de 175 libras por Pulg. cuadrada. En algunos casos de recubrimientos con materiales termoplásticos se necesita tener aire seco para obtener recubrimientos de calidad, pues si se usa un aire húmedo causará burbujas y baja calidad en el recubrimiento; con materiales termofijos la humedad alterará el producto. Por lo que el compresor deberá tener un filtro (del tipo de los absorbentes de humedad), para sacar el aire y un regulador de presión para obtener las especificaciones necesarias de flujo de aire, según sea el material plástico que se va a utilizar, que puede ser: PVC, resina epoxi, polietileno, polipropileno, poliestireno, nylon, acetato de celulosa, etc.

El lecho deberá tener una tapa para proteger al polvo cuando no está en uso, y además encima de la placa difusora, es conveniente poner una rejilla de varilla para protegerla si es que accidentalmente se cae un objeto durante la operación.

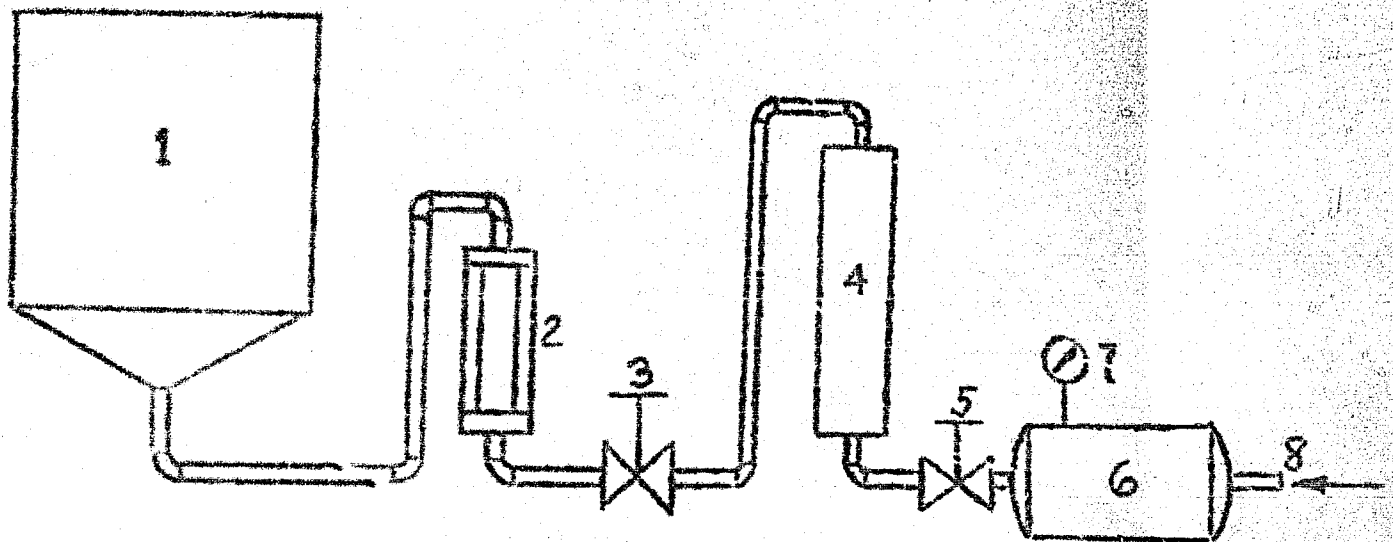
Cuando ya se determinó el material plástico que se va a usar se deberá llenar el lecho con el polvo y se pondrá a trabajar éste para obtener las variables adecuadas para este tipo de plástico y así obtener un lecho uniforme y de densidad constante como vamos a usar cualquier tipo de plástico es por eso que no se pone ninguna especificación en las variables del lecho, sino que las variables de la fluidización se pueden cambiar a voluntad teniendo una válvula reguladora de presión y de flujo.

CALCULO DEL HORNO.



- 1.- Lecho Fluidizado.
- 3.- Valvula Reguladora de
- 5.- Valvula Reductora de l
- 7.- Manometro.

CALCULO DEL HORNO.



1.- Leche Fluidizado.

3.- Valvula Reguladora de Flujo.

5.- Valvula Reductora de Presión.

7.- Manometro.

2.- Rotámetro.

4.- Deshumidificador.

6.- Acumulador de Aire.

8.- Entrada de Aire Comprimido.

CALCULO DEL HORNO.

El calor puede fluir por medio de tres mecanismos:

CONDUCCION.- Cuando el calor fluye a través de un cuerpo por la transferencia de momento de las partículas individuales sin mezclarse.

CONVECCION.- Es cuando el calor fluye por mezclado o turbulencia; la convección solo ocurre en los fluidos.

RADIACION.- Es la transferencia de calor a través del espacio por medio de ondas electromagnéticas.

CONVECCION NATURAL Y FORZADA.- Si la acción de mezclado se debe a la acción de una corriente que se genera artificialmente por medio de un abanico, bomba u otro medio mecánico, se le llama convección forzada. Pero si el mezclado la origina una corriente que se formó cuando un fluido estacionario es calentado se le llama convección natural.

La selección del mejor combustible debe basarse en un estudio de los costos comparativos preparados en la limpieza del funcionamiento, en su adaptabilidad, en la regularización de la temperatura, en la mano de obra requerida, y en el efecto de cada combustible sobre el material que ha de calentarse y sobre el revestimiento del horno.

En los hornos de gas se presenta el caso de que se producen gases de la combustión, pero en nuestro caso estos gases no afectan el producto. Por lo tanto el horno puede ser calentado con gas.

El horno que se necesita como ya habíamos dicho anteriormente debe ser del tipo tiro forzado y puede ser calentado eléctricamente o por gases indirectos de combustión. A continuación se presentará una comparación de estos y que escogerá el más económico.

HORNOS DE RESISTENCIA.- En estos hornos el calor se produce por el paso de la corriente a través de resistencias propiamente distribuidas, por lo general se usa corriente alterna.

Las resistencias del horno se hacen en forma de bobinas y deben cubrir todas sus superficies. La resistencia por lo general es de una aleación cromo-niquel. La vida de una resistencia, sin que la temperatura pase de un punto de fusión, puede ser de muchos años.

HORNOS DE LAMPARA DE FILAMENTO.- Estos hornos proveen luz infrarroja. Las lamparas que generalmente tienen su reflector, rodean la carga y el

calor se transmite como radiación, principalmente la parte infrarroja del espectro.

HORNO DE INDUCCION. - En el calentamiento por inducción la superficie de la carga se expone a un flujo magnético alterno. Por lo tanto la corriente inducida fluye a través de la carga. En este caso la frecuencia que se requiere depende de las propiedades magnéticas y eléctricas de la carga. Para este horno se necesita una fuerte inversión en el equipo que hace variar el ciclo de la corriente.

HORNO DE GAS. - En estos hornos debe de haber un abastecimiento de aire para poner a cada uno de los combustibles en condición de obtener una combustión apropiada. Este abastecimiento depende de cada combustible. Una vez mezclado el aire con el combustible se obtiene una mezcla inflamable que se prenderá con una obispa en el quemador del horno.

SELECCION DEL HORNO.

Como las piezas pueden pesar hasta 6.6 Lbs. y se van a producir 60 por cada hora, por lo que el calor necesario para calentar las piezas será:

$$Q = mc_p (t_h - t_a)$$

Q = Calor necesario para calentar la pieza hasta la temperatura del horno.

m = Peso de cada pieza.

t_h = Temperatura del horno.

t_a = Temperatura ambiente.

c_p = Calor específico del hierro.

$$Q = (6.6) (0.12) (500-77) = 335 \text{ BTu/pieza.}$$

$$(335 \text{ BTu/pieza}) (60 \text{ piezas/hora}) (192 \text{ horas/mes}) = 3,859,200 \text{ BTu/mes.}$$

Los combustibles que podemos usar son:

Electricidad, Gas Natural ó Gas L.P.

HORNO CALENTADO CON ELECTRICIDAD.

La Cia. de Luz y Fuerza del Centro, cobra una cuota fija y otra según el consumo de Kwhr, pero se puede decir que con la tarifa 3-N, que es de 220 Volts, 50 ciclos y trifásica, el promedio del costo es de \$0.35 - por cada Kwhr.

De cada Kwhr. se obtiene una energía calorífica de 3412.75 BTU.

$$\frac{(3,859,200 \text{ BTU/mes})}{(3412.75 \text{ BTU/Kwhr})} = 1130 \text{ Kwhr/mes.}$$

$$(1130 \text{ Kwhr/mes}) (\$0.35/\text{Kwhr}) = \$395.00/\text{mes.}$$

BORNO CALENTADO CON GAS NATURAL.-

El poder calorífico del Gas natural es de 37,100 BTU/m³ y el costo del m³ es de \$0.12131.

$$\frac{(3,859,200 \text{ BTU/mes})}{37,100 \text{ BTU/m}^3} = 104 \text{ m}^3/\text{mes.}$$

$$(104 \text{ m}^3/\text{mes}) (\$0.12131/\text{m}^3) = \$12.60/\text{mes.}$$

Pero el costo de suministro e instalación de una caseta de recibo de Gas Natural de Petróleos Mexicanos, es de \$75,000.00.

BORNO CALENTADO CON GAS L.P.

El gas L.P. que vende Petróleos Mexicanos es una mezcla de Butano y Propano y están licuados a presión. El tanque de Gas L.P. no se llena - hasta el máximo sino que se deja una parte sin llenar para el líquido, - sino que la ocupa vapor del mismo líquido y siempre están en equilibrio - la fase líquida con la vapor. De cada 4 litros de líquido se obtiene un - metro cúbico de vapor, pero se vende como líquido.

El poder calorífico del Gas L.P. en fase vapor es de 95,340 BTU. por - cada metro cúbico.

$$\frac{(3,859,200 \text{ BTU/mes})}{95,340 \text{ BTU/m}^3} = 40.4 \text{ m}^3/\text{mes.}$$

Pero de cada 4 litros de líquido se obtiene 1 m³.

$$(40.4 \text{ m}^3 \text{ vapor/mes}) (4 \text{ Lits. líquido/m}^3 \text{ vapor}) = 161.6 \text{ Lts./mes.}$$

El costo del Gas L.P. es de \$0.38/Lt.

$$(161.6 \text{ Lts./mes}) (\$0.38/\text{Lts.}) = \$61.40/\text{mes.}$$

COMPARACION DE COSTO DE COMBUSTIBLES POR MES.

Electricidad.	\$395.00
Gas L.P.	61.40
Gas Natural.	12.60

Como se podrá ver, el más económico es el Gas Natu ..., pero el costo de la caseta de recibo del mismo es muy alto, y el consumo muy bajo, por

Lo que no conviene usarlo.

El combustible que más conviene es el Gas L.P., por lo que el horno que se usará será un horno calentado con Gas L.P. y sobre este se harán los cálculos.

" HORNO CALENTADO CON GAS L.P. "

Hay varios métodos para mezclar el aire con el gas, pero en este caso vamos a usar un quemador atmosférico que trabaja en la forma siguiente:

La presión de gas en el tubo que es de 11" de columna de agua fuerza el gas a través de un pequeño orificio en el aspirador del quemador. La energía cinética que lleva el flujo del gas, induce aire hacia adentro del quemador donde se mezcla con el gas y forma la mezcla. Esta mezcla se enciende en el quemador de bloques refractarios.

Hay tres factores principales de consumo de calor que determina a un grado mayor el diseño del equipo de calentamiento:

1.- Pérdida por radiación: La pérdida de calor por radiación depende de la calidad y cantidad de material aislante usado para recubrir el horno por la parte externa, como también el espesor y el material usado para las paredes del mismo. Las paredes del horno van estar diseñadas de modo que no se conecten la interna con la externa, para reducir la pérdida de calor por conducción en las paredes, aunque no por eso dejará de ser una estructura fuerte.

La pérdida de calor por radiación se determina por la fórmula siguiente:

$$Q_r = A_t \times F \times T_d$$

A_t = Área interior total del horno.

F = Factor variable que depende del espesor del horno.

T_d = Diferencia de temperaturas entre la del horno y la ambiente.

Las dimensiones del horno van a ser:

Frontes: 0.60 m.

Altura: 1.50 m.

Fondo: 1.60 m.

Por lo que el Área interna del horno es: 6.72 m² ó 73.9 pies cuadrados.

El espesor del horno es de 10 cm. ó 4 Pulg. por lo que el factor F que recomiendan las tablas es de 0.35.

La diferencia de temperaturas es de 423°F .

$$Q_r = (71.9) (0.35) (423).$$

$$Q_r = 10,940 \text{ BTU/hr.}$$

2.- Pérdida por ventilación: La ventilación es la principal fuente de pérdida de calor. Se necesitan grandes cantidades de aire pues este va a ceder su calor al producto para calentarlo. Al principio cuando se comienza a funcionar el horno, como el aire está frío, se necesitan grandes cantidades de calor para calentarlo, pero una vez que está caliente el aire, solo se necesita calor para reponer el que perdió el aire al cederlo al producto y además se necesita calor para calentar el aire frío que está entrando y que se pierde por estar abiertas las puertas.

La pérdida de calor por la ventilación se mide por la cantidad de calor necesaria para calentar el aire entrante a la temperatura del horno.

$$Q_v = V F T_d$$

V = Volumen de aire entrante por minuto.

F = Cantidad de calor absorbida por un pie cúbico de aire por $^{\circ}\text{F}$.

T_d = Diferencia de temperaturas del aire entrante con la del aire del horno.

NOTA:- Según las dimensiones del horno, el "Handbook of Oven Facts", - recomienda un flujo de aire de 2,100 pies cúbicos por minuto. Este flujo es constante dentro del horno, pero solamente se pierde un 20% del flujo total por ventilación. Por lo que se tiene que calentar 420 pies cúbicos por minuto.

El valor de F que recomienda es de 0.01799.

$$Q_v = (420) (0.01799) (423) = 3,192.$$

$$Q_v = (3,192) (60) = 191,520 \text{ BTU/hr.}$$

3.- Absorción de calor por el producto y el sistema: Como el horno es de tipo canal, va a llevar un transportador aéreo de cadena con un trolley a cada metro. La longitud aproximada de este transportador es de 7 m. en circuito cerrado con dos curvas horizontales.

La absorción de calor por el producto es de: 20,100 BTU/hr.

Como el horno medirá 1.60 m. de largo y queremos que el tiempo de calentamiento o de residencia sea de 1 minuto, por lo que el transporta-

dor llevará una velocidad de aproximadamente 1.5 m/Min. Por lo que en un minuto de residencia el horno calentará 1.6 m. de cadena y esta pesa 2.2 Lb.

$$Q_1 = m_1 c_p (T_h - T_a)$$

m = Masa del transportador = 2.2 Lb.

c_p = Calor específico del acero = 0.12 BTU/Lb.°F.

T_h = Temperatura del horno = 500° y.

T_a = Temperatura ambiente = 77° F.

$$Q_1 = (2.2) (0.12) (500-77) = 111.67 \text{ BTU/Min.}$$

$$Q_1 = 111.67 \times 60 = 670 \text{ BTU/hr.}$$

Calor total.

$$Q_r = 10,940 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_v = 191,520 \text{ "}$$

$$Q_p = 20,100 \text{ "}$$

$$Q_1 = 670 \text{ "}$$

$$Q_t = 223,230 \text{ BTU/hr.}$$

El horno será de tipo túnel con transportador aéreo con las siguientes dimensiones.

	Interior	Exterior.
Prente.	0.60 m.	0.80 m.
Altura:	1.50 m.	2.00 m.
Fondo:	1.60 m.	1.60 m.

Temperatura máxima de operación: 650°F.

Cantidad de calor desarrollada: 250,000 BTU/hr.

Provisto con quemador atmosférico de Gas L.P. a 11" de columna de agua de presión y llevará todos los accesorios para que su funcionamiento sea automático.

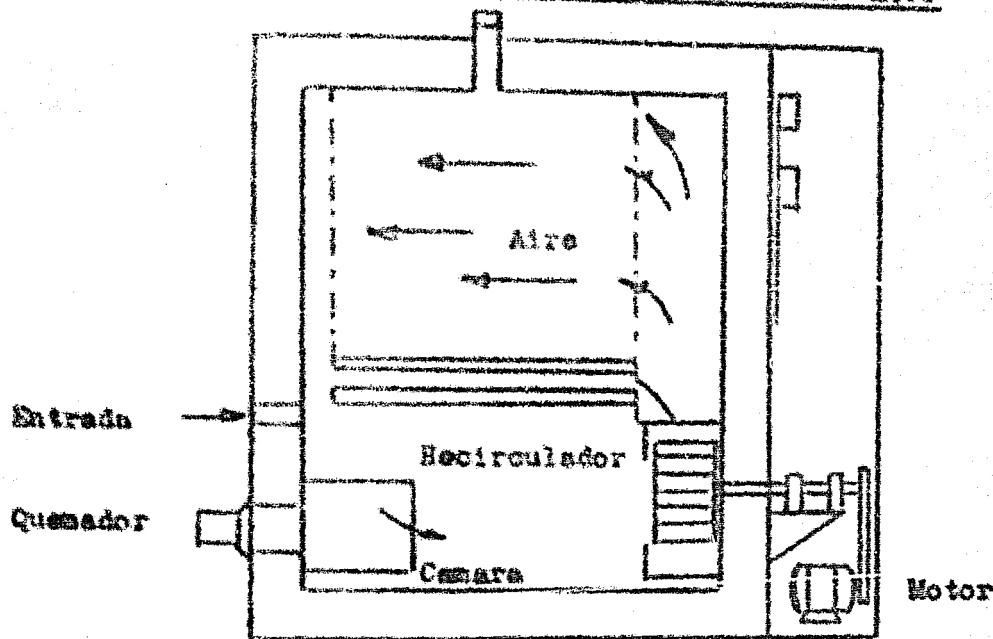
Tendrá un recirculador centrífugo de 2,100 pies cúbicos por Min. con motor acoplado de 1 HP., 220 V., y trifásico.

El material aislante utilizado será lana mineral de 1,400°F, y la fabricación de la estructura es de lámina de acero al carbón calibre 18

en el interior y lámina de acero al carbón calibre 16 en el exterior.

La lámina interior del horno está compuesta por unas aberturas especiales ajustables para regular el flujo horizontal del aire caliente a través de la cámara de trabajo.

DIAGRAMA DEL HORNO CALENTADO CON GAS L.P.



EVALUACION ECONOMICA DEL PROCESO.

ESTIMACION DEL CAPITAL FIJO DE INVERSION.

1.- Equipo de proceso.

a).- Tanque fluidizador.

Este fluidizador es construido en fábrica con las dimensiones siguientes:

Longitud del tanque:	54"
Ancho del tanque:	38"
Altura total:	37"
Altura desde la placa difusora.	30"
Capacidad:	35.6 Pies cúbicos.
Diámetro de la entrada del aire:	1.5"
Material de construcción:	Aluminio.

Cantidad de aire requerido:

15-30 pies cúbicos por Min.

Costo Unitario. \$10,000.00

1.- Manómetro tubo de vidrio, Marca Wallace & Tiernan, Modelo 24-0-05-10-E para indicar flujo de hasta 61 pies cúbicos por Min., con presión hasta de 5 lb/Pulg.² de aire.

Costo Unitario. \$ 3,500.00

1.- Secador filtro absorbente de humedad, -

marca Hollows-Valvair. Costo Unitario. \$ 500.00

1.- Válvula reguladora de flujo. Marca Be-

llows-Valvair. Costo Unitario. \$ 211.00

1.- Válvula reguladora de presión. Costo Unitario. \$ 180.00

1.- Manómetro de 0-10 Kg/cm². Costo Unitario \$ 3,000.00

Varios, Tuberías y conexiones. \$ 500.00

a).- \$15,191.00

b).- Hornos de precalentamiento y postcalentamiento.

Los dos hornos son similares, por lo que la cotización es la misma.

2.- Hornos tipo túnel, Marca Lindberg Heavy-Duty, para operación continua, calentados con gas L.F., con quemador atmosférico de baja presión, con las dimensiones anteriormente expuestas, botonera, bujía de ignición del piloto quemador, regulador de presión, válvula de seguridad para la línea principal del gas. Lleva incluido un recirculador centrífugo de 2,100 - pies cúbicos por Min. con motor acoplado de 1 HP., 220 V, 3 fases, 50 ciclos y a prueba de goteo.

Un instrumento indicador y controlador de temperatura, arrancador del motor recirculador y controlador, instrumento protector de flama, revelador con estación de motores de puesta en marcha y parada del quemador.

Costo de los dos hornos b).- \$ 80,000.00

c).- Transportador aéreo.

2.- Transportadores aéreos, Marca Aler, del tipo - ligero, Trolley a onda metra, con reportaría dentro y fuera del horno, longitud aproximadamente de 7m.

en circuito cerrado con dos curvas horizontales, con motor, reductor, cadenas, catarinas y accesorios.

Costo de los dos transportadores c) \$ 20,000.00

d).- Tanque imprimador.
1.- Tanque imprimador construido en fábrica, de lámina de acero al carbón calibre 16, con las siguientes dimensiones:

- Longitud: 0.60 m.
- Ancho: 0.40 m.
- Altura: 0.40 m.

Costo Unitario. \$ 500.00

e).- Tanque de Gas.
1.- Tanque estacionario marca TATSA, con capacidad de 1,870 Lts.

2.- Reguladores Fisher, Modelo 67, alta presión.

2.- Reguladores Fisher, Modelo 972, Baja presión.

2.- Válvulas de globo de 1/2".
3.- Metros de cobre en tubo rígido de 1/2"

Costo de la unidad completa. \$ 7,000.00

Costo del Equipo 12,691.00

2.- Instalación del equipo.

Como todo el equipo, para instalarlo no se necesita hacer bases ni cimentaciones especiales, sino que solamente va sobrepuesto al piso. Por eso se estima que el costo de la instalación sea de \$10,000.00

3.- Como la planta ya está construida pues solamente se va a cambiar el proceso, ya no se necesita construir, tampoco se necesita hacer alguna inversión en la instalación eléctrica, ni terreno, - como tampoco servicios. Por lo tanto el capital fijo de inversión es la suma del costo del equipo con el costo de la instalación.

CAPITAL FIJO DE INVERSION. \$132,691.00

COSTOS TOTALES DEL PRODUCTO.

A).- Costo de Producción Anual.

1).- Materia Prima.

Como materia prima solo se considera el plástico con el cual se va a recubrir. Porque el proyecto solo se hizo para maquilar recubrimientos.

En el proceso se recubren piezas de 0.5 a 3 Kg. de peso, hechas de fierro y tardan en calentarse en el horno de precalentamiento (que es el que limita el proceso) un minuto, por lo que se puede producir 60 piezas por hora, y en un turno de 8 horas se producirán 480. Se estima un año de 350 días por lo que se manufacturarán 168,000 piezas al año.

De los datos de recubrimientos por medio de plásticos una pieza de 2 Kg. se le adhieren 100 g. de plastisol.

$$(168,000 \text{ piezas/año}) \times (0.100 \text{ Kg./pieza}) = 16,800 \text{ Kg. año.}$$

En México todavía no se produce la resina utilizada para recubrimientos por lecho fluidizado, pero no se tiene ningún problema para poder fabricarla en el país. Una empresa ha estado en contacto con nosotros, y puede hacer la resina según las especificaciones que les demos y el color que se necesite. Esta compañía nos cotizó a \$12.00 el Kg. en pedidos de más de una tonelada.

$$(16,800 \text{ Kg./año}) \times (\$12.00/\text{Kg.}) = \$201,600.00/\text{año.}$$

2).- Empaque.

El producto terminado no necesita llevar algún empaque, porque como ya está recubierto no se maltrata ni se deteriora.

3).- Costo de operación.

a).- Mano de obra directa.

En este proceso se requerirá un obrero de primera o especializado que manejará el lecho fluidizado y recubrirá las piezas.

Un obrero de segunda cargará las piezas en el transportador que va al horno de precalentamiento y descargará los artículos ya cubiertos del otro transportador. El sueldo de un obrero especializado es de \$50.00 por día y de un obrero de segunda es de \$30.00.

Sueldo Obreros:

(350 días/año) x (\$50.00 obrero/día) = \$17,500.00
 (350 días/año) x (30.00 obrero/día) = 10,500.00
 TOTAL. . . \$28,000.00

b).- Supervisión.

El departamento de supervisión se compone de un jefe de producción jefe de mantenimiento, y un jefe de turno.

Jefe de producción	\$ 5,000.00
Jefe de mantenimiento	2,500.00
Jefe de Turno	2,000.00
	<hr/>
	\$ 9,500.00
Supervisión anual = \$9,500.00 x 12 =	\$114,000.00

c).- Costos anuales de mantenimiento.

Fluidizador	\$ 1,500.00
Hornos	8,000.00
Transportadores	2,000.00
Tanque imprimidor.	50.00
Tanques de gas	1,400.00
	<hr/>
	\$ 12,950.00

d).- Servicios.

1.- Electricidad.

Este servicio se necesita para el motor de la compresora (no se estima este costo de inversión porque ya se tiene la línea de aire comprimido del proceso plástico), los motores de los recirculadores - centrífugos y los motores de los transportadores.

Potencia de los transportadores:

Potencia = peso x velocidad.

Peso = al peso de los productos con el de la cadena y las catarinas. Como la cadena mide 7 m. llevará 7 piezas una a cada metro y cada uno pesa 2 Kg. La cadena pesa 4.5 Kg. y las catarinas 1.5 Kg. cada una.

Velocidad = El transportador llevará una velocidad de 1m./Min. o sea 0.016 m./Seg.

Potencia = (21.5 Kg.) (0.016 m./Seg.) = 0.344 Watts.

Por lo que se estima que los motores podrán ser de 1/4 HP. pero como son dos transportadores, serán 1/2 HP.

Compresoras	1 HP = 0.746 KW.
2 Hornos	2 HP = 1.492 KW.
2 Transportadores	0.5 HP = 0.375 KW.
Alumbrado	1.000 KW.
	3.611 Kw.

(3.6 Kw.Hr) (350 días/año) (8 Hr./día) (20.40/ Kw.Hr) = \$400.00/año.

2.- Agua.

El agua solamente se necesita para los servicios y se calcula un consumo anual de \$ 2,000.00

3.- Combustible.

El combustible que se va a usar es gas L.P. los hornos son de 250,000 BTU/Hr. cada uno.

$$\frac{500,000 \text{ BTU/Hr.}}{95,340 \text{ BTU/m}^3} = 5.23 \text{ m}^3/\text{Hr.}$$

$$(5.23 \text{ m}^3 \text{ vapor/Hr.}) \times (4 \text{ Lts. liquido/m}^3 \text{ vapor}) = 20.92 \text{ Lts./Hr.}$$

$$(20.92 \text{ Lts. liquido/Hr}) \times (2000 \text{ Hr/año}) \times (60.38/\text{Lt. Liq.}) = \$22,400.00/\text{año.}$$

Costo de Operación anual \$179,750.00.

4.- Depreciación de maquinaria.

Se estima un valor del 10% anual \$ 13,269.10.

5.- Impuesto sobre la propiedad 1.000.00

B).- GASTOS DE ADMINISTRACION Y VENTA.

Gerente General	\$ 8,000.00
Gerente de Ventas	6,000.00
Secretaria	2,000.00
Cobrador	1,500.00
	\$17,500.00

$$\$17,500.00 \times 12 = \$ 210,000.00$$

Se estiman gastos de contabilidad, cobranzas, comisionistas, papelería y varios en \$ 50,000.00

Gastos de administración y venta 200,000.00

COSTO TOTAL \$ 655,619.10

COSTO POR ARTICULO \$ 3.90

EVALUACION ECONOMICA.

El precio del artículo recubierto por medio de plásticos es de \$10.00. Para poder ganarse el mercado, a este precio se le va a hacer un descuento del 30%, por lo que el precio de venta del recubrimiento - por medio de lacho fluidizado será de \$7.00.

Venta Bruta = (168,000 piezas sobre año) x (\$7.00/ pieza) = \$1,176,000.00

Impuestos sobre ingresos mercantiles:

3 % sobre la venta bruta \$35,280.00

Descuentos:

En este concepto se estima el 5% de la venta bruta. \$58,800.00

Venta neta = Venta bruta - descuentos:

\$1,176,000.00 - \$58,800.00 = \$1,117,200.00.

Utilidad grabable:

Venta Neta - Costo total - impuestos sobre ingresos mercantiles =

\$1,117,200.00 - \$650,619.10 - \$35,280.00 = \$426,300.90.

Impuesto sobre la Renta.

Para medio millón de pesos de utilidad el impuesto es de \$143,525.00 y el excedente de medio millón se le aplica el 42%.

Impuesto sobre la Renta \$177,786.40

Utilidad Neta.

\$426,300.90 - \$177,786.40 = \$248,514.50.

B)- CAPITAL DE TRABAJO.

1.- Inventario de Materia Prima.

La única material prima que se va a usar es el plástico con el que se va a recubrir. Como la idea es hacer nada más maquinas de recubrimientos, no habrá otra materia prima, pues lo que se va a recubrir no se necesita comprar porque el cliente es el dueño.

De los datos de entrega del proveedor que es de 15 días, se estima un inventario mínimo de un mes de producción.

(1,400 Kg./mes) x (12,00/Kg.) = \$16,800.00.

2.- Inventario de producto terminado.

No habrá inventario de producto terminado, pues cuando el artículo - este completamente recubierto se podrá facturar directamente y pasar como una venta.

3.- Cuentas por Cobrar.

El sistema comercial que se ha tenido en el de crédito por 30 días.
(14,000 piezas/mes) x (\$7.00/pieza) = \$98,000.00.

4.- Reserva Mínima de Efectivo.

El efectivo mínimo disponible que se necesita para cubrir los gastos de salario, materia prima y algunos servicios se pueden estimar basándose en 60 días para salarios y 30 días para los demás.

a).- Salarios:

Mano de obra directa	\$ 4,666.00	
Supervisión	19,000.00	
Administración y venta	<u>35,000.00</u>	\$ 58,666.00

b).- Materia Prima:

\$ <u>201,600.00</u>	16,966.00
12	

c).- Mantenimiento:

\$ <u>12,950.00</u>	1,080.00
12	

d).- Electricidad:

\$ <u>400.00</u>	33.00
12	

e).- Combustible:

\$ <u>22,400.00</u>	1,867.00
12	

Reserva Mínima de Efectiva \$ 78,612.00

Capital de Trabajo = Inventario de Materia Prima + Cuentas por Cobrar + Reserva Mínima de Efectivo.

$$\$16,800.00 + \$98,000.00 + \$78,612.00 = \$193,412.00.$$

$$\text{RENTABILIDAD} = \frac{\text{UTILIDAD NETA.}}{\text{CAPITAL TOTAL DE INVERSION.}}$$

Capital total de Inversión = Capital Fijo de Inversión + Capital de Trabajo.

$$\text{Capital Total de Inversión} = \$132,691.00 + \$193,412.00 = \$326,103.00.$$

$$\text{RENTABILIDAD} = \frac{\$ 248,514.50}{326,103.00} = 76\%.$$

CONCLUSION.

Técnicamente, el proceso de recubrimientos plásticos por lecho fluidizado es el mejor proceso inventado hasta la fecha debido a la gran variedad de plásticos que se pueden usar con el mismo equipo y sus ventajas en la calidad del artículo terminado. Para recubrir artículos pequeños se debe usar el proceso de lecho fluidizado y para artículos muy grandes se debe usar el proceso de automatizado de polvo seco que es una modificación del de lecho fluidizado.

Debido a que el proceso se puede automatizar completamente, no pueden producir un gran número de artículos lo que bajaría grandemente el costo de producción.

No tan solo se pueden recubrir artículos metálicos pequeños sino también se pueden recubrir artículos muy grandes como carrocerías de automóviles, tala de aluminio, fibra de vidrio y otros artículos que resistan la temperatura de fusión del plástico.

Se puede tener un control de calidad casi perfecto.

Los costos de producción se pueden medir meticulosamente.

Debido a que el costo del equipo es difícil de determinar, nos basamos en un artículo que se estaba recubriendo con plastisol para poder hacer los cálculos, pero esto no quiere decir que no se pueda recubrir otros artículos, desde luego que deben tener más o menos la misma masa y el mismo volumen de modo que el equipo pueda manejarlos.

La rentabilidad tan buena se debe al bajo costo del equipo y a la gran producción. En realidad, la mayor parte del capital de inversión se debe al capital de trabajo, y la utilidad tan atractiva se debe a la gran producción y el bajo costo de producción.

Debido al gran futuro que tiene este proceso (pues se puede aumentar producción y bajar costos) y su rentabilidad atractiva se puede sugerir que la inversión de esta planta es costeable).

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- "Coating Metals and Other Rigid Materials with Microtens Polyethylene Powder".
Copyright 1965 by National Distillers and Chemical Corporation. Second Edition.
- 2.- "Plastic Coating, a Guide for Design Engineers".
Plastic Coating Limited.
Midland Division.
England.- Technical Report.
- 3.- "Epoxy Coating Applied by Fluidized-bed Technique".
L. B. Fockwall.
Industrial Finishing Magazine.
April, 1966.
- 4.- "Whirled Plastic Coatings".
The Polymer Corporation.
Reading, Pennsylvania,
Technical Report.
- 5.- "Standard Handbook for Electrical Engineers"
A. N. Knowlton.
Seventh Edition.
McGraw Hill Book Co.
- 6.- "Fluidized - bed Coating with Tenite Butyrate 5220"
Eastman Chemical Interamerican LTD.
Kingsport, Tennessee.
Technical Report.
- 7.- "Fundamentals of Cost Engineering in the Chemical -
Engineering".
Reinhold Publishing Corporation.
Bausan C. H.
Chapman y Hall.
London 1964.
- 8.- Patente Alemana # 933, 019.
Erwin Gussner, Sept. 15, 1955.
- 9.- "Unit Operations of Chemical Engineering".
McGraw Hill Book Co. Inc.
New York. 1956.
- 10.- "Production Setups for Fluidized - bed Coating".
Malcolm V. Rothschild.
Modern Plastics, January 1962.

- 11- " Fluidized Polymer Deposition "
Robert L. Cheekel.
Modern Plastics, October 1958.
- 12- " Fluidized Bed Coating "
C.K. Pettigrew.
Part I August 1966.
Part II September 1966.
Modern Plastics.
- 13- " A New Plastic Coating Process for Metals "
F.W. Dodge Corporation.
Architectural Record, October 1963.
McGraw Hill Co.
- 14- Modern Plastics Encyclopedia.
McGraw Hill Book Co.
1966.
- 15- " A New Vinyl Coating System Promises "
Furniture Production Magazine.
July 1965.
- 16- " Powder Epoxy Coating for Monars "
E.W. Pfeiffer.
Materials Protection, April 1966.
- 17- Duxoto de Ingenieria en Gas, S.A.
Comunicación Personal.
- 18- Bellows-Valvair de México, S.A.
Comunicación Personal.
- 19- Lindberg Hevi-Duty.
Comunicación Personal.
- 20- Chemicals Engineering Handbook.
John R. Perry Editor 1950.
McGraw Hill Book Co.
- 21- Fluidization.
Max Leva, 1959.
McGraw Hill Book Co.
- 22- " The Handbook of Oven Parts "
Michigan Oven Company.
Detroit, Mich.
- 23- Petróleos Mexicanos
Superintendencia General de Gas y Gasolina.
Comunicación Personal.