

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

Estudio Técnico-Económico para Producción en  
México de Polvo de Hierro y de sus Aleaciones

110

T E S I S  
QUE PARA OBTENER  
EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
NICANDRO FUENTES SANCHEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



A LA MEMORIA DE: MI SEÑOR PADRE.

A MI MADRE:

EJEMPLO DE ABNEGACION Y BONDAD.

QUE SIN SU APOYO NO HUBIERA SIDO

POSIBLE LA REALIZACION DE MIS --

ESTUDIOS.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS.

A QUIENES AGRADEZCO SU AYUDA

MORAL Y ECONOMICA.

A LAS NIÑAS.

ALEJANDRA GUADALUPE T.

RUTH ANGELICA T.

VICTORIA ELIZABETH T.

CON TODO CARINO A:

ROSA MA. PEREZ YAÑEZ.

UN GRAN ALICIENTE PARA SUPERARME.

A MI MADRE POLITICA:

SRA. RAQUEL Y. VDA. DE PEREZ.

A MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS.

A QUIENES ADMIRO Y RESPETO.

A MI HONORABLE JURADO.

AL ING. FERNANDO MALDONADO M.  
QUIEN CON SU VALIOSA AYUDA HIZO  
POSIBLE LA REALIZACION DE ESTE  
TRABAJO.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE: PROF.: EDUARDO ROJO Y DE REGIL.

VOCAL: PROF.: MANUEL GAVIÑO RIVERA.

SECRETARIO: PROF.: FERNANDO MALDONADO M.

1er. SUPLENTE PROF.: KURT H. NADLER GUNDEISHEIMER.

2do. SUPLENTE PROF.: MARIO RAMIREZ Y OTERO.

SITIO DONDE SE DESARROLLO

EL TEMA: BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA.

SUSTENTANTE: NICANDRO FUENTES SANCHEZ.

ASESOR DEL TEMA: ING. QUIM. FERNANDO MALDONADO M.

## I N D I C E

	Página.
I .- INTRODUCCION.	1
II.- GENERALIDADES. 1	4
III.- ESTUDIO DE MERCADO.	7
1.- Producción interna del País. 7	7
2.- Importaciones en volumen y valor del 8 polvo de hierro.	7
2.a- Importaciones en volumen y valor del 8 polvo de hierro esponja.	14 ✓
3.- Usos. 2	17
4.- Sustitutos. 2	18 ✓
5.- Principales usos del polvo de hierro 4 y de sus aleaciones en México.	22
6.- Principales consumidores. 5	29
7.- Distribución geográfica de los -- 6 consumidores.	31
8.- Historia de precios. 9	32
9.- Proyección de la demanda. 10	36
9.a- Regresión lineal.- Método de los -- 11 mínimos cuadrados.- Línea recta.	37 ✓
9.b- Método cuadrático. 12	43
9.c- Método de la proporción relativa -- con respecto al consumo.	49

	Página
IV .- ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA POLVO DE HIERRO Y SUS ALEACIONES.	54
13 1.- Especificaciones con respecto a pureza química.	55
2.- Especificaciones con respecto a propiedades físicas.	57
3.- Mediciones de las propiedades del polvo.	58
4.- Especificaciones del polvo de hierro en México.	65
V .- REVISION DE TECNOLOGIAS EXISTENTES.	67
1.- Actualmente la producción electrolítica del polvo de hierro.	69
2.- Producción del polvo de hierro por reducción con hidrógeno.	72
3.- Producción de polvo de hierro por atomización.	73
3.a. Descripción del proceso.	73
4.- Selección del proceso más adecuado para el mercado de México.	75
VI .- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77
APENDICE.	80
VII.- BIBLIOGRAFIA.	95

## I.- INTRODUCCION.

México ha tenido en los últimos años un gran crecimiento lo que nos hace pensar en un país no subdesarrollado sino en un país en pleno desarrollo industrial.

Esto reviste una gran importancia, ya que el desarrollo de la Economía general de un país, es fundamentada básicamente en su industrialización; y el progreso en su economía va a influir directamente sobre los otros aspectos de la vida de un pueblo, como son educación, servicios y mejoramiento del nivel de vida.

● La tendencia de la Industria en México no es solamente la de satisfacer las necesidades del país, sino de llegar a aprovechar al máximo sus recursos naturales restringiendo así las exportaciones de materias primas y aprovechándolas en la manufactura de productos que actualmente son de importación y que podrían fabricarse en México, no solamente para cubrir las necesidades del país, sino para llegar a exportarlas y formar parte más activa dentro del Mercado Internacional con la consiguiente fuente de divisas para el país.

El objeto de esta Tesis es presentar un panorama de mercado en México, para los diferentes tipos de el polvo de hierro y sus aleaciones, y a su vez, una revisión de las tecnologías y normas de calidad existentes.

Asimismo se pretende estimular al inversionista para que contribuya al desarrollo de la metalúrgia de los polvos en -- México y a elaborar nuevos estudios de otros metales puesto -- que esta rama es prácticamente desconocida en nuestro país.

Se han realizado diversos estudios, acerca de otros polvos metálicos, por lo tanto esta tesis, aunque no tenga originalidad estrictamente científica, llevará siempre la exposición de un cuerpo sistemático a través de mi humilde criterio, radicando en ello la singularidad.

La producción anual de hierro en el año de 1972, fué de 503 millones de toneladas; el país de mayor producción de -- hierro es Estados Unidos de América, le sigue en importancia Japón, República Federal Alemana, Francia, Reino Unido, Australia, Suecia, Brasil, Canada, Venezuela. En el llamado -- Mundo libre, estos países son los más importantes.

En la producción mundial los países comunistas aportaron 165 millones de toneladas excentuando a Yugoeslavia.

Dentro del consumo mundial de hierro, destacan los siguientes países: Estados Unidos de América con el 18%; Japón con el 13.9%; la República Federal Alemana con el 6.7%; en -- menor escala se encuentra Francia con el 3.5% y México que -- participa con el 0.73%.

910. Nuestro país consume aproximadamente 3,670,031 toneladas, de las cuales 3,053,360, provienen de minerales y concentrados de hierro, y el resto se lleva a cabo comprándolo al extranjero, en un monto de \$82,847,760; de donde el 4.53% de esas adquisiciones están constituidas por polvos y partículas de este metal, procedentes en su mayor parte de Estados Unidos de América y de la República Federal Alemana.

## II.- GENERALIDADES.

Se entiende por polvos de hierro o de acero, el producto férreo pulverizado y susceptible de ser aglomerado.

Los polvos de hierro y de sus aleaciones pueden obtenerse por diversos métodos, la mayor parte de la producción se realiza por precipitación electrolítica, por reducción sin fusión del mineral o del óxido de hierro o por pulverización de hierro o acero; otro método sería el de atomización.

Según sea el método empleado para su preparación así variará, la forma, el tamaño y la condición de superficie de la partícula, siendo ésto muy importante para que los polvos puedan emplearse en la fabricación de partes terminadas.

Ya que las propiedades intrínsecas de los polvos varían con el método de obtención, no existe una especificación general para dichos polvos.

De acuerdo con la aplicación se debe determinar, empíricamente el tipo de polvo y proceso más adecuado con las especificaciones finales requeridas en el producto. Una vez que ha sido determinada la aplicación, las especificaciones de los polvos tales como: composición química, densidad aparente, velocidad de flujo, tamaño de partícula y distribución de tamaño, deben conservarse constantemente, puesto que para la producción de partes prensadas y sinterizadas depende

directamente del suministro de polvo de hierro con características idénticas ya que es difícil compensar las diferencias en la calidad del polvo durante la operación de prensado.

Por conclusión se obtiene que la mayor parte de las especificaciones para los polvos se establecen por métodos empíricos y la evaluación de la calidad de dichos polvos incluye -- pruebas bajo las condiciones reales de prensado y sinterizado.

Los polvos debido a las diferencias características inherentes a su procedencia tienen un uso muy variado por lo que concierne a los polvos de hierro, algunos de estos usos son -- los siguientes:

- a) Producción de piezas pequeñas de gran precisión.
- b) Componente para materiales de fricción.
- c) Componente para filtros sinterizados.
- d) Aplicaciones eléctricas y magnéticas.
- e) Partes para frenos.
- f) Aglutinante en discos abrasivos.
- g) Componente para inspección magnética.
- h) Aditivo para pinturas.
- i) Componente para conexiones de engranes magnéticos.
- j) Componente para imanes permanentes.
- k) Componente para partes estructurales.

- l) Constituyente en reactivos químicos.
- m) Componente para pirotécnia.
- n) Constituyente para alimentos.
- o) Componente en productos farmacéuticos.
- p) Constituyente en catalizadores.

### III.- ESTUDIO DE MERCADO.

#### III.1 PRODUCCION INTERNA DEL PAIS.

Actualmente en nuestro país la producción de polvos de -- hierro y de sus aleaciones es absolutamente nula, puesto que -- ninguna de las diferentes dependencias gubernamentales tiene -- registrada alguna compañía que produzca o vaya a elaborar este producto.

La Secretaría de Industria y Comercio no tiene en sus lig -- tas sugerencias de campos que pueden ser cubiertos por la in-- dustria nacional para sustituir importaciones a los polvos de -- hierro y acero y éstos no se encuentran catalogados, lo cual -- nos indica que es un artículo que no se produce.

#### III.2 IMPORTACIONES EN VOLUMEN Y VALOR.

Antes de 1964, las importaciones de los polvos de hierro -- venían bajo el nombre general de limaduras, rebabas y viruta, -- no especificada de hierro o acero, por lo cual concluimos que -- el monto de las importaciones era pequeño.

En el mes de Enero de 1964, se crea un permiso para impor -- tación y se le asigna una fracción arancelaria determinada --- cuyo número fué 574.00.08, posteriormente es cambiado por la --

fracción arancelaria 75.05 A 001, siendo con la que actualmente es introducido al país.

El consumo de polvos de hierro se ha venido evaluando -- desde hace varios años, para darnos información del monto de su importación. Para esto se han recopilado la cantidad importada en kilogramos brutos y su costo respectivo por cada año, dichos datos se obtuvieron de los Anuarios Estadísticos de la República Mexicana.

TABLA No. 1.

AÑOS	KILOGRAMOS-BRUTO.	VALOR EN PESOS.
1964	25405	85395
1965	324217	1130081
1966	154446	679075
1967	210125	1008908
1968	464713	1752273
1969	527718	2464106
1970	587752	2607941
1971	615849	2242979
1972	872752	3587565
1973 Enero-Marzo	261056	1156987

Con los datos obtenidos en los meses de Enero a Marzo de 1973, se puede hacer una estimación para el consumo de los -- polvos de hierro de este año; dicha estimación se calcula obteniendo los promedios de estos 3 meses y multiplicando por 12 meses, esto a su vez se multiplica por el 0.32% que es el incremento anual, obteniéndose lo siguiente:

1973	1375755.48	6094595.60
------	------------	------------

Por medio de los datos representados en la tabla No. 1 se pueden trazar 2 gráficas; una en la que se establecen las toneladas de polvo de hierro contra años y la otra el valor en pesos contra años.

Esto sirve para dar idea de la tendencia del consumo de estos durante los últimos 9 años y el estimado para 1973 que recopila este resumen de datos. (gráfica No. 1 y gráfica No. 2.)

Realizando un análisis de estas dos gráficas, se deduce lo siguiente:

- 1o. El consumo de los polvos de hierro a partir de -- los años de 1964 a 1966 presenta un comportamiento bastante irregular.
- 2o. Por lo que respecta al consumo del polvo de hierro se observa que a partir del año de 1967, muestra -- una marcada tendencia ascendente.

México desde hace años ha venido importando cantidades -- considerables de polvos de hierro, que atienden a las necesidades de las diversas industrias que lo consumen; cada día aumenta el requerimiento de estos polvos ya que el crecimiento de tales industrias depende directamente de su uso.

A continuación se dará información de la importación de los polvos de hierro y su procedencia desde el año de 1964, al mes de Marzo de 1973 por medio de la tabla No. 2., la cual nos relaciona con los países exportadores de este producto estableciéndose el año, kilogramos comprados, su valor en moneda nacional y el valor por kilogramo.

TABLA No. 2.

<u>PAIS DE PROCEDENCIA</u>	<u>CANTIDAD KG. BRUTO.</u>	<u>VALOR EN \$</u>	<u>PRECIO POR KILOGRAMO.</u>
1962.			
AUSTRIA	6000	17875	2.97
ESTADOS UNIDOS	16400	30397	1.85
REP. FED. ALEMANA	228	1781	7.81
1963.			
ESTADOS UNIDOS	3345	26892	8.03
ITALIA	3	40	13.33

<u>PAIS DE PROCEDENCIA</u>	<u>CANTIDAD KG. BRUTO.</u>	<u>VALOR EN \$</u>	<u>PRECIO POR KILOGRAMO.</u>
1964.	KG. LEGAL.		
ESTADOS UNIDOS	25400	85263	3.35
REP. FED. ALEMANA	5	132	26.40
1965.	KG. BRUTO.		
ESTADOS UNIDOS.	312533	1088452	3.482
REP. FED. ALEMANA	11684	41629	3.56
1966.			
CANADA	8618	23040	2.67
REP. FED. ALEMANA	1045	4187	4.00
ESTADOS UNIDOS	144783	651849	4.50
1967.			
ESTADOS UNIDOS	194820	954157	4.89
REP. FED. ALEMANA	15305	54717	3.57
1968.			
ESTADOS UNIDOS	428952	1646831	3.83
REP. FED. ALEMANA	35581	102874	2.89
BELGICA.	123	2063	16.77
ITALIA.	57	505	8.85
1969.			
CANADA.	2472	6981	2.78
ESTADOS UNIDOS	448601	2003873	4.91
REP. FED. ALEMANA	76521	251309	3.28

PAIS DE PROCEDENCIA	CANTIDAD KG. BRUTO.	VALOR EN \$	PRECIO POR KILOGRAMO.
1969			
BELGICA.	119	2016	16.94
ESPAÑA	5	14	2.80
1970.			
REP. FED. ALEMANA	41929	147651	3.52
BELGICA-LUXEMB.	62	1563	25.20
ESPAÑA.	39260	90170	2.50
ESTADOS UNIDOS.	500789	2339018	4.67
1971.			
REP. FED. ALEMANA.	32399	127763	3.94
BELGICA-LUXEMB.	62	813	13.11
ESPAÑA.	6	70	11.66
ESTADOS UNIDOS.	583323	2113290	3.62
ITALIA.	53	560	10.56
REINO UNIDO.	4	106	26.50
SUIZA.	2	377	188.50
1972.			
REP. FED. ALEMANA.	47284	208475	4.40
ESTADOS UNIDOS	825397	3374084	4.08
ITALIA.	42	618	14.71
SUIZA.	8	4190	523.75

Total 110

<u>PAIS DE PROCEDENCIA</u>	<u>CANTIDAD KG. BRUTO.</u>	<u>VALOR EN \$</u>	<u>PRECIO POR KILOGRAMO.</u>
1973.			
REP. FED. ALEMANA	31185	79512	2.54
REINO UNIDO.	1	2	2.00
ESTADOS UNIDOS	35680	333285	8.13
ITALIA.	33	15587	4.77
SUIZA.	2300	3408	1.98

sigues en las bajas.

III.2 a IMPORTACIONES EN VOLUMEN Y VALOR DEL POLVO DE HIERRO ESPONJA.

Las importaciones del polvo de hierro esponja, no aparecen registradas en los anuarios estadísticos de la Secretaría de -- Industria y Comercio hasta el año de 1966, donde se les asigna la fracción arancelaria número 73.05. A 002, con la que actualmente es introducido al país. El consumo de polvo de hierro -- esponja, se ha venido evaluando desde hace varios años, para -- darnos información del monto de su importación. Se han recopilado la cantidad importada en kilogramos brutos y su costo respectivo por año.

TABLA No. 3.

AÑOS	KILOGRAMOS-BRUTO	VALOR EN PESOS.
1966	1877	48809
1967	713	68638
1968	298	2194
1969	115	7005
1970	325	5435
1971	17735	15879
1972	12527	137292
1973 Enero	184	1070

Con los datos obtenidos de los Anuarios Estadísticos en los años 1971-1972, se ve que el consumo de polvo de hierro ha sido uniforme, ahora bien, tomando ésto como base se puede hacer una estimación para el consumo de polvo de hierro esponja para el año de 1973; dicha estimación se calcula, como en el caso anterior, con los promedios de 1971 y 1972 dividiéndolos entre dos, obteniendo lo siguiente:

1973	15131	90785
------	-------	-------

Tomando los datos de la tabla No. 3 se hacen 2 gráficas, una de toneladas de polvo de hierro esponja contra años y otra de valor en pesos contra años, para dar idea de la tendencia del consumo de estos durante los últimos siete años y el estimado para 1973, que recopila la tabla.

(gráfica No.10 y No.11 apéndice.)

Del análisis de estas gráficas deducimos que:

- 1.- El consumo de los polvos de hierro esponja presentan un comportamiento irregular en los primeros años.
- 2.- A partir de 1967 muestra una marcada tendencia ascendente.

A continuación se dará información de la importación de los polvos de hierro esponja, su procedencia desde el año de 1966 al mes de Enero de 1973.

La tabla No. 4 nos da una relación de los países exportadores de nuestro producto, kilogramos comprados, su valor en moneda nacional y precio por cada kilogramo.

TABLA No. 4.  
H I E R R O    E S P O N J A .

<u>PAIS DE PROCEDENCIA</u>	<u>CANTIDAD KG. BRUTO.</u>	<u>VALOR EN \$</u>	<u>PRECIO POR KILOGRAMO.</u>
1966.			
ESTADOS UNIDOS	1875	48578	25.90
JAPON.	2	231	115.50
1967.			
ESTADOS UNIDOS.	713	68638	96.26
1968.			
ESTADOS UNIDOS.	298	2194	7.36
1969.			
ESTADOS UNIDOS.	115	7005	60.91
1970.			
ESTADOS UNIDOS.	325	5435	16.72
1971.			
ESTADOS UNIDOS.	17735	15879	0.895
1972.			
ESTADOS UNIDOS.	12527	137292	10.95
1973. Enero			
ESTADOS UNIDOS.	184	1070	5.86

↓ El polvo de hierro esponja es producido por la reducción uniforme del mineral de hierro magnetita de alto grado a una temperatura más baja de el punto de fusión del hierro. Examinando microscópicamente el material producido de esta forma -- revela las partículas porosos y spong-like en todas las partes, varios pasos de demolición, separación magnética, temple y -- cribado, produce varios grados básicos del polvo de hierro -- esponja Ancor, combinado para muchas aplicaciones.

### III.3 USOS.

Los polvos de hierro y de sus aleaciones tienen una gran variedad de aplicaciones y usos, que a continuación se detallan.

- a) Piezas estructurales.
- b) Electricidad y electrónica.
- c) Radio y televisión.
- d) Telefonía.
- e) Refacciones automotrices.
- f) Materiales para vuelos espaciales.
- g) Abrasivo para ruedas.
- h) Reactivos químicos.
- i) Catálisis.

- j) Pirotecnia.
- k) Partes de lubricación.
- l) Agricultura.
- m) Edificios y construcciones.
- n) Armamento.
- o) Artículos personales.
- p) Partes ferroviarias.
- q) Soldaduras de arco.
- r) Revestimientos.
- s) Filtros sinterizados.
- t) Materiales de fricción.
- u) Herramientas.
- v) Revestimiento metálico.
- w) Fabricación de acero.
- x) Cortadores de flama.
- y) Endurecedor de superficie.
- z) Inspección magnética.

#### III.4 SUSTITUTOS.

Por lo que respecta a los posibles sustitutos para los --  
polvos de hierro y de sus aleaciones, damos a continuación una  
relación que nos indica algunos de ellos, los cuales han sido--  
ordenados a partir del que nos presenta mayores ventajas, para

un uso específico y determinado.

APLICACION:	POLVOS EMPLEADOS:
1 a.- Chumaceras.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
2 a.- Cojinetes.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
3 a.- Bujes.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
1 b.- Piezas para postes.	Acero, Fierro, Niquel, Cobalto, Aluminio, Cobre.
2 b.- Bobinas de reducción.	Acero, Fierro, Niquel, Cobalto, Aluminio, Cobre.
3 b.- Bobinas de inductancia.	Acero, Fierro, Niquel, Cobalto, Aluminio, Cobre.
1 c.- Magnetos permanentes.	Fierro, Acero, Niquel, Cobalto, Aluminio, Cobre.
2 c.- Controles alineadores de televisión.	Fierro, Acero, Cobalto, Aluminio Cobre.
3 c.- Núcleos de sintonización.	Fierro, Acero, Cobalto, Aluminio Cobre.
4 c.- Transformadores I.F.	Acero, Fierro, Cobalto, Aluminio Cobre.
1 d.- Núcleos osciladores.	Fierro, Acero, Cobalto, Aluminio Cobre.
2 d.- Núcleos de audiofrecuencia.	Fierro, Acero, Cobalto, Aluminio Cobre.
3 d.- Núcleos transformadores.	Fierro, Acero, Cobalto, Aluminio Cobre.
1 e.- Bandas para frenos.	Cobre, Estaño, Acero, Aluminio.
2 e.- Abrazaderas.	Cobre, Estaño, Acero, Aluminio.

APLICACION:	POLVOS EMPLEADOS:
1 f.- Revestimiento de frenos.	Cobre, Estaño, Acero, Fierro.
2 f.- Contrapesos.	Tungsteno, Cobre, Niquel, -- Acero.
1 g.- Sierras abrasivas.	Acero, Fierro, Estaño, Niquel.
2 g.- Abrasivo para ruedas.	Acero, Fierro, Estaño, Niquel.
3 g.- Ruedas cortantes.	Cobre, Acero, Fierro, Estaño, Niquel.
1 h.- Química.	Aluminio, Estaño, Cobre, Fierro Acero.
1 i.-Catalizadores químicos.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
2 i.- Refinación de petróleo.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
3 i.- Síntesis de anilinas o amonio.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
1 j.- Candiles de oxígeno.	Cobre, Compuestos de cobre, Fierro, Magnesio, Latón.
1 k.- Bujes autolubricantes.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
2 k.- Envases de gasolina.	Fierro, Acero, Cobre, Niquel.
1 l.- Maquinaria para agri- cultura.	Acero, Fierro, Cobre.
2 l.- Selección de semillas.	Acero, Fierro, Cobre.
3 l.- Enriquecimiento de alimentos.	Fierro, Acero, Manganeso.
4 l.- Césped y jardinería.	Fierro, Acero, Manganeso.
5 l.- Acondicionamiento de tierra.	Fierro, Acero, Manganeso.
1 m.- Plásticos decorativos.	Acero, Fierro, Bronce, Cobre, Aluminio.
2 m.- Aditivo para cementos.	Acero, Fierro, Bronce, Cobre, Aluminio.
3 m.- Linoleums para pisos.	Acero, Fierro, Bronce, Cobre, Aluminio.

APLICACION:	POLVOS EMPLEADOS:
1 n.- Bombas incendiarias.	Acero, Fierro, Aluminio, Cobre, Cerio, Magnesio, Zinc, Silicón.
2 n.- Bombas luminosas.	Acero, Fierro, Aluminio, Cobre, Cerio, Magnesio, Zinc.
3 n.- Torpedos.	Acero, Fierro, Aluminio, Cobre, Cerio, Magnesio, Zinc.
4 n.- Bandas rotatorias de proyectiles.	Cobre, Acero, Latón.
1 o.- Encendedores.	Cobre, Niquel, Latón, Acero.
2 o.- Minibicicletas.	Cobre, Niquel, Latón, Acero.
3 o.- Carros de bicicletas.	Cobre, Niquel, Latón, Acero.
4 o.- Navajas de afeitar.	Cobre, Niquel, Latón, Acero.
5 o.- Trineos.	Cobre, Niquel, Latón, Acero.
1 p.- Bandas de fricción en pantógrafos.	Cobre, Acero, Molibdeno, - - niquel.
1 q.- Soldaduras.	Acero, Fierro.
1 r.- Revestimiento de cañones de pistola.	Acero, Fierro.
2 r.- Revestimiento de frenos.	Cobre, Fierro, Estaño, Niquel.

Realizando un análisis de lo anterior, observamos que hay diversas aplicaciones en las cuales los polvos de hierro son -- los más indicados para ser empleados, ya que nos presentan mejores características, como son: dureza, resistencia, maleabilidad y el costo es abatido sobre sus posibles sustitutos.

En algunos casos, los polvos de hierro son sustituidos -- por otros polvos metálicos o bien son base de aleaciones debido a sus características especiales.

**III.5** PRINCIPALES USOS DEL POLVO DE HIERRO Y DE SUS ALEACIONES EN MEXICO.

En la revista "Sobordo Mercantil" se obtuvieron los datos referentes a las Compañías que importaron estos productos durante el año de 1972, teniéndose así una lista que nos representa en forma muy completa los usos reales de los polvos de hierro y sus aleaciones en México.

- 1.- Todo tipo de chumaceras, bujes autolubricantes, cojinetes.
- 2.- Todo tipo de abrazaderas.
- 3.- Electrodo para soldadura.
- 4.- Cortadores de flama.
- 5.- Química General.
- 6.- Magnetos permanentes.
- 7.- Revestimiento de bandas de hule.
- 8.- Núcleos para bobinas electromagnéticas.
- 9.- Enriquecimiento para alimentos.
- 10.- Todo tipo de abrasivos para ruedas.
- 11.- Productos farmaceuticos.

12.- Bobinas de reducción, transformadores.

13.- Endurecimiento de superficies.

Brevemente se describe cada uno de los usos en México, y las posibilidades de ser sustituidos por otros.

1 .- Varios tipos de chumaceras, bujes autolubricantes y cojinetes.-

Este uso es uno de los más importantes, ya que las diversas piezas son fabricadas por la compresión de los polvos metálicos en una matriz de precisión a temperatura ambiente, las presiones de compactación son de el orden de 15 Tons., o más, - por pulgada cuadrada, según sea la pieza requerida.

El compactado es expulsado y calentado en una atmósfera -- controlada de superficie sinterizada para que las partículas de polvo se enlacen metalúrgicamente (sinterizado). El sinterizado es un fenómeno que resultó en la transferencia atómica (difusión) abajo del punto de fusión del metal; generalmente alrededor de dos terceras partes del punto de fusión, las piezas pueden ser presionadas y sinterizadas directamente a su forma final, tamaño y terminado de la superficie.

Dichas piezas pueden ser de cualquier metal o aleación, -- pero los polvos de hierro presentan la ventaja de abatir el cog

to, además se eliminan muchas de las operaciones de terminado, que exige cualquier otro método.

Las partes pueden ser adaptadas al tamaño acuñado o reprensado a una tolerancia máxima, impregnadas con aceite o plástico infiltrado con un metal o aleación más baja, tratada en caliente, laminada, maquinada, o procesada de otra forma de acuerdo a la pieza que se fabrique.

La producción de piezas sinterizadas llega a ser de 1,000 por hora en un proceso automático convencional, algunas configuraciones pueden hacerse tan rápidamente como 3,000/hora, todo de acuerdo a la demanda y a las aplicaciones.

## 2.- Abrazaderas.-

Para este uso en el cual además de maleabilidad se requiere cierta dureza, los polvos más indicados son los de hierro y acero, a su vez su costo es más bajo en relación con algunos -- otros polvos metálicos.

## 3.- Soldadura.-

Existe un mejoramiento notable en la soldadura de arco que introducido con la manufactura de electrodos en forma de barra contenga polvos de hierro en su revestimiento. También éstos -

son usados en la fusión de núcleos de la soldadura de alambre.

Electrodos con 65% de polvo de hierro en su revestimiento doblan más el promedio de vida de la soldadura para metal que el que puede ser depositado con electrodos no revestidos, las soldaduras resultantes tienen un enlace suave, uniforme y parejo y sus propiedades mecánicas en general son superiores a - - esas hechas con electrodos planos.

#### 4.- Cortadores de Flama.-

Otros polvos de hierro son usados con polvo oxiacetileno en una antorcha cortadora para el cortado de aceros inoxidables, altas aleaciones o refractarios.

Cuando se introduce dentro de la flama, su reacción exotérmica aumenta la temperatura de la flama facilitando que se - - licue y se limpien las altas aleaciones de óxidos que pueden - - prevenir o impedir seriamente los esfuerzos de cortado.

#### 5.- Química General.-

En ciertos procesos se emplean polvos de hierro como catalizadores; en nuestro país la cantidad consumida en esta rama es pequeña. Otro de sus usos es la fabricación de algunos - - reactivos en pequeño; también es utilizado como agente reduc--

tor en la elaboración de anilinas y tintes; se usa para platear vidrio y aplicaciones al reverso de espejos como material de -- desplazamiento.

6.- Magnetos permanentes.-

El magneto permanente retiene un valor constante de flujo-magnético estructural por un periodo indeterminado. Los magnetos permanentes son usados en la práctica hechos de aleaciones-endurecidas y son magnetizadas por instalaciones en un fuerte - campo magnético.

Generalmente se emplean polvos metálicos mezclados en las proporciones requeridas, comprimidos, sinterizados y tratados - con calor. Los magnetos sinterizados con gránulos finos, son - fuertes físicamente y por lo tanto más fácilmente se puede ha-- cer la toma de tierra cuando es necesario.

7.- Revestimiento de Bandas de hule.-

Para este uso los polvos de hierro presentan ventajas sobre otros polvos debido a que además de proporcionar resistencia a la banda, mantienen la flexibilidad del hule.

8.- Núcleos para bobinas electromagnéticas.-

El material ideal para bobinas de pequeña inductancia y -

transformadores empleados en servicios de teléfonos y radio -- los polvos de hierro, aproximando las características de permeabilidad constante, pequeña pérdida por histericis y pequeña pérdida de corriente. Los granos finos de polvo de hierro -- aislados y comprimidos, forman un buen material para muchas -- aplicaciones de núcleos, con propiedades superiores a las de las hojas de laminación o las de alambre de hierro fino usado antiguamente.

COMPARACIONES DE POLVOS COMPRIMIDOS DE HIERRO CON OTROS MATERIALES.

Material de núcleos.	Permeabilidad.	
	Máximo	H = 0 Inicial.
Núcleos de polvo de hierro (Grado A)	156.5	54.8
" " " (Grado B)	57.2	35
" " " (Grado C)	48	26
Polvo de hierro no recocido.	540	80
" " "	240	69.4
" " "	156	52

9.- Enriquecimiento para alimentos.-

Es utilizado para aditamento de harinas, panes, y productos de cereal, como medio dietético, para este uso se requiere

una alta pureza y finura de los polvos, para así mejorar la --  
bio-disponibilidad.

10.- Todo tipo de abrasivos para ruedas.-

Para este uso se requiere una composición de polvos de --  
hierro y aditivos de asbesto para la fricción metálica.

11.- Productos farmacéuticos.-

Son utilizados en farmacia para enriquecer tónicos y di--  
versas medicinas.

12.- Bobinas de reducción y transformadores.-

Los polvos de hierro son comprimidos y desarrollados para  
estas aplicaciones tal como recargar bobinas de inducción para  
grandes circuitos de cables telefónicos. Las propiedades supe  
riores de magnetismo permiten el uso de núcleos más cortos, --  
con un ahorro considerable en el total de dimensiones de una -  
bobina de obtención de inductancia.

13.- Endurecimiento de superficies.-

Los polvos endurecedores de superficie han sido atomiza--  
dos en altas aleaciones, hay varios tipos de polvos en los - -  
cuales se encuentran los requerimientos de las diferentes va--

riaciones de dureza de la superficie, ductibilidad, resistencia al calentamiento y corrosión.

Una de las informaciones más importantes que puedan proporcionar las investigaciones en las publicaciones de los Sobordos Mercantiles, es que conocida la rama de actividad de cada compañía importadora, puede determinarse cual es el tipo de polvos de hierro y sus aleaciones, que tienen mayor demanda, ya que existe una gran variedad de procesos disponibles, y como se mencionará posteriormente, cada proceso produce polvos de hierro y aleaciones con características muy particulares, debiéndose entonces seleccionar el proceso más adecuado al tipo que requiera mayor volumen de importación.

### III.6 PRINCIPALES CONSUMIDORES.

La mayor parte de los polvos de hierro y de sus aleaciones como ya se mencionó anteriormente son consumidos por compañías dedicadas a la fabricación de soldaduras y en la industria de metales sinterizados; a continuación se da una relación de dichas industrias y el volumen consumido en el año de 1972, expresándose como por ciento del total, esta información se obtuvo de la Revista Sobordos Mercantiles.

COMPANÍA.	CANTIDAD EN KG.	PORCENTAJE.
1.- AGA DE MEXICO, S.A.	409059	51.93 %
2.- ARMCO MEXICANA, S.A.	203453	25.83 %
3.- SINTERMEX, S.A.	63016	8.00 %
4.- JESUS VALENCIA.	20532	2.60 %
5.- REAL Y CIA, S.A. de C.V.	15801	2.00 %
6.- CABEZA Y CIA.	15801	2.00 %
7.- SOLDADURAS TECNICAS, S.A.	14596	1.85 %
8.- AGUSTIN DEL RIO.	10460	1.33 %
9.- SAMUEL MARTINEZ.	10054	1.28 %
10.- PRODUCTOS MEXICANOS FLEX-ARC, S. A.	9094	1.15 %
11.- CIA. FRANCE DE OCCIDENTE.	6032	0.77 %
12.- SINTERMETAL, S. A.	4081	0.51 %
13.- CHAMPION HOBART, S.A.	2115	0.27 %
14.- BRIMEX, S. A.	846	0.11 %
15.- EUTETIC, S. A.	846	0.11 %
16.- ELECTRODOS INFRA, S.A.	616	0.08 %
17.- UTP., INDUSTRIA MEXICANA, S.A.	530	0.07 %
18.- TECNO-MECANICA, S.A.	318	0.04 %
19.- CLEVITE DE MEXICO, S.A.	222	0.03 %
20.- INDUSTRIAS VIRREY, S.A.	<u>163</u>	<u>0.02 %</u>
	787635	100.00 %

Efectuando una comparación de el volumen de importaciones

que se consultó en los anuarios estadísticos de la Secretaría de Industria y Comercio, en el total obtenido de los Sobordos Mercantiles, se concluye que el valor para los Sobordos es - - aproximadamente tres cuartas partes del dato de la Secretaría de Industria y Comercio. Esta discrepancia se debe a que los Sobordos incluyen solamente las Aduanas Marítimas de los Puertos de Veracruz, Ver., y Tampico, Tamps., y la aduana fronteriza de Nuevo Laredo, Tamps., y probablemente el faltante se encuentre en las entradas al país por otras aduanas.

### III.7 DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS CONSUMIDORES.-

Las principales industrias que consumen la mayoría de los polvos de hierro, son las de electrodos para soldadura, cortadores de flama y la de sinterización de metales.

Es importante localizar estos centros de consumo para distribuir los polvos de hierro convenientemente y, tener idea de donde se podría instalar una planta productora de polvo de hierro.

Para situar regionalmente dichas industrias se recurrió a la Asociación Nacional de la Industria Química, a la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación, y a la Secretaria

ría de Industria y Comercio, así obtuvimos la siguiente información; que los grandes núcleos se encuentran en los estados de México y Nuevo León así como en el Distrito Federal, es decir que los polvos de hierro y sus aleaciones se consumen en la región central del país.

Tomando en consideración lo anterior, se deduce que el lugar más apropiado para la instalación de una planta productora de polvos de hierro es el Distrito Federal o en su defecto algún Estado cercano.

### III.8 HISTORIA DE PRECIOS.

La historia de precios nos revela, la variación del costo unitario durante un intervalo de tiempo determinado.

Para obtener el costo unitario, se han tomado los datos de cantidad en kilogramos brutos importados y el valor global de las importaciones respectivas desde el año de 1964 al mes de Enero-Marzo de 1973.

En estos costos no están incluidos los impuestos ni los fletes nacionales, la diferencia de precios se debe a que las importaciones proceden de diferentes países; y en las fuentes de información no se mencionan la calidad de los polvos impor-

tados, razón por la cual existen variaciones, según puede verse en la tabla II.

AÑOS	PRECIO UNITARIO	% BASE 1964.
1964	3.36	0
1965	4.48	3
1966	4.39	14
1967	4.80	30
1968	3.77	11
1969	4.66	29
1970	4.43	25
1971	3.64	8
1972	4.11	19
1973	4.43	25

Se hace la aclaración que solo se tomó el valor de los - - tres primeros meses de 1973, si graficamos estos datos se puede observar facilmente que el precio unitario entre 1964 y 1973 ha sufrido una variación relativamente alta ese aumento ha sido de un 35%. Es difícil explicar si dicho aumento se debe a un incremento de los costos de producción, de materia prima o o bien a que la industria mexicana está requiriendo polvos de mayor cali

dad que obviamente tienen un precio mayor.

Por lo que respecta a los proveedores en nuestro país, no fue posible localizar a ninguna Compañía dedicada a la importación de polvos de hierro, los precios que se presentan en este capítulo pueden considerarse como precios reales por kilogramo en el país.

Grado y especificaciones.- En México no existe norma alguna de pureza para los polvos de hierro, según la información -- obtenida de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Industria y Comercio, por no tener producción nacional de este producto, la mayor parte de los polvos de hierro se importan de Estados Unidos de América, país que pertenece a la Metal Powder Institute Federation, y por lo cual sigue norma de calidad y -- especificaciones muy estrictas de los procedimientos de prueba de la Metal Powder Institute Federation; también se importa de la República Federal Alemana, Suecia, Países Bajos, etc., pero de ellos no se sabe que normas de calidad siguen.

Embarque y Almacenamiento.- Generalmente todos los polvos de hierro y sus aleaciones son empacados en tambores cerrados y sellados herméticamente, que están equipados con forros de -- polietileno, por lo cual no habrá peligro de contaminación o --

deterioro siempre que permanezcan sin abrirse.

Aduana y Permiso de Importación.- Por no haber producción nacional de polvos de hierro y de sus aleaciones, no hay restricciones para la libre introducción de él y además no se necesita permiso de importación. La tarifa de impuestos generales de importación para los polvos de hierro y de sus aleaciones son las siguientes:

Polvo de hierro o acero.

- 1) Advalorum . . . . . 15%
- 2) Unidad para la aplicación K.B.
- 3) Específicos. . . . . Exenta.

Polvo de hierro esponja.

- 1) Advalorum . . . . . 35%
- 2) Precio oficial . . . . . \$ 3.00 K.B.
- 3) Específicos. . . . . Exenta.

Para complementar la Tabla II, se calcularon los precios unitarios para los dos países de los cuales proviene la mayor parte de las importaciones de polvos de hierro o sean Estados Unidos de América y República Federal Alemana.

<u>PAIS</u>	<u>1964</u>	<u>1965</u>	<u>1966</u>	<u>1967</u>	<u>1968</u>	<u>1969</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>	<u>1972</u>	<u>1973</u>
Estados Unidos.	3.36	3.48	4.50	4.89	3.83	4.91	4.67	3.62	4.08	3.93
Republica Federal Alemana.	26.40	3.56	4.00	3.57	2.89	3.28	3.52	3.94	4.40	4.77

Graficando estos valores contra años, podemos observar que -- estos dos países tienen un comportamiento en los precios muy parecido al precio unitario global. Por lo que que consideramos que -- esos precios son normales en su tendencia.

### III.9 PROYECCION DE LA DEMANDA.-

En este capítulo se tratará de explicar por medio de un estudio estadístico, la proyección de la demanda de los polvos de hierro y de sus aleaciones. Y generalmente en un estudio económico se cuenta con datos de importación, exportación, producción, -- consumo, ventas, etc, los cuales nos muestran un antecedente y nos proporcionan una base para así poder seguir la trayectoria a que -- tienden ellos y pronosticar, mediante un estudio estadístico, ha-- cia años futuros.

Existen diversos métodos para analizar este tipo de datos --- anuales, que en lenguaje estadístico se denominan "Series de tiempo". El más común de ellos es el de "Mínimos Cuadrados" y será el

método que se aplicará a este estudio.

III.9 a.- REGRESION LINEAL.

METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS.-LINEA RECTA.

La ecuación base para calcular este método es la siguiente:

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X \quad (1)$$

de donde Y nos representa las toneladas brutas y X nos representa los años,  $\hat{\alpha}$  y  $\hat{\beta}$  son constantes de proporcionalidad.

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	25.405	1	645.414	25.405
2	324.217	4	105 116.663	648.434
3	154.446	9	23 853.566	463.338
4	210.125	16	44 152.515	840.500
5	467.713	25	218 755.450	2 338.565
6	527.718	36	278 486.287	3 166.308
7	587.752	49	345 412.447	4 114.026
8	615.849	64	379 269.990	4 926.792
9	872.732	81	761 661.143	7 854.588
<u>10</u>	<u>1 375.755</u>	<u>100</u>	<u>1 892 701.820</u>	<u>13 757.55</u>
55	5 161.712	385	4 050 055.295	38 135.506

$$\hat{\beta} = \frac{\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n} \quad (2)$$
$$\frac{\sum X^2 - (\sum X)^2}{n}$$

$$\hat{\beta} = \frac{38135.506 - (55)(5161.712)}{10} \quad (3)$$
$$385 - \frac{(55)^2}{10}$$

$$\hat{\beta} = 118.13$$

$$\hat{\alpha} = \bar{Y} - \hat{\beta} \bar{X}$$

en donde  $\bar{Y}$  nos representa la media de las Y toneladas y  $\bar{X}$  nos representa la media de los años.

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{5161.712}{10}$$

$$\bar{Y} = 516.172$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{55}{10}$$

$$\bar{X} = 5.5$$

$$\hat{\alpha} = 516.171 - (5.5)(118.134)$$

$$\hat{\alpha} = -133.566$$

Cálculo de las toneladas esperadas.

Tomando la ecuación No. (1) tenemos:

$$\text{Para } X = 1$$

$$Y = (-133.566) - 118.13$$

$$Y = -15.432$$

Siguiendo con el mismo cálculo y agrupando valores se obtiene la siguiente tabla:

X	Y
1	- 15.43
2	102.70
3	220.83
4	338.97
5	457.10
6	575.23
7	696.37
8	811.30
9	929.64
10	1 047.77
11	1 165.90
12	1 284.04
13	1 402.17
14	1 520.31
15	1 638.44

Ver gráfica No. 5, apéndice.

Verificación por medio del coeficiente de correlación:

$$\rho = \hat{\beta} \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}}$$

X	Y	X - $\bar{X}$	(X - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	Y - $\bar{Y}$	(Y - $\bar{Y}$ ) <sup>2</sup>
1	25.405	- 4.5	20.25	- 490.766	240 851.260
2	324.217	- 3.5	12.25	- 191.954	36 846.338
3	154.446	- 2.5	6.25	- 361.725	130 844.970
4	210.125	- 1.5	2.25	- 306.046	93 664.154
5	467.713	- 0.5	0.25	- 48.458	2 348.177
6	527.718	0.5	0.25	11.547	133.333
7	587.752	1.5	2.25	71.581	5 123.839
8	615.849	2.5	6.25	99.678	9 935.703
9	872.732	3.5	12.25	356.561	27 135.740
10	1 375.755	4.5	<u>20.25</u>	859.584	<u>738 884.650</u>
			82.50		1 385 768.164

$$\rho = 118.13 \sqrt{\frac{82.50}{1\ 385\ 768.164}}$$

$$\rho = 0.911963$$

El coeficiente de correlación es muy cercano a la unidad, por lo que se puede considerar este método como bueno, debido a la proximidad de este coeficiente a la unidad, nos indica - que es confiable esa proyección a la demanda.

$$\begin{aligned} 1 - \rho^2 &= 1 - 0.831 = 0.16 & (3) \\ 0.16 \times 100 &= 16\% \\ \rho^2 &= 0.831 \end{aligned}$$

El 16% es la diferencia entre lo real y lo calculado.

Cálculo del ruido o error, promedio de las toneladas - - consumidas con respecto a las calculadas.

AÑOS	TONELADAS BRUTAS IMPORTADAS Y1	TONELADAS BRUTAS ESPERADAS Y1	ERROR O RUIDO E.
1	25.405	- 15.43	30.83
2	324.217	102.70	221.51
3	154.446	220.83	- 66.39
4	210.125	338.97	- 128.85
5	467.713	457.10	10.61
6	527.718	575.23	- 47.52
7	587.725	693.37	- 105.65
8	615.849	811.30	- 195.46
9	872.732	929.64	- 56.91
10	1 375.755	1 047.77	327.98

Basándose en la siguiente ecuación se puede calcular ese error o ruido:

$$E = Y_i - \hat{Y}_i$$

$$E = 25.405 - (-15.43)$$

$$E_1 = 30.83$$

De esta forma se calculan los errores o ruidos de la tabla anterior y se dan en la siguiente tabla:

AÑOS X	ERROR E
1	30.83
2	221.51
3	- 66.39
4	- 128.85
5	10.61
6	- 47.52
7	- 105.65
8	- 195.46
9	- 56.91
10	327.98

Por medio de este cálculo obtenemos valores de las diferencias entre lo importado y lo calculado, si graficamos estos valores de error contra años transcurridos se puede hacer la comparación de la trayectoria armónica de este método, con respecto a lo importado.

Ver gráfica No. 6 apéndice.

### III.9 b.- METODO CUADRATICO.-

Para este método que tiene como base la siguiente ecuación:

$$Y = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X + \hat{\gamma} X^2$$

En donde las Y nos representan las toneladas brutas, y -- las X, nos representan los años, y  $\hat{\alpha}$ ,  $\hat{\beta}$ ,  $\hat{\gamma}$  nos representan constantes de proporcionalidad.

X	Y	X <sup>2</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	XY	X <sup>2</sup> Y
1	25.5	1	1	1	25.5	25.5
2	324.3	4	8	16	648.6	1 297.2
3	155.4	9	27	81	466.2	1 398.6
4	210.2	16	64	256	840.8	3 363.2
5	468.1	25	125	625	2 340.5	11 702.5
6	528.5	36	216	1 296	3 171.0	19 026.0
7	588.5	49	343	2 401	4 119.5	28 836.5
8	616.4	64	512	4 096	4 931.2	39 449.6
9	873.3	81	729	6 561	7 859.7	70 737.3
<u>10</u> 55	<u>1 375.7</u> 5 165.9	<u>100</u> 385	<u>1000</u> 3025	<u>10 000</u> 25 333	<u>13 757.5</u> 38 160.5	<u>137 575.5</u> 313 411.9

Por lo tanto, tendremos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \Sigma Y &= N \hat{\alpha} + \Sigma X \hat{\beta} + \Sigma X^2 \hat{\gamma} \\ \Sigma XY &= X \hat{\alpha} + \Sigma X^2 \hat{\beta} + \Sigma X^3 \hat{\gamma} \\ \Sigma X^2 Y &= X^2 \hat{\alpha} + \Sigma X^3 \hat{\beta} + \Sigma X^4 \hat{\gamma} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\begin{aligned} 5161.9 &= 10 \hat{\alpha} + 55 \hat{\beta} + 385 \hat{\gamma} \\ 38160.5 &= 55 \hat{\alpha} + 385 \hat{\beta} + 3025 \hat{\gamma} \\ 313411.9 &= 385 \hat{\alpha} + 3025 \hat{\beta} + 25333 \hat{\gamma} \end{aligned}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones se obtienen los -  
siguientes valores para las constantes de proporcionalidad.

$$\begin{aligned}\hat{\alpha} &= 170.72 \\ \hat{\beta} &= -33.78 \\ \hat{\gamma} &= 13.81\end{aligned}$$

Ahora bien, desarrollando la ecuación base para algunos -  
valores se obtiene lo siguiente:

$$\text{Para } X = 1$$

$$Y = 170.72 \quad (-33.78) (1) + 13.81 (1)^2$$

$$Y = 150.75$$

Calculando de la misma forma y agrupando valores obtene--  
mos lo siguiente:

X	$Y_{est}$
1	150.75
2	158.40
3	193.67
4	256.56
5	347.07
6	465.20
7	610.20
8	782.32
9	985.31
10	1 213.92
11	1 470.15
12	1 754.00
13	2 065.47
14	2 404.56
15	2 771.27

Ver gráfica No. 7, apéndice.

Cálculo del coeficiente de correlación lineal.

Este cálculo es el del método de los mínimos cuadrados, --  
cuyo valor es:

$$\rho = 0.9119$$

Cálculo del coeficiente de correlación no lineal.

Tendremos como base la siguiente ecuación:

$$r^2 = \frac{\sum (Y_{est} - \bar{Y}_{est})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}$$

X	Y	Y - $\bar{Y}$	(Y - $\bar{Y}$ ) <sup>2</sup>	Y <sub>est</sub>	(Y <sub>e</sub> - $\bar{Y}_e$ )	(Y <sub>e</sub> - $\bar{Y}_e$ ) <sup>2</sup>
1	25.5	- 490.67	240 757.04	150.75	- 365.86	133 853.53
2	324.3	- 191.87	36 814.09	158.40	- 358.21	128 314.40
3	155.4	- 360.77	130 154.99	193.67	- 322.94	104 290.24
4	210.2	- 305.97	93 617.64	256.56	- 260.05	67 626.00
5	468.1	- 48.07	2 310.72	347.07	- 169.54	28 743.81
6	528.5	12.07	145.68	465.20	51.41	2 642.98
7	588.5	72.47	5 251.90	610.95	94.34	8 900.05
8	616.4	100.37	10 074.13	784.32	267.71	71 668.64
9	873.3	357.27	127 641.85	985.31	468.70	219 679.69
10	1 375.7	859.67	<u>739 032.50</u>	<u>1 213.92</u>	697.31	<u>486 241.23</u>
			1 385 800.50	5 166.15		1 251 960.55

$$\bar{Y}_{est} = \frac{\sum Y_{est}}{n} = \frac{5155.15}{10}$$

$$\bar{Y}_{est} = 516.61$$

Sustituyendo los valores necesarios en la ecuación base --  
tendremos:

$$r^2 = \frac{1251960.55}{1385800.5}$$

$$r^2 = 0.9034$$

$$r = 0.9505$$

El coeficiente de correlación lineal, es menor que la unidad, por lo que este método se apega a la realidad; ahora bien, analizando la diferencia existente entre lo real y lo calculado, tenemos:

Análisis de la proporción inexplicable:

$$1 - r^2 = \text{inexplicabilidad.}$$

$$1 - 0.9034 = 0.0966$$

Este análisis nos indica que el 9.6% aparece como inexplicable, es decir que hay un 9.6% de diferencia entre lo calculado y lo real.

CALCULO DEL ERROR.-

Con este cálculo, se analizará el error que hay entre el volumen de importación y lo calculado, por el método cuadrático.

Tendremos como base la siguiente ecuación:

$$E = Y - Y_{est}$$

Sustituyendo en esta ecuación tendremos:

$$E = 25.5 - 150.75$$

$$E = 82.98$$

Realizando este cálculo y dándole valores a X obtendremos lo siguiente:

X	E
1	- 125.2
2	165.9
3	- 38.2
4	- 46.3
5	121.1
6	- 63.3
7	- 38.4
8	- 167.9
9	- 112.0
10	161.8

III.9 c.- METODO DE LA PROPORCION RELATIVA CON RESPECTO AL -  
CONSUMO.

Basados en este método se puede analizar la variación del consumo del volumen importado, aunque este método no nos da -- prácticamente una proyección de la demanda para años futuros,-- es de gran ayuda, puesto que establece un criterio para verificar el aumento en el consumo con respecto a los años venideros.

Para tal objeto trabajaremos con porcentos, que se encuentran enlistados en la siguiente tabla:

X	Y	% Y
1	25.045	0.48
2	324.217	6.28
3	154.446	2.99
4	210.125	4.07
5	467.713	9.06
6	527.718	10.22
7	587.752	11.39
8	615.849	11.93
9	872.732	16.91
10	<u>1 375.755</u>	<u>26.65</u>
	5 161.712	99.989

Para este cálculo la ecuación que se tomará como base -- será:

$$\text{proporción relativa} = \frac{\% \text{ del año siguiente.}}{\% \text{ del año base.}}$$

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene lo siguiente:

$$\text{Pr } 1964/1965 = \frac{6.28}{0.48} = 13.06$$

$$\text{Pr } 1964/1965 = 13.06 (100) = 1306 \%$$

$$\text{Pr } 1965/1966 = \frac{2.99}{628} = 0.47$$

$$\text{Pr } 1965/1966 = 0.47 (100) = 47 \%$$

$$\text{Pr } 1966/1967 = \frac{4.07}{2.99} = 1.36$$

$$\text{Pr } 1966/1967 = 1.36 (100) = 135 \%$$

$$\text{Pr } 1967/1968 = \frac{9.06}{4.07} = 2.22$$

$$\text{Pr } 1967/1968 = 2.22 (100) = 222 \%$$

$$\text{Pr } 1968/1969 = \frac{10.22}{9.06} = 1.12$$

$$\text{Pr } 1968/1969 = 1.12 \quad (100) = 112 \%$$

$$\text{Pr } 1969/1970 = \frac{11.39}{10.22} = 1.11$$

$$\text{Pr } 1969/1970 = 1.11 \quad (100) = 111 \%$$

$$\text{Pr } 1970/1971 = \frac{11.93}{11.39} = 1.04$$

$$\text{Pr } 1970/1971 = 1.04 \quad (100) = 104 \%$$

$$\text{Pr } 1971/1972 = \frac{16.91}{11.93} = 1.41$$

$$\text{Pr } 1971/1972 = 1.41 \quad (100) = 141 \%$$

$$\text{Pr } 1972/1973 = \frac{26.65}{16.91} = 1.57$$

$$\text{Pr } 1972/1973 = 1.57 \quad (100) = 157 \%$$

Cálculo de la proporción relativa de consumo, dentro del período de tiempo considerado en este trabajo.

$$\text{Pr } 1964/1973 = \frac{(6.28)(2.99)(4.07)(9.06)(10.22)(11.39)}{(0.48)(6.28)(2.99)(4.07)(9.06)(10.22)}$$

$$\frac{(11.93)(16.91)(26.63)}{(11.39)(11.93)(16.91)}$$

$$\text{Pr } 1964/1973 = \frac{432993007.6599}{7803981.1507} = 54.523605$$

$$\text{Pr } 1964/1973 = 55.52 (100) = 5552 \%$$

Graficando los valores observamos ese aumento de consumo que se tiene año tras año.

(Ver gráfica No. 9. apéndice)

El significado físico de los valores obtenidos, es el siguiente:

Para el período de 1964 a 1965 se obtuvo un aumento en el consumo de 1,306%. Este aumento se debió a que en este año se instalaron las industrias de Sintermetal y Sintermex.

Para el período de 1965-1966, se obtuvo una disminución en el consumo de 47%.

Para el período de 1966-1967, se obtuvo un aumento en el consumo de 36%.

Para el período de 1967-1968, se obtuvo un aumento en el consumo de un 122 %.

Para el período de 1968-1969, se obtuvo un aumento en el consumo de 12 %.

Para el período de 1969-1970, se obtuvo un aumento en el consumo de un 11 %.

Para el período de 1970-1971, se obtuvo un aumento en el consumo de un 4 %.

Para el período de 1971-1972, se obtuvo un aumento en el consumo de un 41 %;

Para el período de 1972-1973, se obtuvo un aumento en el consumo de un 57 %.

Y el total del aumento en el consumo, dentro del tiempo-considerado en este trabajo fué del 5452 %.

A través de este método y tomando en cuenta el último -- período analizado, obtenemos el criterio de que para años subsecuentes se debe incrementar el volumen de consumo en un -- 49% aproximadamente.

IV.- ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA POLVO DE HIERRO Y  
SUS ALEACIONES.

Los polvos de hierro y de sus aleaciones al ser producidos, por los diversos métodos existentes, producen partículas con sus propias características respecto a su distribución de tamaño, forma y densidad. La partícula puede ser densa, porosa o hueca, según sea el proceso de obtención; ahora bien, -- por lo que respecta a su forma, ésta puede ser esférica, aplanada, dentrítica o angular. Respecto al uso a que sean destinados los polvos, deben reunir ciertas características de -- calidad y satisfacer a su vez las necesidades de los fabricantes de partes P/M.

Una parte del polvo de hierro producido, proviene de la reducción sin fusión del mineral o del óxido de hierro, de la precipitación electrolítica o por atomización; según sea el -- proceso empleado así serán sus características de forma, grano y área de partícula. En la tabla No. 3 se presentan las -- propiedades de los polvos de hierro y sus aleaciones. Debido a que no existen especificaciones comerciales generales, la -- variedad de procesos existentes es diversa. Según sea la -- aplicación debe seleccionarse el polvo más adecuado y su pro-

ceso en base a las características deseadas en el producto --  
terminado.

Teniendo la aplicación determinada se establecen las especificaciones del polvo, tales como: distribución de tamaño, tamaño de partícula, densidad aparente, composición química; si los polvos tienen características idénticas se debe a que las especificaciones se mantienen invariables ya que para -- una buena operación de prensado y sinterizado del polvo esto es imprescindible.

Todos los polvos son procesados en áreas de presión -- restringida, bajo condiciones específicas para prevenir posibles contaminaciones. Así que la mayoría de las especificaciones de polvos se establecen por métodos muy estrictos y -- rígidos, usando los procedimientos de prueba de la Metal -- Powder Institute Federation, y la evaluación de un polvo -- metálico lo estipulan las condiciones reales de prensado y -- sinterizado.

#### IV. 1.- ESPECIFICACIONES CON RESPECTO A PUREZA QUÍMICA.-

La composición química no es tan importante como las -- propiedades físicas, si se va a utilizar polvo de hierro en-

operaciones de prensado y sinterizado. Es variable el porcentaje de impurezas, dependiendo de la naturaleza química y - - además del sitio; por ejemplo: el óxido superficial no interfiere apreciablemente en la operación de moldeo o en la resistencia del producto por consiguiente si el óxido se encuentra ocluido en el interior, se obtiene un producto de baja resistencia al impacto y a la tensión; la sílice y otros óxidos - no reducidos deben evitarse, ya que son abrasivos y pueden -- actuar reduciendo la cohesión metálica durante la compacta--- ción. Con respecto al contenido de azufre, éste debe ser -- bajo.

Debido a que puede crearse una condición ácida durante - el sinterizado, lo cual ocasionaría problemas de corrosión, - puede combinarse para formar un producto gaseoso que al expan- derse pueda afectar la porosidad y por consiguiente la densi- dad de la parte terminada.

Lo mismo puede decirse de otros productos volátiles, por- centajes menores de otros metales reducidos que generalmente- no afectan, a menos que la parte se vaya utilizando en la in- dustria eléctrica en donde pequeñas impurezas pueden afectar- apreciablemente las propiedades eléctricas del material.

#### IV. 2.- ESPECIFICACIONES CON RESPECTO A PROPIEDADES FISICAS.

Al producirse los polvos por métodos diferentes éstos tienen propiedades intrínsecas únicas y pueden afectar su uso; -- por lo tanto las propiedades físicas superficiales deben ser -- evaluadas detenidamente, para poder decidir si el polvo es adecuado para un uso determinado.

Para que no se vea afectada la velocidad de producción -- son muy importantes las características de flujo, por lo que -- se evita el problema de un llenado incompleto de los moldes y -- así la producción no se obtiene defectuosa. Ahora bien, la -- utilización económica de un polvo está determinada por la rapidez con que los moldes pueden llenarse y vaciarse.

Por lo dicho anteriormente el polvo de hierro para la -- mayoría de los usos debe fluir libremente, se surte con un mínimo de 100 mallas, y una densidad aparente.

Para obtener la medida de partícula y la distribución de tamaños, se recurre al análisis de mallas. Las partículas -- pequeñas son las que se requieren generalmente, debido a que -- la operación de prensado está relacionada con fenómenos superficiales. Al haber una disminución en el tamaño de partícula -- hay un incremento en el área y por consiguiente en la fricción

durante el prensado. El calor interno generado por la fricción favorece la plasticidad, lo cual incrementa el contacto superficie a superficie y se mejora la cohesión entre las partículas metálicas. Esto permite una fabricación fácil y un terminado suave de la superficie. El polvo de hierro debe tener densidad aparentemente uniforme porque en la mayoría de las operaciones comerciales se usan métodos volumétricos para llenar los moldes, y las variaciones en la densidad ocasionan problemas en las dimensiones de las partes terminadas, por lo tanto, el establecimiento de la densidad aparente como control de calidad es muy importante, aunque diga poco acerca de las posibles aplicaciones de un polvo determinado, sin embargo, está directamente relacionado con las características de flujo, distribución de tamaños y porosidad de las partículas individuales; por ejemplo un valor bajo de la densidad aparente puede indicar malas características de flujo o bien porosidad y espacios huecos dentro de la partícula de polvo.

#### IV. 3.- MEDICIONES DE LAS PROPIEDADES DEL POLVO.

Basados en los métodos estándar de análisis químicos, se efectúan las determinaciones químicas de los polvos.

Las propiedades físicas se pueden determinar usando como guía los métodos establecidos por la Metal Powder Institute -- Federation.

Las mallas standard Tyler son utilizadas para establecer el tamaño de partes, estas son agitadas mecánicamente.

El peso de muestra debe ser alrededor de 100 gramos y sacudidas durante 15 minutos.

La determinación de las velocidades de flujo de los polvos son especificadas por la Metal Powder Association y para tal efecto es utilizado un embudo de dos pulgadas colocado a 60 grados y con orificios de descarga calibrados previamente. La velocidad de flujo queda definida como el tiempo necesario para que fluyan 50 gramos de producto a través del orificio -- calibrado. Las muestras deben de pesarse con una exactitud de 0.05 gramos y efectuarse un mínimo de 5 determinaciones para poder formar un promedio.

El mismo aparato con un recipiente de 25 centímetros cúbicos de capacidad se utiliza para la determinación de las -- densidades aparentes.

El embudo debe colocarse una pulgada arriba del recipiente. Se deja fluir el polvo hasta que el recipiente se llena-

completamente y se desborda por la periferia; se rasa el recipiente con una espátula y se pesa; dividiendo el peso entre el volumen del recipiente se determina la densidad aparente.

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL POLVO DE HIERRO ATOMIZADO DE HOEGANAES.

ANÁLISIS QUÍMICO.

(%)

PROPIEDADES FÍSICAS.

ANÁLISIS DE TAMIZ (%)

TIPO HOEGANAES.	Fe.	DENSIDAD APARENTE. g/cm <sup>3</sup> .	FLUJO Sec/50g.	TAMAÑO DE MALLA.
ANCORSTEEL 1000	99.2	2.95	25	- 80
ANCORSTEEL 1000B	99.2	2.95	25	- 80
ANCORSTEEL 1000M	99	2.95	25	- 80
ANCORSTEEL 1015	99.1	2.95	25	- 80
ANCORSTEEL 2000	97.8	2.95	25	- 80
ANCORSTEEL 4600V	96.7	3.05	25	- 80
-- POLVO DE HIERRO ESPONJA.--				
ANCOR MH-100	98.2	2.5	30	- 100
ANCORMET 101	98.7	2.5	30	- 100
ANCOLOY	95.2	2.5	30	- 100
ANCOR W-40-A	98.0	2.5	34	- 40
ANCOR MH-1024M .5S	97.7	2.6	30	- 100
ANCOR MH-1028	98.4	2.8	27	- 100
ANCOR MH-818	98.1	1.9	-	- 80

Datos proporcionados por la Compañía SINTERMETAL, S.A.

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL POLVO DE HIERRO PARA SOLDADURA.  
DE HOEGANAES.

ANALISIS QUIMICO.

( % )

PROPIEDADES FISICAS.

ANÁLISIS DE TAMIZ (%).

TIPO HOEGANAES.	Fe.	DENSIDAD APARENTE. g/cm <sup>3</sup> .	TAMAÑO DE MALLA.
ANCOR W-423A	98	2.4	40/200
ANCOR W-428	98	2.4	40/200
ANCOR W-435	98	3.5	40/200
- POLVO DE HIERRO PARA CORTADORES DE FLAMA.-			
ANCOR-FLAME.	97.5	2.8	- 100
ATOMFLAME.	99.2	3.1	- 100
UNIFLAME.	98	2.8	- 100
- POLVO DE HIERRO PARA MAGNETISMO Y ELECTRONICA.-			
ANCORSTEEL 1000B	98.5	3.0	- 100
MH-300	98.0	2.5	- 300
ANCOR OXIDES.			
MC-30	71.2	-	- 30
MC-30/120	71.2	-	30/120
MC-100/250	71.2	-	100/250
MC-100	71.2	-	- 100
MC-300	71.2	-	- 300

Datos proporcionados por la Compañía SINTERMETAL, S.A.

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL POLVO DE HIERRO PARA INSPECCION MAGNETICA  
DE HOEGANAES.

ANALISIS QUIMICO. ( % )		PROPIEDADES FISICAS. ANÁLISIS DE TAMIZ (%)	
TIPO HOEGANAES.	Fe.	DENSIDAD APARENTE g/cm <sup>3</sup> .	TAMAÑO DE MALLA.
ANCOLOR.	98.2	-	- 100
ANCOR MH-100	98.2	-	- 100
- POLVO DE HIERRO PARA QUIMICA.-			
ANCOR GRADE B.	95.7	2.6	- 200
ANCOR C-2024.	97.6	2.4	- 200

POLVO DE ACERO INOXIDABLE DE ALTA ALEACION DE HOEGANAES.

ANALISIS QUIMICO. ( % )								
TIPO HOEGANAES.	Fe.	C.	Cr.	Ni.	S.	Mn.	Mo.	Si.
ANCOR 303	69.90	.05	17.5	12	.2	.35	-	-
ANCOR 304 L	71.47	.03	18.5	10	-	-	-	-
ANCOR 316 B	64.77	.03	17.5	13	-	-	2.2	2.5
ANCOR 316 L	66.27	.03	17.5	13	-	-	2.2	-
ANCOR 410 L	86.67	.03	13.3	-	-	-	-	-
ANCOR 430	82.97	.03	17.0	-	-	-	-	-

Datos proporcionados por la Compañía SINTERMETAL, S. A.

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LOS POLVOS DE HIERRO PRE-ALEADOS PARA COMPACTACION DE GLIDDEN.

TIPO GLIDDEN.	ANÁLISIS QUIMICO.									PROPIEDADES FISICAS.		
	(%)									ANÁLISIS DE TAMIZ (%)		TAMAÑO DE MALLA.
	Fe.	Cr.	Ni.	Mn.	Mo.	C.	S.	Cu.	Si.	DENSIDAD APARENTE Gms/cc.	FLUJO Sec/50g.	- 100 MALLAS.
303 L	69.78	18	12	-	-	0.02	0.2	-	-	3.1	26.0	" "
304 L	69.98	19	11	-	-	0.02	-	-	-	2.8	30.0	" "
316 L	67.78	17	13	-	2.1	0.02	-	-	-	2.8	29	" "
410 L	87.98	12	-	-	-	0.02	-	-	-	2.9	27	" "
434 L	81.98	17	-	-	1.0	0.02	-	-	-	2.9	28	" "
830	63.95	19	30	-	2.5	0.03	-	3.5	-	2.8	29	" "
4600	97.12	-	1.9	0.6	0.3	0.5	-	-	0.3	3.2	24.5	" "
NIQUEL-HIERRO GRADO NI-4	50.0	-	50.0	-	-	-	-	-	-	3.1	22.0	" "
SILICON-HIERRO.	83.0	-	-	-	-	-	-	-	17.0	3.0	-	" "

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LOS POLVOS DE HIERRO Y SUS ALEACIONES DE A.Q. SMITH INLAND INC.

TIPO A.Q.SMITH	Fe.	Cr.	Ni.	Mn.	Mo.	C.	S.	P.	O <sub>2</sub> .	DENSIDAD AP. 6/cc.	TAMAÑO DE MALLA.
400 MS	99.3	-	-	0.25	-	0.02	0.20	0.007	0.10	2.95	25.0 - 100 + 150

Datos proporcionados por la Compañía SINTERMETAL, S.A.

TABLA No. 4.

ESPECIFICACIONES DEL POLVO DE HIERRO EN MEXICO.

Electrodos para soldadura.	AGA DE MEXICO, S.A.	98% Fe, 02% S, 0.01% P, Tipo Ancor W-428. 99.5% Fe, 0.6% Ce, Tipo 300 M, A.Q.Smith I.
Electrodos para soldadura.	ARMCO MEXICANA, S.A.	98% Fe, 02% S, 40/200 mallas. 99.3% Fe, 02% Ce, Tipo 400 MS.
Chumacera.	SINTERMEX, S. A.	98.2% Fe, Tipo Ancor MH-100. 92.2% Fe, 1% Ni. grado 2, b 484.
Metales sinterizados.	SINTERMETAL, S. A.	99.2% Tipo Ancor 1000M. 97.1% Fe, 1.9% Ni. grado 1, tipo 4600.
Bujes.	OTRAS COMPAÑIAS.	98.7% Fe, 3% Ni, 2.5% Cu, Grado 484.
Electrodos para soldadura.	SOLDADURAS TECNICAS, S. A.	98% Fe, 02% S, 01% P. Malla- aparente 40/200
Electrodos para soldadura.	FLEX-ARC, S. A.	98% Fe, Tipo Ancor W-435. 98.2% Fe, 0.2% Ce, tipo 8600, A.Q.Smith I.
Electrodos para soldadura.	CIA. FRANCE DE OCCIDENTE.	97% Fe, .01% Ce. Tipo 4600, A.Q.Smith I.

TABLA No. 4.

ESPECIFICACIONES DEL POLVO DE HIERRO EN MEXICO.

Metales sinterizados.	CLEVITE DE MEXICO, S. A.	96.7% Fe, 5.5% Ni, Tipo B-474, A.S.T.M.
Enriquecimiento para alimentos.	LABORATORIOS FARMACEUTICOS.	99.5% Fe, 0.02% Mn, 0.01% P, 0.02% S. Tipo 3000 M.
Bobinas electromagnéticas.	BRIMEX, S. A.	98.5% Fe, Tipo Ancor-steel 1000-B; 100 mallas. 99.3% Fe, 0.02% Ce. 98.5% Fe, Tipo MH-300 71.2% Fe, Tipo MC-100/250 malla.

ESTOS SON ALGUNOS DE LOS USOS, Y ESPECIFICACIONES PARA LOS -  
PRINCIPALES CONSUMIDORES.

#### V.- REVISION DE TECNOLOGIAS EXISTENTES.

La electrodeposición del hierro se remonta al año 1846, - en que Bottger usó un baño de  $\text{FeSO}_4$  y de  $7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; Bietz, - en 1869, obtuvo hierro electrolítico y lo empleo en experimentos de magnetismo; Siemens propuso, en 1889, un procedimiento general en que se lixivaban minerales de sulfuro de hierro -- con cloruro o sulfato férricos, se depositaba el hierro del -- líquido lixivante en el cátodo de una pila con diafragma, regenerándose la lejía. El primer intento serio de producción electrolítica del hierro fué realizado en 1924, haciendo depositar el metal de una mezcla de sulfatos ferroso y amónico con una densidad de corriente de 0.65 a 1,0 amperios por decímetro cuadrado a  $30^\circ\text{C}$  y bajo una fuerza electromotriz media del - -- voltio. Este método se conoció con el nombre de procedimiento de Burgess y, con algunas variantes, fué la base, durante años, de la casi totalidad de la producción de hierro electrolítico en los Estados Unidos de América. En la fábrica de la "Western Electric Company" los ánodos eran de acero moldeado y el baño ligeramente alcalino, por lo cual se precipitaba una gran cantidad de óxidos en el cátodo, que lo hacían frágil e inadecuado para bobinas de sobrecarga eléctrica. No era nece-

sario hacer un hierro de pureza absoluta. La "Westinghouse - Electric & Manufacturing Company" introdujo una nueva modificación que daba hierro de gran pureza usándose en la fabricación de aleaciones para maquinaria e instrumentos electromagnéticos.

Se utilizaban ánodos de hierro comercialmente puro, pero la amplitud de refinado del procedimiento era muy reducido; a menudo se producían sustancias catódicas, con un exceso de carbono y de azufre, o de ambos elementos a un tiempo.

En 1914 se instaló en Grenoble, Francia, una fábrica - - electrolítica en la que se empleaba una solución neutra caliente de cloruro ferroso, como electrólito, al que se añadía como despolarizante óxido de hierro con ánodos de hierro fundido, y mandriles que giraban a gran velocidad, como cátodo.

Se obtuvieron planchas y tubos de hierro electrolítico - de pureza suficiente, con un 99.967% de hierro; 0.008% de carbono; 0.009% de manganeso; 0.002% de fósforo; 0.014% de silicio e indicios de azufre. En la práctica, el electrólito se hacía circular por calizos de hierro y se le añadía óxido - - de hierro; o bien se insuflaba aire para mantener baja la - - concentración de hidrogeniones de la solución. La densidad de la corriente era de 10 a 11 amperios por decímetro cuadra-

do, a una temperatura de 80°C. El bajo contenido de hidrógeno del metal se eliminaba por recocido a 900°C.

La energía necesaria era del orden de 4.0 kilovatios - - hora por kilogramo.

En Alemania un baño empleado originariamente por Fischer, contenía 450 gramos de  $\text{FeCl}_2$ , 500 gramos de  $\text{CaCl}_2$  anhidro y - 750 gramos de agua, trabajajando de 90 a 110°C y con 10 a 20- amperios por decímetro cuadrado. Debido a la elevada tempera- tura de trabajo, el hierro depositado estaba relativamente -- libre de hidrógeno y por consiguiente no resultaba frágil. El producto así obtenido tiene una pureza del 99.95% por lo menos y puede depositarse en estratos espesos y compactos.

El desarrollo de la metalurgia de los metales en polvo, - ha traído consigo una gran demanda de hierro en polvo, gran -- parte de la cual es cubierta por hierro electrolítico.

⑤ 1.- ACTUALMENTE LA PRODUCCION ELECTROLITICA DEL POLVO DE -  
HIERRO.-

Se basa en el siguiente proceso: la producción de polvos de hierro es por electrodeposición, usa ánodos solubles de-- chapa de acero con 99% de Fe y cátodos químicamente inertes --

al electrólito.

El principal propósito del paso electrolítico es el de transformar el ánodo de hierro en partículas de hierro metálico finamente dividido, las cuales se depositan en el cátodo.

La electrólisis para la producción de polvo de hierro se efectúa a mayor densidad de corrientes y requiere un control más riguroso de la temperatura, composición y circulación del electrólito.

Mediante la electrólisis, el hierro se deposita en forma de pequeñas partículas sobre el cátodo y se colecta como polvo en el fondo de la celda. Este sedimento se remueve periódicamente eliminando mediante lavado el electrólito que lo acompaña.

La oxidación se presenta rápidamente debido a que el polvo está finamente dividido y húmedo siendo sometido al proceso final. Algunas de sus propiedades, especialmente la densidad aparente y el cambio de volumen en el sinterizado se -- han producido en el polvo durante la electrodeposición; -- para tener un grado aceptable de calidad, es necesario sin -- embargo, someterlo a un tratamiento de horneado seguido de -- molienda, y cribado con subsecuentes mezclados del polvo terminado, de acuerdo con las necesidades del consumidor.

La transportación de el polvo húmedo se realiza en camiones de donde se descarga a la tolva alimentadora del horno; éste es generalmente un túnel calentado con gases de combustión a través del cual pasa el polvo sobre una banda de malla metálica cubierta con papel húmedo para evitar la caída del mismo. Antes de entrar al horno se pasa a través de un rodillo con el objeto de comprimirlo ligeramente y mejorar la transferencia de calor. La atmósfera reductora se produce quemando gas natural con aire, aproximadamente en una proporción de 1:6 de tal manera que la composición del gas de combustión sea el 17% H<sub>2</sub>, 12% CO, 4% CO<sub>2</sub>, y el resto de nitrógeno. Para secar el polvo se efectúa la operación de horneado y se reduce el óxido y sinterizándose los finos al alterar las propiedades físicas, incluyendo densidad aparente y características de sinterizado.

De acuerdo con las propiedades deseadas en la descarga pueden variarse la temperatura de operación de horno y el tiempo de residencia. La torta se descarga del horno, se rompe con ganchos y es sometida a una molienda preliminar utilizando un molino de martillos, de ahí pasa al sistema principal de molinos donde es sometido a una segunda pulverización -

a una alta velocidad, por lo cual son enfriados con agua. --  
Para obtener las características deseadas, se pueden variar --  
la velocidad de alimentación, la velocidad del molino y la --  
abertura de la malla.

Se transporta el polvo molido a una tolva y de ahí a una  
malla, el polvo que no pasa a través de la malla se regresa a  
un sistema secundario de molienda.

El polvo con tamaño de partícula mayor de 100 mallas se-  
regresa a un clasificador de aire, los finos se colectan en -  
tambores y son enviados al cuarto de mezclado. Las partícu--  
las demasiado grandes se devuelven para difundirse.

Para absorber la humedad y prevenir la oxidación se agre-  
ga gel de sílice y se almacena en tambores.

#### V.2.- PRODUCCION DE POLVO DE HIERRO POR REDUCCION CON HIDRO- GENO.-

Se han desarrollado varios procesos hidrometalúrgicos -  
por medio de los cuales soluciones acuosas de sales metálicas  
se reducen con hidrógeno gaseoso precipitando el catión en -  
forma metálica. Por lo que respecta al hierro la reducción-  
sin fusión puede hacerse en soluciones básicas generalmente-

de sulfato doble de amonio en presencia de amoniaco.

Las reacciones son mucho más lentas cuando la reducción se lleva a cabo en medio alcalino.

La reacción con hidrógeno se lleva a cabo en forma intermitente y se suspende antes de que el níquel empiece a ser -- reducido. Este método es el único que produce el polvo de -- hierro con las características adecuadas para preparar aleaciones de alta permeabilidad y gran pureza. (1)

Después de la reducción se requiere un tratamiento similar al del polvo de hierro producido por tratamiento electro-lítico.

### V.3.- PRODUCCION DE POLVO DE HIERRO POR ATOMIZACION.-

El polvo de hierro producido por medio del proceso de -- atomización, nos permite obtener polvo de hierro de alto punto de fusión, de gran pureza, así como económico. Este método -- es empleado comercialmente en Estados Unidos de América y Euro pa, pero la literatura existente es muy escasa.

#### V.3.a DESCRIPCION DEL PROCESO.-

Basicamente el proceso consiste en un horno en el cual se funde el hierro y se mantiene a la temperatura deseada; el - -

metal fundido se pasa a través de una boquilla y se introduce una corriente de gas con lo cual el metal solidifica y cae en forma de polvo.

El polvo es de una pureza muy alta ya que generalmente la materia prima es óxido de hierro.

El promedio de partícula pasa a la malla 325, debido a la uniformidad y distribución de tamaño del polvo de hierro atomizado, posteriormente éste es tratado por otros procesos más sencillos, por que únicamente es sometido a molienda y cribado y no hay necesidad de sinterizarlo por estar seco.]

La presión del aire, la temperatura de metal fundido, el diámetro de la boquilla, el ángulo de la boquilla; son los principales factores en el control de calidad de el polvo.

La densidad aparente del polvo producido por este método es de 6.7 a 7.12 g/cc., y la velocidad de flujo de aproximadamente 25 segundos en comparación con los valores obtenidos para el polvo de hierro producido electrolíticamente, la densidad aparente es de 2.5 veces mayor que el caso del electrolítico y el tiempo de flujo menor que la mitad.

Los principales problemas que presenta este proceso son: la oxidación del hierro y la formación de burbujas internas en las partículas metálicas; la formación de burbujas es menor mientras menor sea el tamaño de la partícula.

V. 4.- SELECCION DEL PROCESO MAS ADECUADO PARA EL MERCADO EN MEXICO.-

Para determinar que proceso es el más adecuado para producir el polvo de hierro y sus aleaciones en México, se necesita hacer una comparación a grandes rasgos de las diversas -- características de cada una de las tecnologías existentes en -- base a los siguientes criterios:

- a.- Que área del mercado es la que consume la mayor parte de un tipo de polvo de hierro especificado.
- b.- Disponibilidad de materia prima.
- c.- Tipo de proceso en base a su complejidad y control.
- d.- Establecimiento de nuevas industrias consumidoras y que -- tipo de polvo requieren.
- e.- Inversión relativa requerida.
- f.- Gastos aproximados de producción.
- g.- Afinidad de las operaciones actuales de alguna compañía -- productora de hierro en alguna de sus formas.

De los procesos estudiados anteriormente, el más versátil es el electrolítico ya que reúne las especificaciones requeridas por la mayor parte de los consumidores actuales.

Las condiciones óptimas para el proceso electrolítico a -- partir de soluciones ácidas de sulfato de hierro son las --

siguientes:

Densidad de corriente 2.69 amp/dm<sup>2</sup>.

Composición de solución 50 g/l Fe, y 15 g H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l.

Temperatura de la solución 30°C.

Raspado del polvo de hierro del cátodo: 8 días.

Separación entre electrodos 20cm. entre centros de cátodos.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1 .- Por lo que respecta a la producción de polvo de hierro-- y sus aleaciones, es absolutamente nula ya que la meta-- lurgia de los polvos, está escasamente desarrollada.
- 2 .- Las importaciones tanto en volumen como en valor, presen taron un comportamiento bastante irregular hasta el año-- de 1967 a partir del cual se presenta una tendencia as-- cendente.
3. - Por lo que concierne a los sustitutos del polvo de hierro distinguimos aplicaciones en las cuales el polvo de hie-- rro es el único polvo empleado, y algunos otros en las - que es sustituido con ventaja por diversos polvos metáli-- cos.
- 4 .- En lo que respecta a los usos a que se destina este pro-- ducto en México, son muy diversos y variados, por tal -- motivo se prevee una cierta estabilidad en el consumo y-- una tendencia a desarrollarse, dado que la industria del polvo de hierro está prácticamente en período de integra-- ción.
- 5 .- En lo referente a usos en México se concluye que no exis-- te una tendencia fuerte a desplazarlo, ya que es de - -- menor costo que otros y, como se señaló anteriormente es insustituible en muchas de sus aplicaciones.

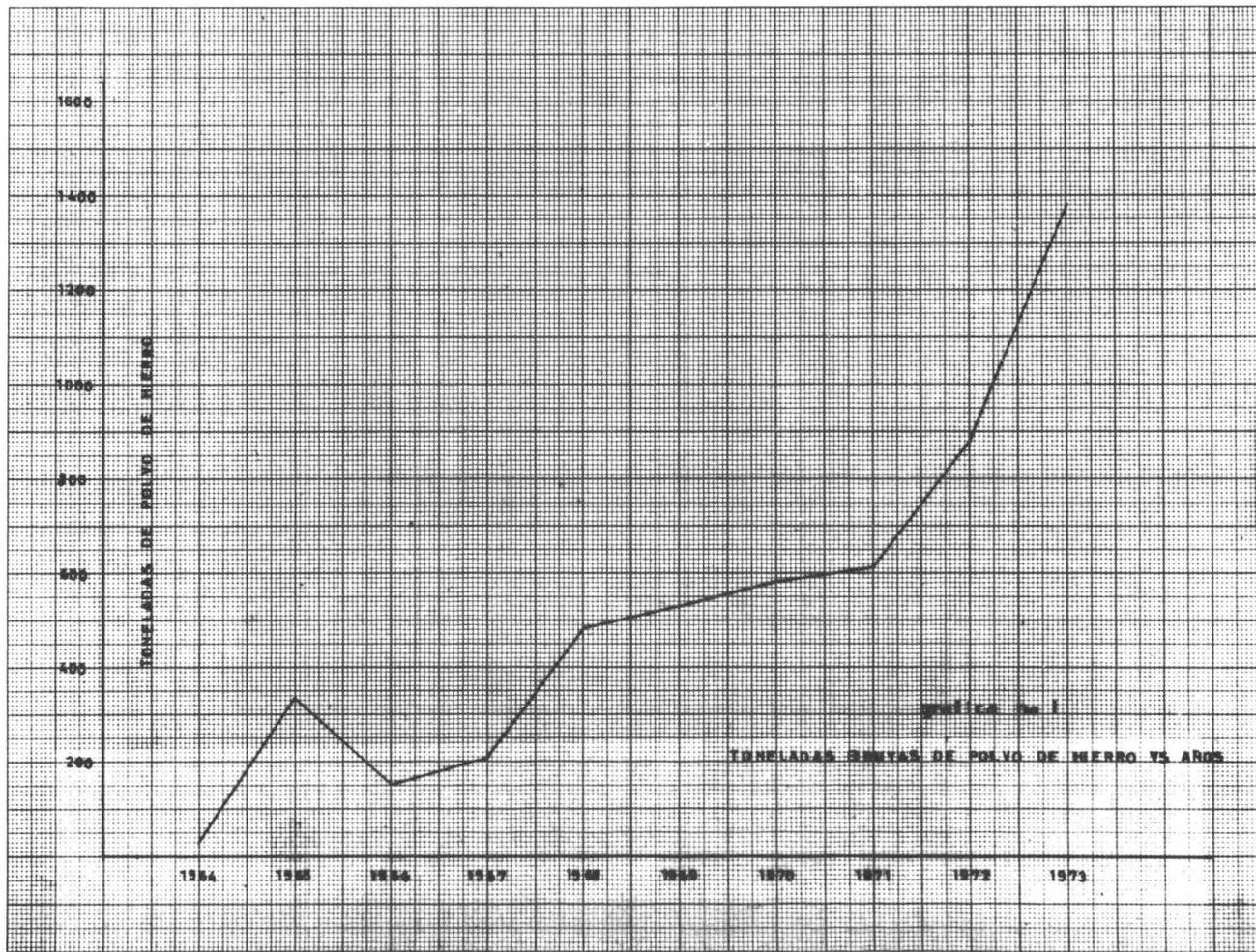
- 6.- En el consumo; las compañías más fuertes, se encuentran en el Distrito Federal y zonas aledañas.
- 7.- El precio del polvo de hierro varió poco en el intervalo de tiempo considerado.
- 8.- Se observó una ligera tendencia ascendente, de alrededor de un 35% de 1964 a 1973.
- 9.- Las diversas entrevistas realizadas en las compañías -- consumidoras del polvo de hierro, manifestaron que en la actualidad, México consume de 1200 a 1300 Ton/año, pero la menor integración de su industria ocasiona que solamente la mitad de ese volumen consumido sea de polvo de hierro, entrando al país productos manufacturados a base del mismo.
- 10.- Para el año de 1978, la demanda prevista es alrededor de 2772 Ton/año, haciendo hincapié que solo se dispuso de la información de la importaciones de 1964 a la fecha. La demanda futura se predijo por el método de la parábola de regresión, siendo el que dio mayor margen de confiabilidad. Dado que solo se dispuso del volumen de importaciones, en un intervalo de 10 años, los valores calculados para los años futuros, deben tomarse con cierta reserva, pues desde el punto de vista estadístico

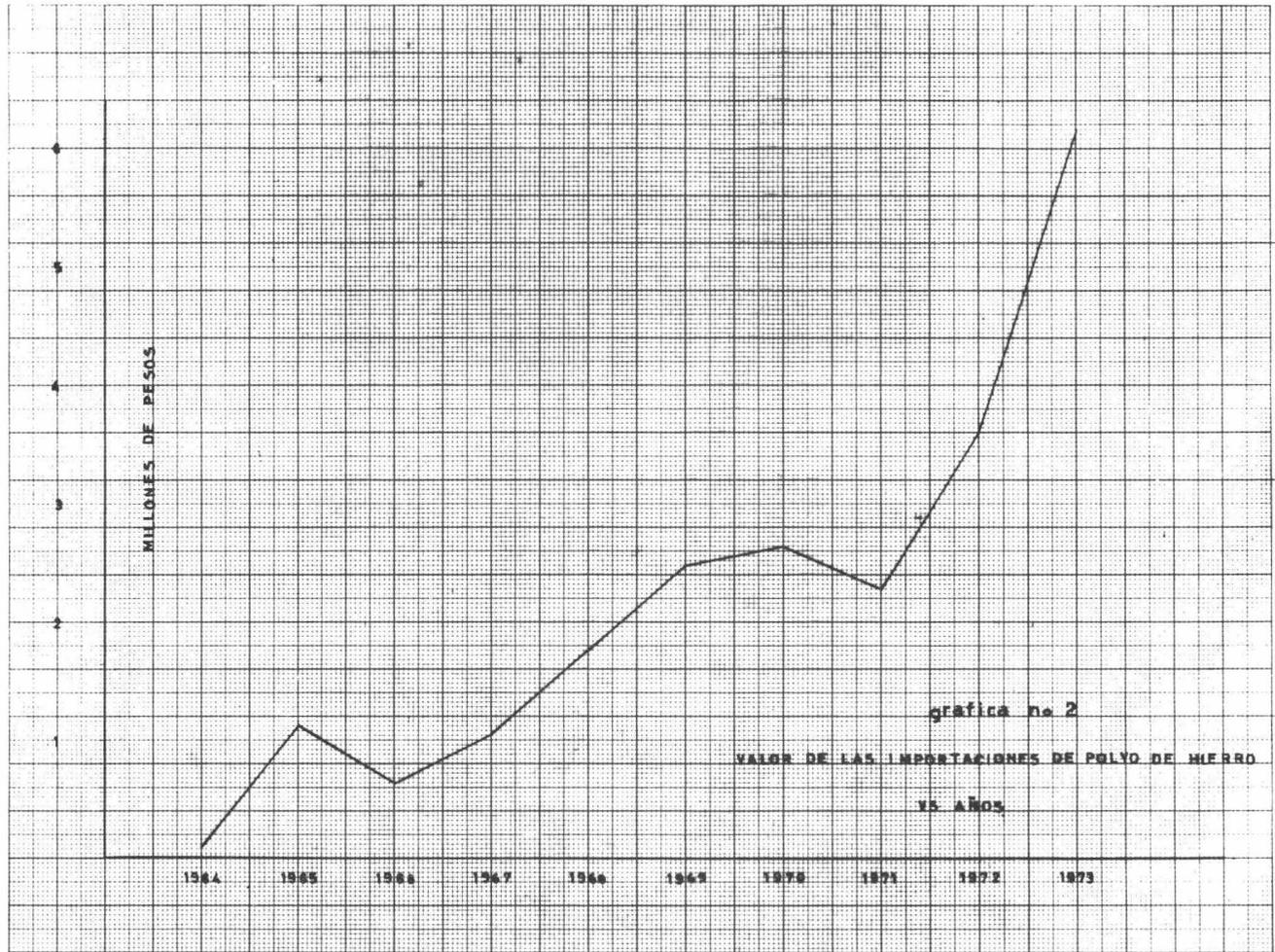
es insuficiente la información para tener un margen --  
razonable de confianza.

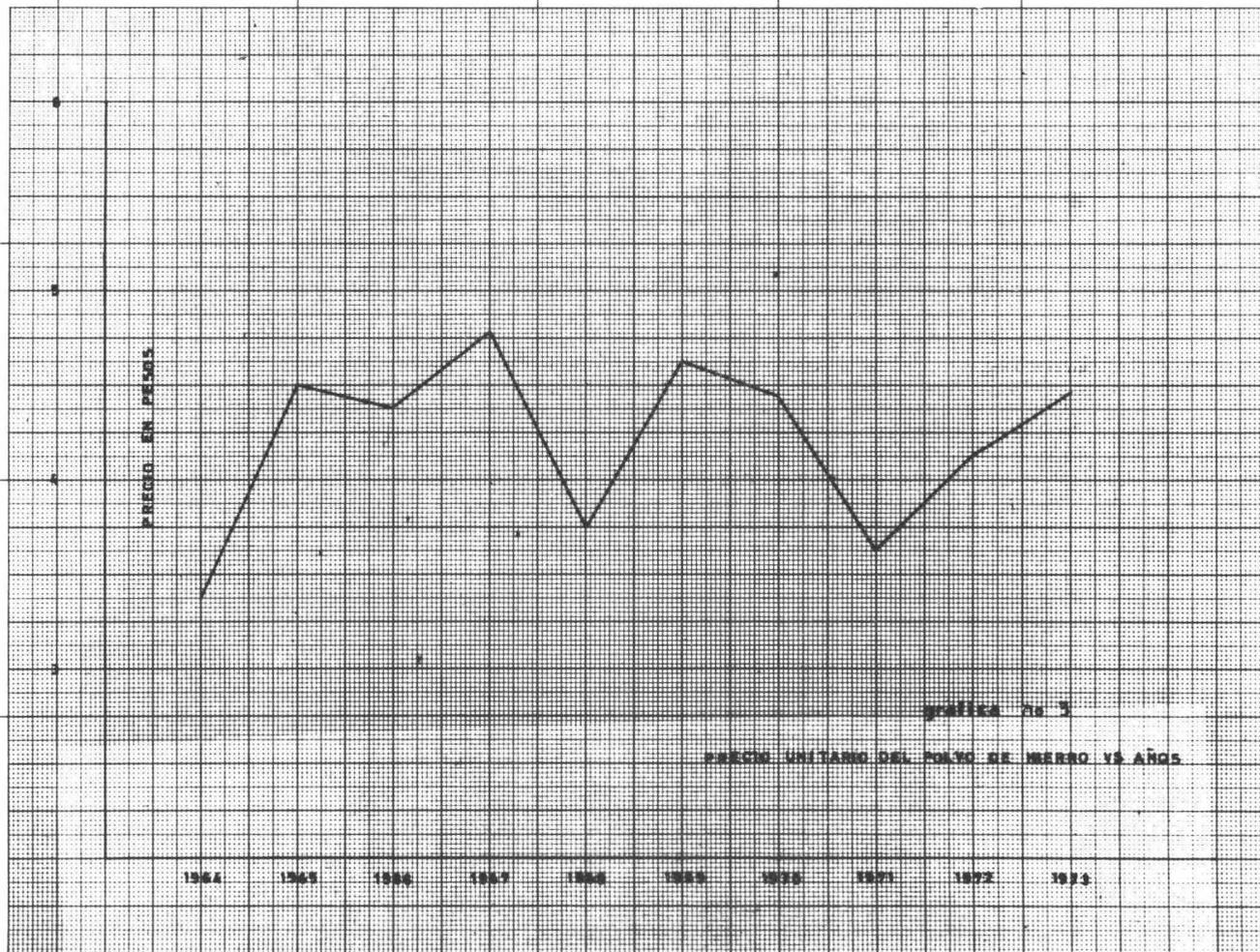
- 11.- Según el uso a que se destine el polvo de hierro las --  
especificaciones comerciales se determinan.
- 12.- Teniendo una gran variedad de tecnologías, basadas en --  
principios radicalmente diferentes.
- 13.- Para efectuar la elección de la tecnología más adecuada,  
ésta debe hacerse en base a la materia prima disponible,  
el tamaño y forma de la partícula deseada para el uso --  
determinado.
- 14.- El proceso electrolítico es el que cubre la mayor parte--  
del mercado, y el polvo producido por este proceso llena  
las especificaciones de los diversos consumidores.
- 15.- Como conclusión derivada de los estudios antes realiza--  
dos, se recomienda la instalación de una planta para la  
producción de polvo de hierro.



A P E N D I C E

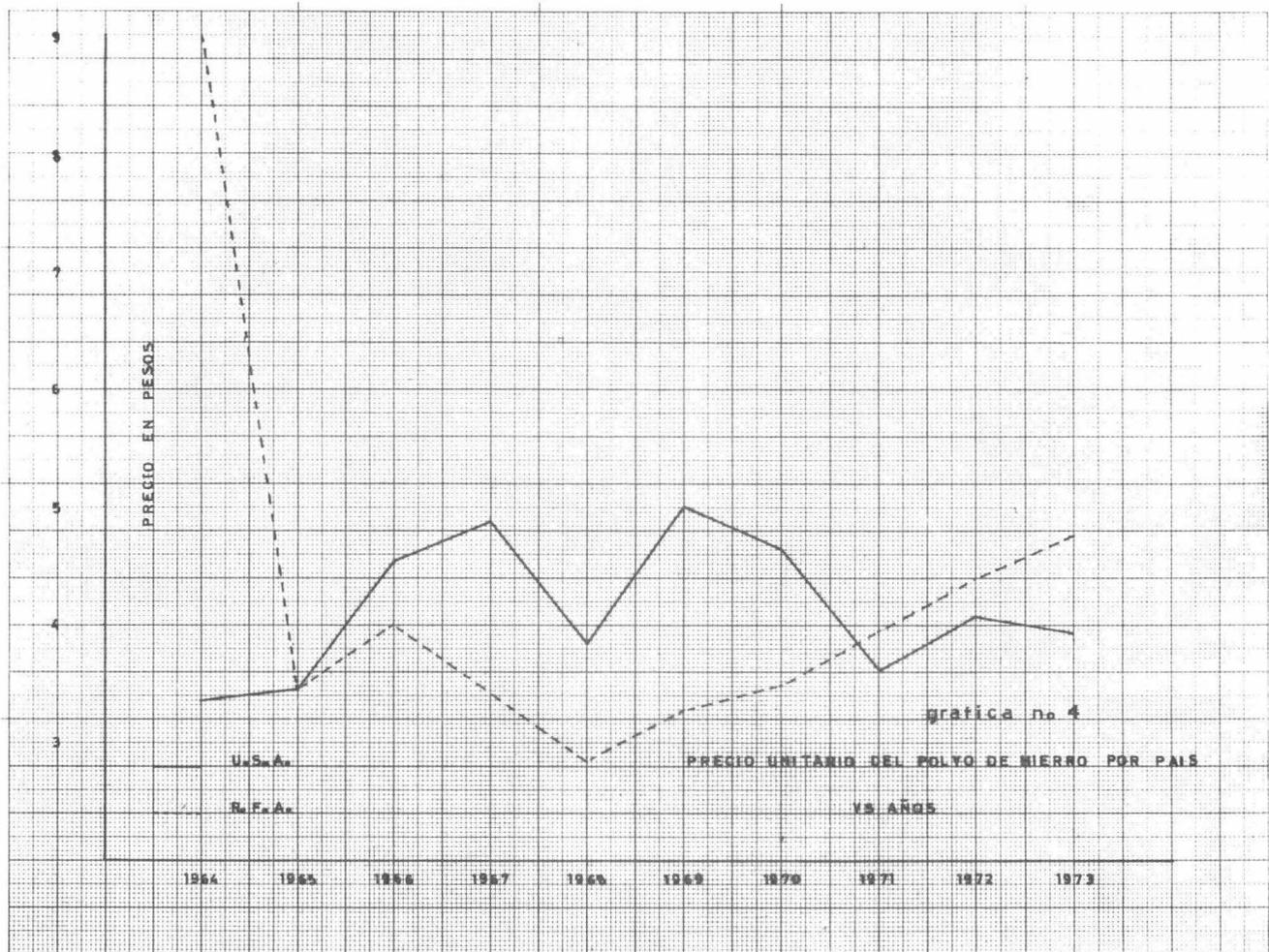


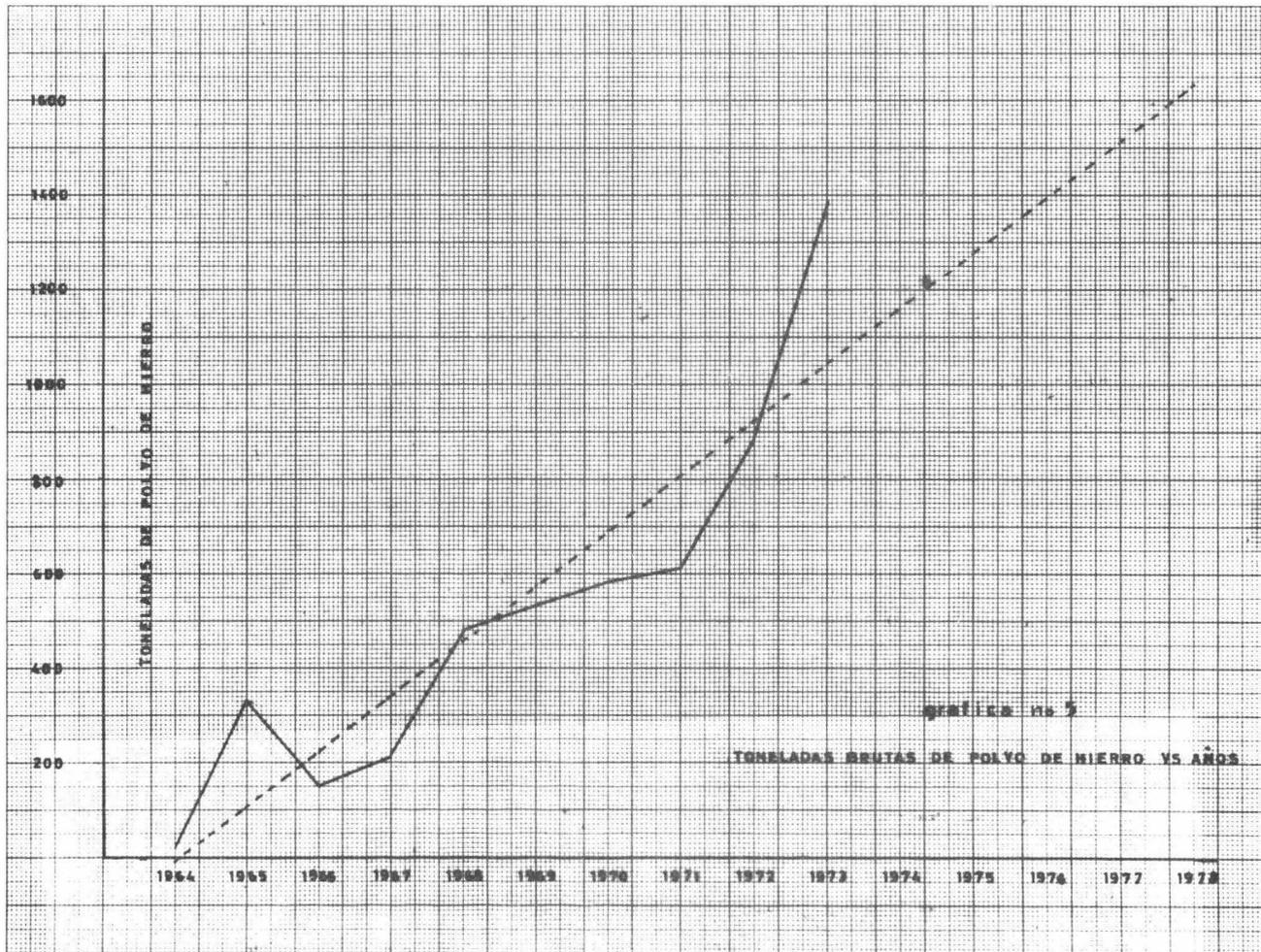


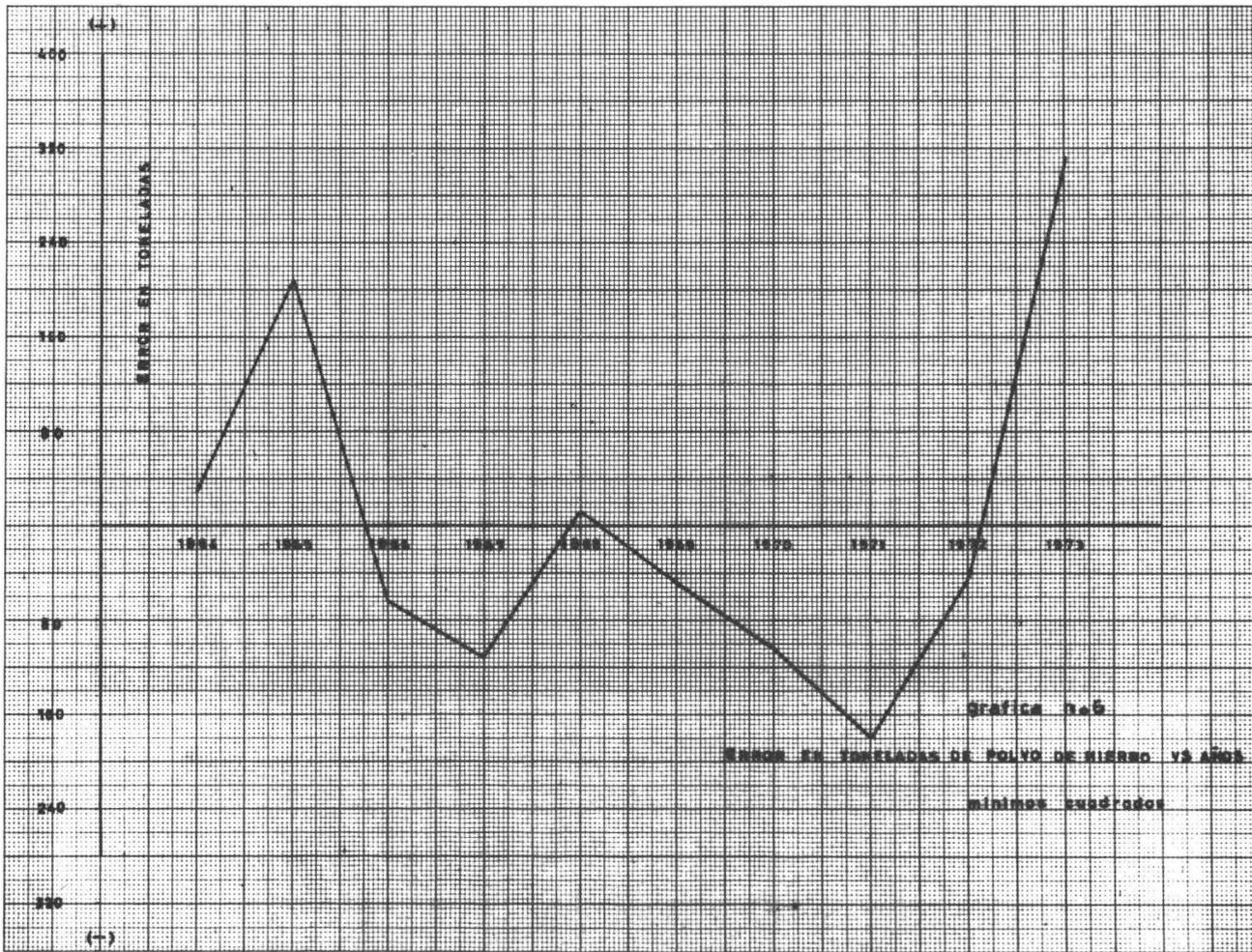


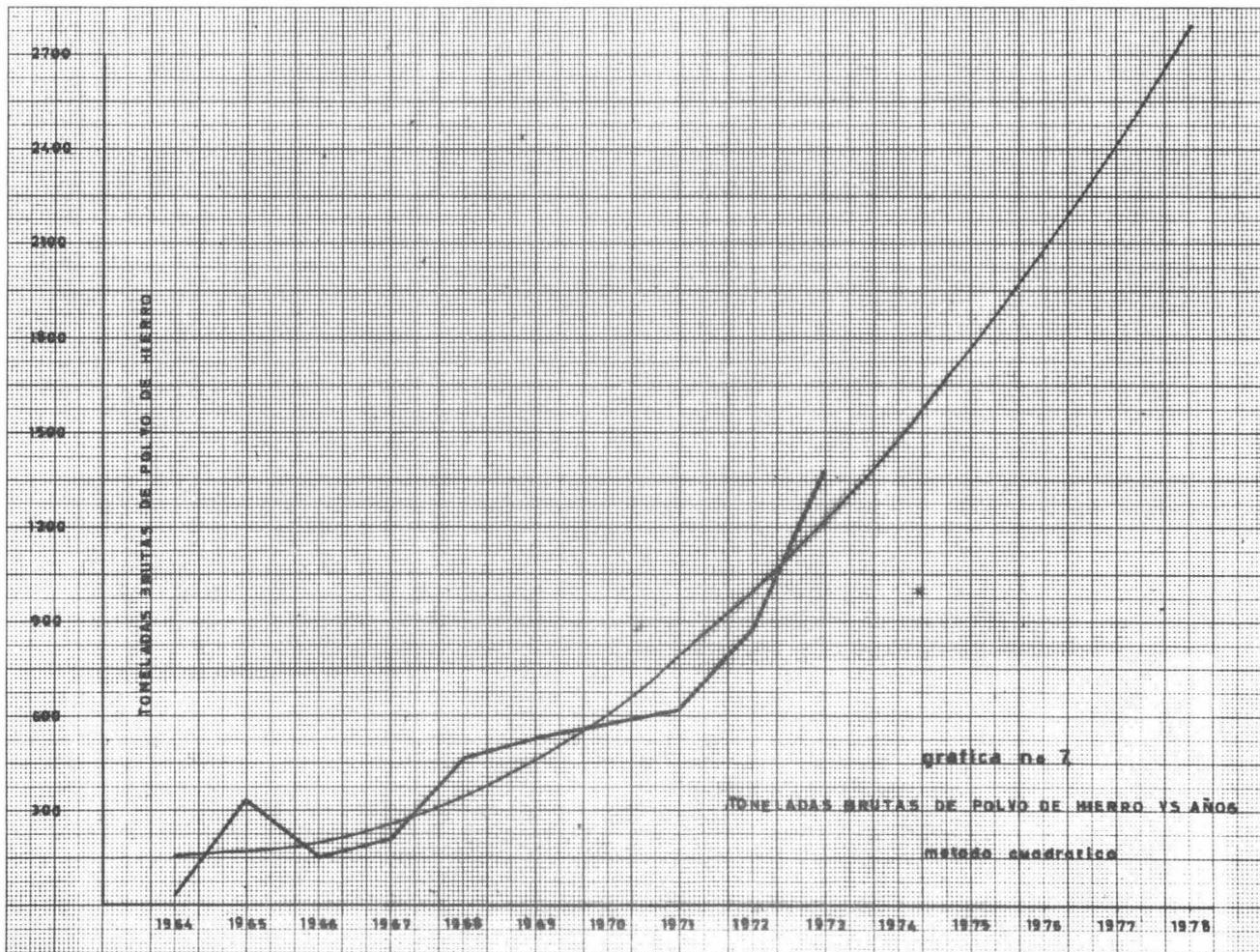
gráfica No 3

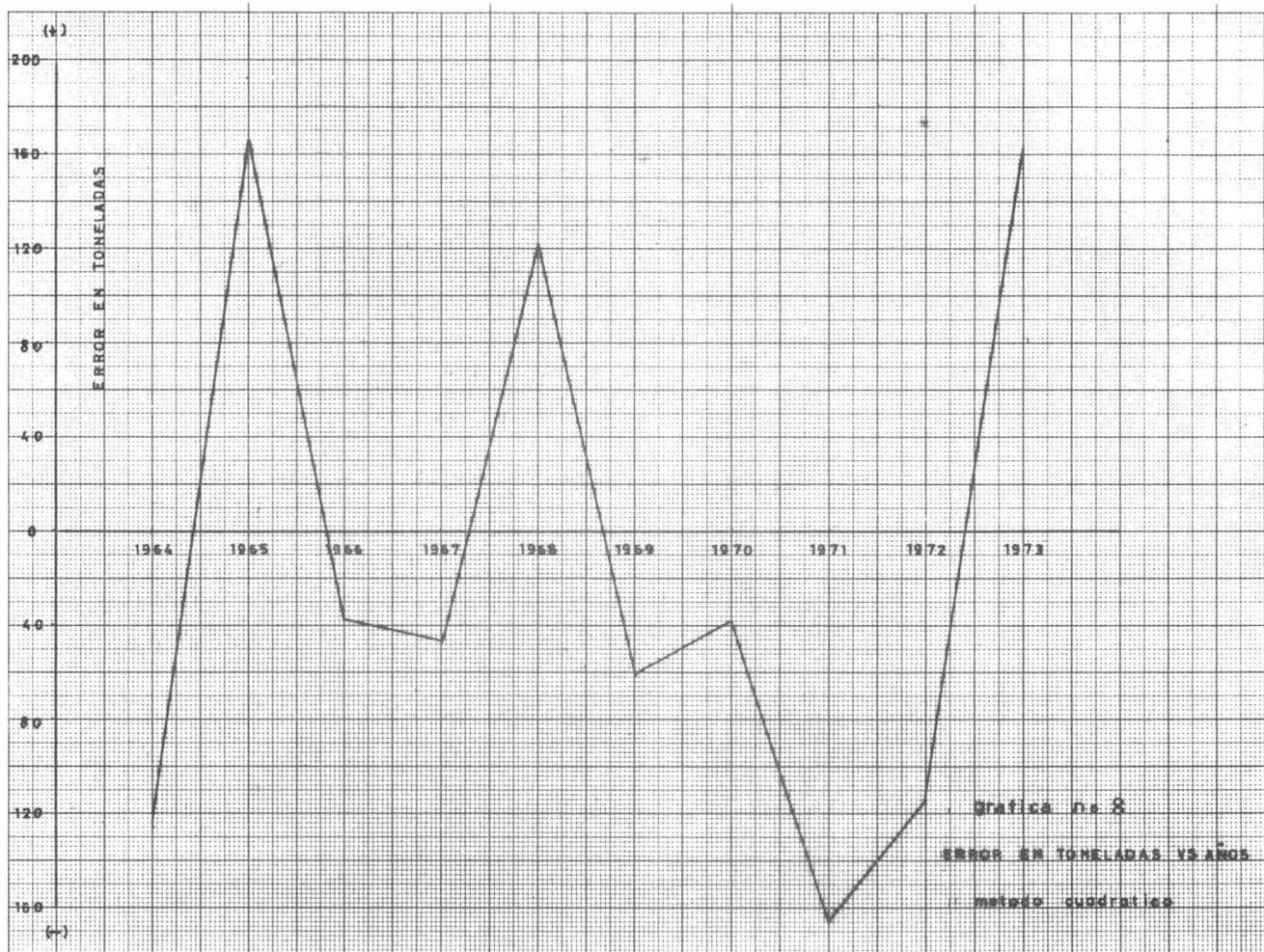
PRECIO UNITARIO DEL POLYO DE MERRO VS AÑOS

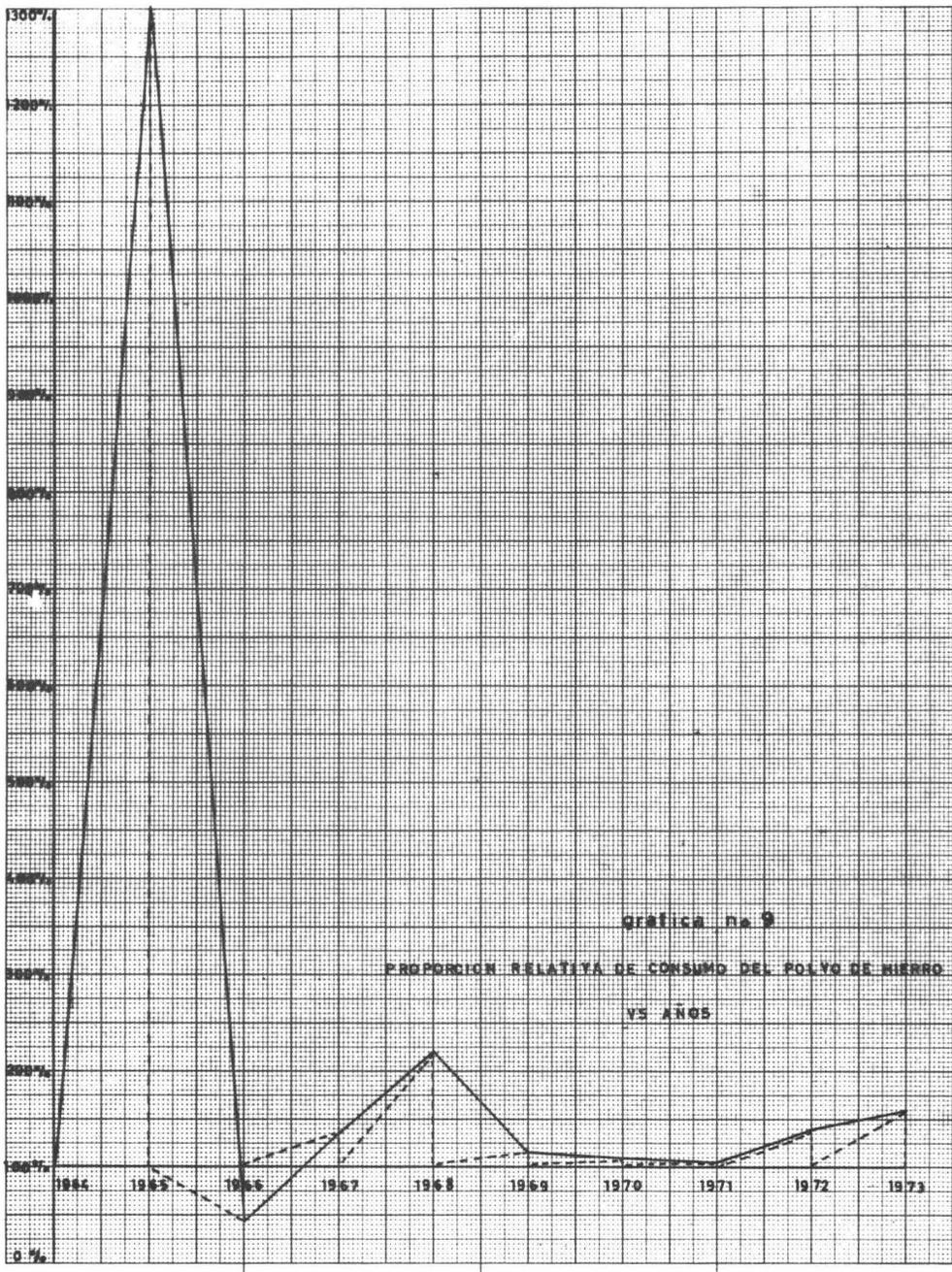


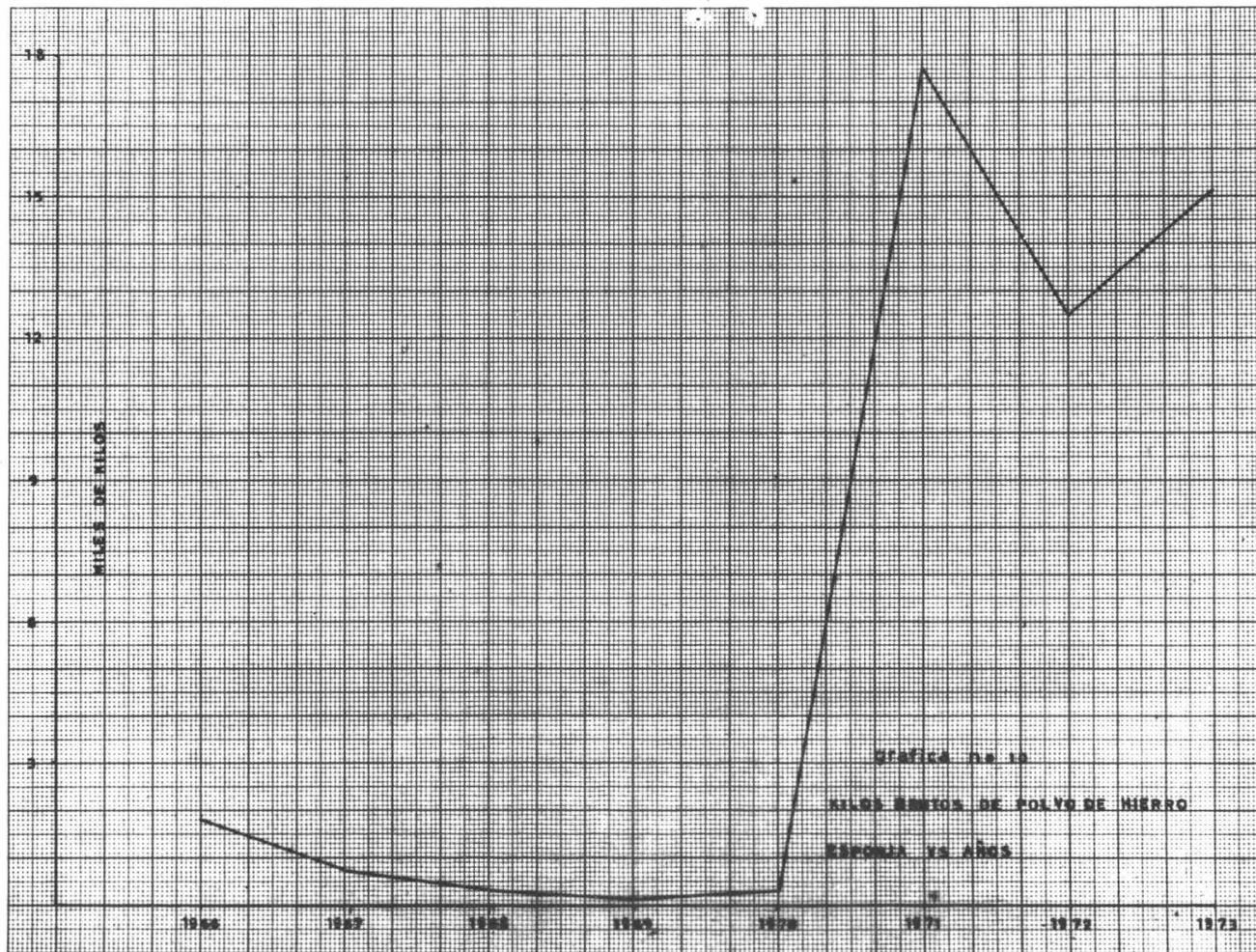


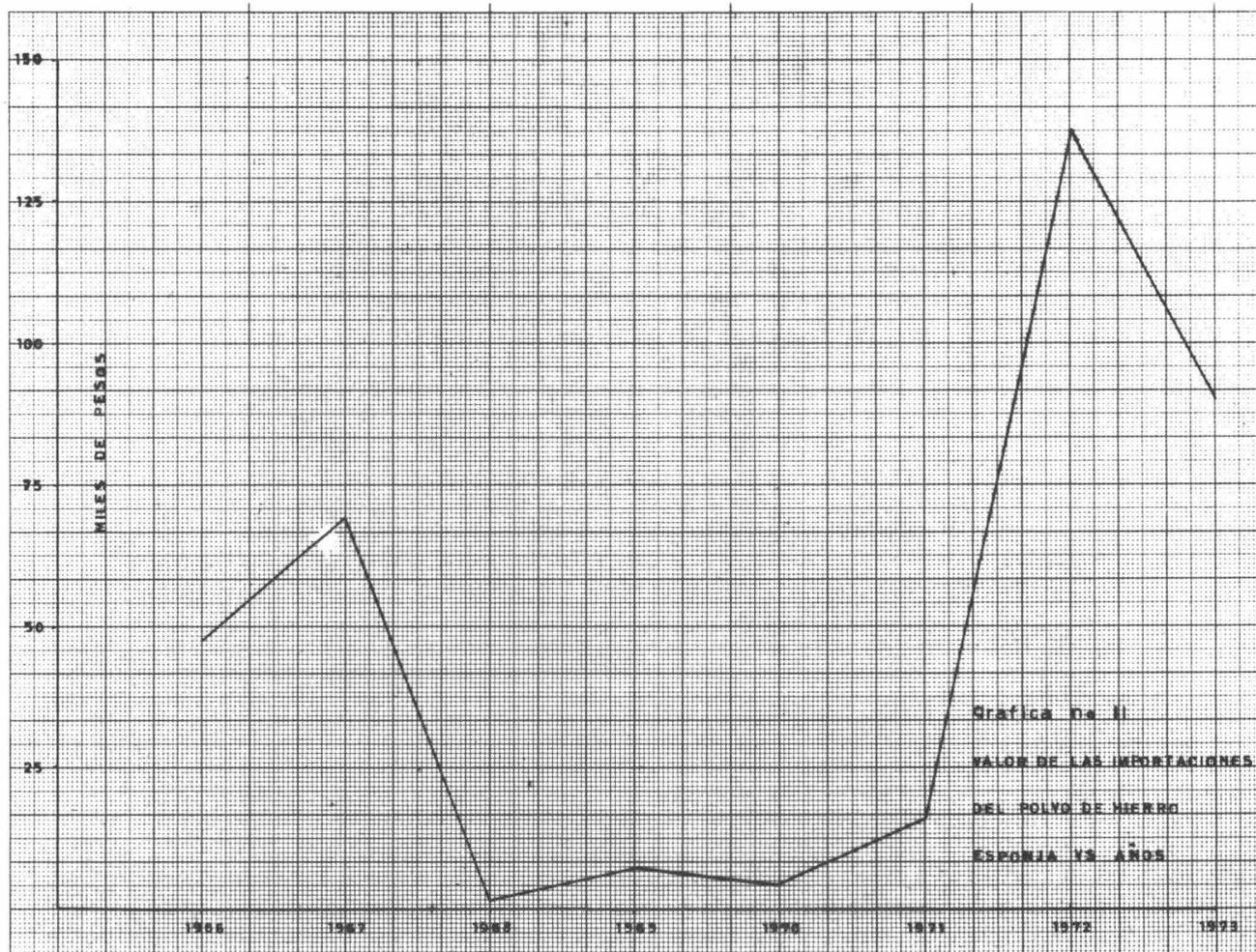




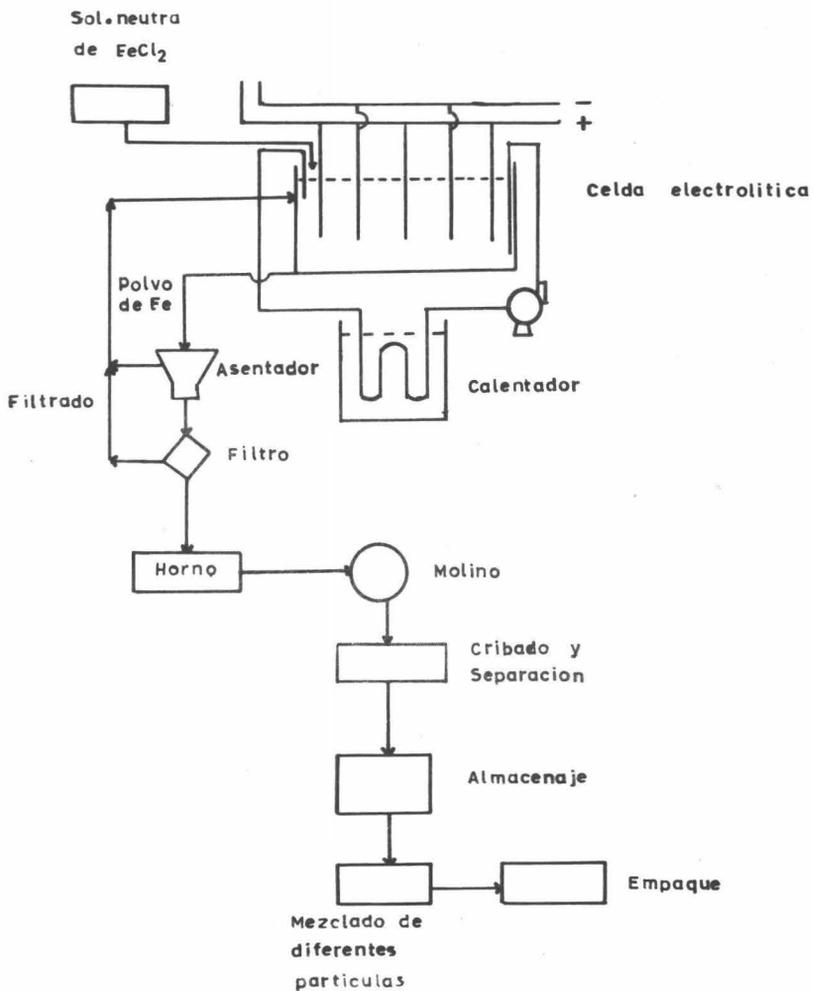


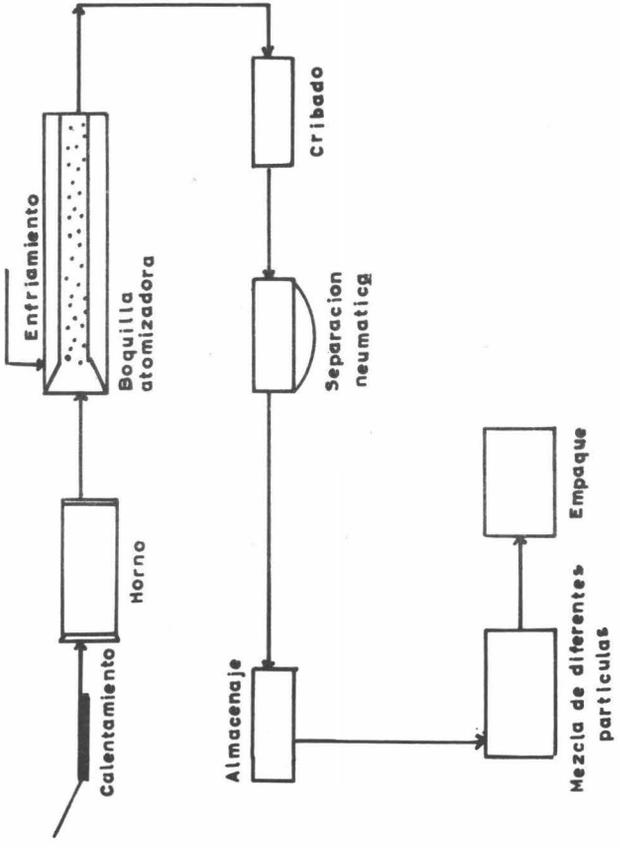


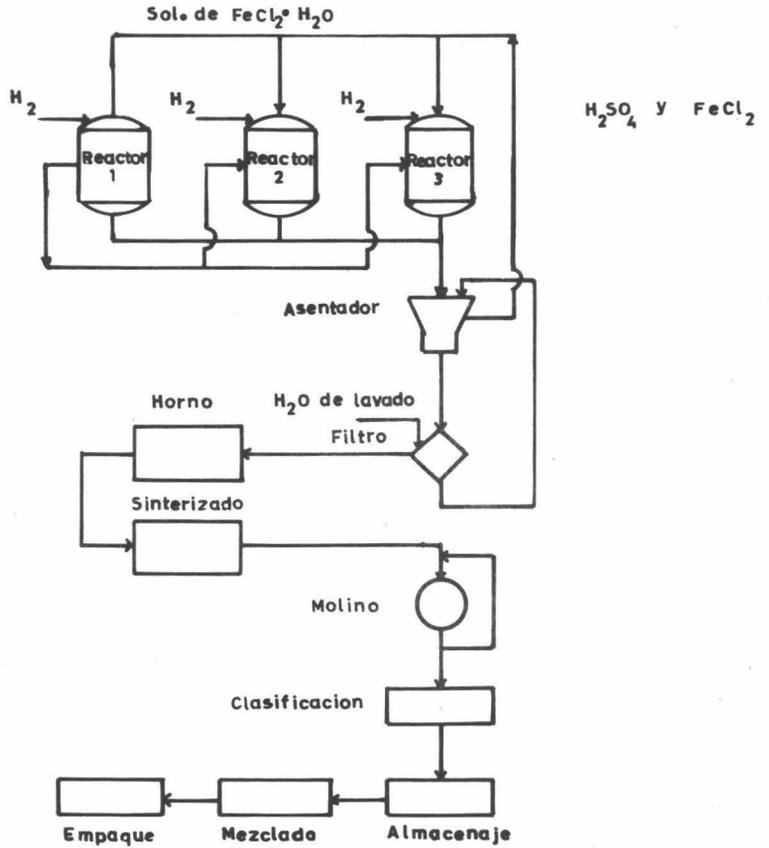




Grafica No II  
 VALOR DE LAS IMPORTACIONES  
 DEL POLVO DE HIERRO  
 ESPAÑA VS AÑOS







METODO DE REDUCCION CON HIDROGENO

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

- 1.- Bullough William.  
Chemical Abstracts. Vol. 76. p.36587 (1972).  
Heat treatment of water-atomized iron powder.  
British iron and steel research Assoc.
  
- 2.- William M. Shafer and George Yurasko.  
Glidden Co. Chemical Abstracts. Vol. 68  
p: 4164. (1968).  
U. S. 3353,951 (Cl 75-5) Nov. 21 1967.  
Fluffy or porous iron powder.
  
- 3.- Silaew. A. F.  
Chemical Abstracts. Vol. 70. p. 164. (1969)  
Vses. Nauch. Issled. Inst. Aviats. Mater;  
Moscow, USSR.  
Preparation of iron and steel powder from a  
high-carbon melt by air atomization.
  
- 4 .- Bock Stiegel and O. Struglics.  
Chemical Abstracts. Vol. 68. p. 544. (1968)  
Acetylene torch cutting with powder supply swed.
  
- 5.- Silaew. A. F.  
Chemical Abstracts. Vol. 70. p. 163. (1969)  
Vses. Nauch. Issled. Inst. Aviats. Mater;  
Moscow, USSR.  
Properties of iron powders obtained from a  
high-carbon melt by means of air atomization  
with subsequent decarburization.
  
- 6.- Metal Powder Industries Federation.  
Iron powder metallurgy.  
Vol. 3. p. 1-306. (1970)  
New York, N.Y.

- 7.- Yu. A. Gratsianow and B.N. Putintseu.  
Chemical Abstracts. Vol. 63. p.7955 (1965).  
Preparation of ferromagnetics powder by  
atomization of metal melts.
  
- 8.- Ian A. White.  
Chemical Abstracts. Vol. 63 p.7955 (1955)  
(Hoeganaes Sponge Iron Corp.)  
Stainless Steel powders manufacturing  
techniques and applications.
  
- 9.- Cottrell, Alan Howard.  
An introduction to metallurgy.  
5a. Edición. p. 216, 219, 223, 242.  
Edwar Arnold (Publishers) Ltd. (1969)  
Londres.
  
- 10.- Mantell Charles Letnan.  
Electrochemical Engineering.  
4a. Edición. p.124-128.  
Mc. Graw-Hill: (1968)  
New York, N.Y.
  
- 11.- Butts Allison.  
The metal its alloys powder.  
4a. Edición. p.502,504,505 y 541.  
Reinhold Publishing Corporation.  
New York, N.Y. (1954).
  
- 12.- J. G. Henderson & J.M. Bates.  
Metallurgical Diccionario.  
2a. Edición. p. 183-184.  
Reinhold Publishing Corporation:  
New York 22. U. S. A. (1957).

- 13.- Erwin Kreyszing.  
Introducción a la Estadística Matemática  
Principios y Métodos.  
1a. Edición. p. 315-377. Limusa-Wiley, S.A.  
México, D. F. (1974).
  
- 14.- Wilfrid J. Dixon y Frank J. Massey Jr.  
Introducción al Análisis Estadístico.  
2a. Edición. p. 185-203. Mc.Graw Hill.  
México, D. F. (1966).
  
- 15.- Murray R. Spiegel. PH.D.  
Estadística.  
1a. Edición. p.241-281. Mc.Graw Hill.  
México, D. F. (1970).
  
- 16.- Bernard Ostle.  
Estadística Aplicada.  
1a. Edición. p. 185-274. Limusa-Wiley, S. A.  
México, D. F. (1973).
  
- 17.- Miller & Freauud.  
Probabilidad y Estadística para Ingenieros.  
2a. Edición. p.210-241. Reverté Mexicana, S.A.  
México, D. F. (1967)
  
- 18.- Archer E. Knowlton.  
Standard HandBook for electrical Engineers.  
8a. Edición. P. 334; 335, 486, 487, 492.  
Mc.Graw Hill: Book Co. Inc.  
México, D. F. (1969).
  
- 19.- J.F.C. Morden.  
Metal Industrys.  
Vol. 98. p: 329-332 John Wiley & Sons, Inc.  
New York, N.Y. (1961).

- 20.- Burkin A. A. & Richardson F. D.  
The production of metal powder.  
Vol. 10. p: 335-337 Chapman and Hall Ltd.  
London, E.C.4. (1967)
- 21.- Atlas of Microstructures of Industrial.  
Alloys Metals Hand Book.  
Vol. 7. p: American Society for Metals.  
New York, N.Y. ( ).
- 22.- Datos proporcionados por:  
Depto. Estudios Económicos o Recursos Minerales  
de México.  
Los Recursos Minerales de México "Metálicos".  
México, D. F. (1972).
- 23.- Datos proporcionados por:  
Cámara Nacional de la Industria del Hierro y  
del Acero.  
Depto. de Estudios Económicos.  
Circular No. 18.  
México, D. F. (1972).
- 24.- Datos proporcionados por:  
Anuario Estadístico del Comercio Exterior  
de los Estados Unidos Mexicanos.  
Dirección General de Estadística.  
Vol. 1964. Enero-Abril de 1973.  
México, D. F. (1973).
- 25.- Datos proporcionados por:  
Revista Sobordo Mercantil.  
Fronteras: Nuevo Laredo, Puerto de Veracruz,  
Tampico.  
Vol. Años 1971-1972 (Revista Diaria).  
México, D. F.

- 26.- Datos proporcionados por:  
Aga de México, S. A.  
Av. Melchór Ocampo No. 403.  
México, D. F.
- 27.- Datos proporcionados por:  
Sintermetal, S. A.  
Calle Mateo Alemán No. 46.  
México, D. F.
- 28.- Datos proporcionados por:  
Sintermex, S. A.  
Naranjos No. 12.  
Naucalpan de Juárez, Edo. de México.
- 29.- Datos proporcionados por:  
Soldaduras Técnicas, S. A.  
Lago Silverio No. 238,  
Esq. Lago Mayrán.  
México, D. F.
- 30.- Datos proporcionados por:  
Armco Mexicana, S.A. de C. V.  
Atzacaputzálcó La Villa No. 869.  
México, D. F.
- 31.- Datos proporcionados por:  
Productos Mexicanos  
Flex - Arc, S. A.  
Lerma, Edo. de México.
- 32.- Datos proporcionados por:  
Brimex, S. A.  
Monterrey, N. L.