

300617
23
201



UNIVERSIDAD LA SALLE

**ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

**"FABRICACION DE ALAMBRE DE ACERO
POR ESTIRAJE EN FRIO"**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

LEOPOLDO JAVIER MELENDEZ CAZARES

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.,

1987



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 está 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.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. Generalidades sobre la deformación en frío de la materia prima	11
1.1 Estructura interna de los metales	12
1.2 Defectos en la estructura interna de los metales	14
1.3 Deformaciones plásticas y elásticas	17
1.4 Cambios en las propiedades físicas de los materiales sometidos a trabajo en frío	26
CAPITULO 2. Efectos de la deformación por estiraje en frío	29
2.1 Cambios en las dimensiones del material	30
2.1.1 Reducción de área	30
2.2 Efectos sobre las propiedades físicas	31
2.2.1 Evaluación de la ganancia en resistencia a la tracción	32
2.2.2 Aumento en la resistencia a la tracción	37
2.2.3 Efectos en la ductilidad y torsión	40
2.3 Influencia de la distribución de las reducciones	40
2.4 Efecto de cambios en el número de pasos y en la velocidad	41
2.5 Influencia de la composición química en el aumento de la resistencia a la tracción	43

CAPITULO 3. Teoría del trefilado	45
3.1 Las fuerzas relacionadas con el estiraje	46
3.2 Potencia necesaria para el estiraje.....	49
CAPITULO 4. Descripción de la planta y del proceso de fabricación	53
4.1 Descripción de la planta.....	54
4.2 Proceso de fabricación	58
4.2.1 Materia prima	58
4.2.2 Alimentación de la máquina	60
4.3 Limpieza ó decapado.....	60
4.4 Estiraje	64
4.4.1 Tipos de máquinas para el trefilado	66
4.4.2 Lubricantes	69
4.4.3 Dados	72
4.5 Manejo del producto terminado	76
4.6 Equipo auxiliar	77
CAPITULO 5. Aplicación de de la teoría del trefilado	82
5.1 Potencia necesaria para la producción de cada uno de los calibres	83
5.2 Transmisión y propulsión	93
5.3 Configuración general de la máquina	95
5.4 Sistema de enfriamiento	96
CAPITULO 6. Costos de operación	100
6.1 Materia prima	101

6.2	Mano de obra	104
6.3	Costos indirectos.....	104
6.4	Resumen de los costos de producción durante un año	111
CAPITULO 7. Conclusiones		113
REFERENCIAS		115
BIBLIOGRAFIA		116

I N T R O D U C C I O N

INTRODUCCION

Se llama estiraje en frío o trefilado, al proceso en el cual se obliga al alambón laminado en caliente, libre de escamas y óxido a disminuir su diámetro al hacerlo pasar, através de una placa de acero o un "dado" en el cual se ha hecho una perforación cónica.

El principal objetivo del trefilado es el de variar las propiedades físicas del alambón, así como su diámetro, dándole las características particulares que requieran cada una de las infinitas aplicaciones del alambre de acero.

Breve historia del trefilado. El alambre se conoce desde tiempos remotos. Se tiene la certeza que se utilizaba desde 3000 años antes de la era cristiana. Es muy probable que metales blandos hayan sido golpeados y luego tirados a través de orificios para formar un perfil redondo. Los faraones egipcios aproximadamente del año 3000 a. de C. tenían alambres de oro en los adornos de su vestimenta. Datos de origen fenicio de 2000 años de antigüedad se encontraron en África del sur.

En los siglos 9 al 12 se mencionan frecuentemente datos de estirado, así como la importancia que tenían las personas encargadas de la fabricación de alambre. En París, 1350, Rudolph de Nuremberg dió a la industria el primer equipo de estiraje, el cuál utilizaba agua para funcionar, al mismo tiempo en Yorkshire Inglaterra, a esta industria se le daba

un grán impulso por parte del gobierno de la Reina Elizabeth I.

El método de estirar alambre en el siglo 15 era en el cuál un hombre sentado en una especie de columpio sujetaba el alambre con unas tenazas y lo hacía pasar a través de una placa con perforaciones al impulsarse hacia atrás apoyando sus piernas en la base de la placa, la cual estaba sujeta al piso.

El problema para producir longitudes considerables de alambre, era que no existían medios para fabricar varillas ó alambros de gran longitud, hasta que poco antes de 1600 D.C. se construyó el primer molino de rodillos, el cual producía placas, de estas se sacaban tiras de metal, utilizando solamente martillo y cincel, y de aquí se convertían en alambre.

En 1750 Henry Cort de Portsmouth Inglaterra fué el primero en usar rodillos con ranuras de perfil semicircular, los cuales producían barras de longitud considerable. Cort inventó el proceso de refinado en 1780 el cuál junto con los rodillos ranurados fueron un notable adelanto en la fabricación de alambre, se producían alambres de no más de 15 pies de largo y no menores de 1/2 pulgada de diámetro.

A causa de la revolución, el alambre de origen inglés decreció en su producción, provocando el surgimiento de ésta industria en América. Las primeras plantas se ubicaron en Connecticut y Massachusetts en 1812, estas industrias eran

protegidas por el gobierno, y no pagaban ninguna tarifa especial ó impuesto.

La industria permaneció de esta forma 40 años, hasta que en 1841 se le dió ímpetu a la fabricación del alambre. En Inglaterra, Adamm Smith publicó "Aplicaciones del alambre en la manufactura de cadenas, bandas y cinturones". En 1844 el telégrafo del profesor Morse, unió a Washington y Baltimore por cable, encontrándose con dificultades por las pequeñas longitudes del alambre de que se disponía, haciendo demasiado frecuentes los empalmes.

En 1860, en Bélgica, se descubrió que después de que se le ha dado a las barras una sección redonda apropiada, la punta, en vez de salir recta de los rodillos, podía ser tomada con unas pinzas, y girarla 180° hacia otros rodillos para volverlo a procesar. El molino de laminación se había creado y las longitudes de producción aumentaron a 300 pies. La velocidad de producción estaba limitada por la habilidad del trabajador para regresar el alambrón al siguiente paso, sin embargo llegaban a 900 p/m. Ahora el problema para trabajarlo fué el tamaño de las "palanquillas", ya que si eran muy largas se perdía calor en el proceso tan largo. En 1860 se patentó el primer molino de proceso continuo en Estados Unidos, en el cual se podía ya elaborar alambrón de una longitud mucho mayor. Este puede ser el momento más importante para la industria productora de alambre de acero, ya que desde entonces hasta nuestros días, es la materia

prima para su producción.

Los molinos de laminación, se fueron perfeccionando, se podían laminar dos barras al mismo tiempo, después a distintas velocidades. La primera máquina para trefilado de alambre, de proceso continuo, apareció en Alemania e Inglaterra en 1871. La eficiencia y rentabilidad, dependían de los avances de la fabricación de los dados para estiraje. La compañía alemana Osram ideó un proceso en el cual sinterizaban carburos en una matriz. Estos dados, así como los dados de diamante, son utilizados en nuestros días.

Desde entonces, se ha tratado de optimizar el proceso, perfeccionando el tratamiento del calor producido, reduciendo las maniobras necesarias, y todo esto con el propósito de incrementar la calidad, la producción y, finalmente la rentabilidad.

La demanda de alambre se ha incrementado muchísimo desde los días en que sólo era un artículo de lujo, ya que las aplicaciones que se le pueden dar, son infinitas.

Disponibilidad de Materia Prima. En nuestro país, la industria del trefilado cuenta con cuatro principales fuentes de suministro de alambrón, estas son:

Altos Hornos de México, S.A.

Hylsa de México, S.A.

Siderúrgica Lázaro Cárdenas Las Truchas

Aceros Nacionales.

Cada empresa tiene un proceso propio para la producción del acero. Producen alambón de bajo carbón (0.060 a 0.250 %) y alto carbón (0.350 a 1.400 %), de buena calidad.

Los diámetros comerciales más comunes son 1/4", 5/16", 0.400" y 0.473".

El alambón de acero al carbono laminado en caliente se fabricó bajo la norma de calidad DGN-B-365-1969, la cual fué preparada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Siderúrgica, sin embargo algunos fabricantes pedían que se elaborara en diferentes clasificaciones, como por ejemplo, trefilado, forja y uso en general. Ahora el alambón se produce bajo las normas NOM-B6 (ASTM A-615) y se puede obtener en diferentes calidades, las cuales están clasificadas según el uso que se les va a dar y son las siguientes:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| a) Construcción | d) Estiraje |
| b) Cable | e) Soldadura |
| c) Forja | f) Microalambre |

La resistencia a la tracción del alambón para estiraje es de 4,200 kg/cm² (59,700 lb/plg²).

La composición química de las calidades más frecuentemente utilizadas es la siguiente:

	Cables	Construcción	Estiraje
	% máximo	% máximo	% máximo
Carbono	0.800	0.130	0.080
Manganeso	0.800	0.600	0.500
Azufre	0.035	0.035	0.040
Silicio	0.120	0.120	0.150

A continuación incluyo una tabla de los calibres A.I.W.G con su diámetro equivalente en milímetros y pulgadas.

Calibre	Ø	Ø	Calibre	Ø	Ø	Calibre	Ø	Ø
AIWG	pulg	mm	AIWG	pulg	mm	AIWG	pulg	mm
7/0	0.490	12.446	4/0	0.393	10.002	1/0	0.306	7.7851
7 1/4	0.483	12.268	4 1/4	0.386	9.8044	1 1/4	0.301	7.6454
7 1/2	0.476	12.090	4 1/2	0.378	9.6012	1 1/2	0.295	7.493
7 3/4	0.469	11.912	4 3/4	0.370	9.3986	1 3/4	0.289	7.3406
6/0	0.461	11.722	3/0	0.362	9.2075	1	0.283	7.1882
6 1/4	0.454	11.531	3 1/4	0.355	9.0174	1 1/4	0.278	7.0612
6 1/2	0.446	11.328	3 1/2	0.347	8.8138	1 1/2	0.273	6.9342
6 3/4	0.438	11.125	3 3/4	0.339	8.6106	1 3/4	0.268	6.8072
5/0	0.430	10.934	2/0	0.331	8.4074	2	0.262	6.6675
5 1/4	0.421	10.639	2 1/4	0.321	8.255	2 1/4	0.258	6.5532
5 2/4	0.412	10.464	2 1/2	0.319	8.1026	2 1/2	0.253	6.4262
5 3/4	0.403	10.236	2 3/4	0.313	7.9502	2 3/4	0.248	6.2992

(CONTINUACION)

Calibre	Ø	Ø	Calibre	Ø	Ø	Calibre	Ø	Ø			
AIWG	pulg	mm	AIWG	pulg	mm	AIWG	pulg	mm			
3	-	0.243	6.1899	9	-	0.148	3.7668	15	-	0.072	1.8288
3	1/4	0.239	6.0706	9	1/4	0.145	3.683	15	1/4	0.070	1.778
3	1/2	0.235	5.969	9	1/2	0.142	3.6068	15	1/2	0.067	1.7018
3	3/4	0.230	5.842	9	3/4	0.138	3.5052	15	3/4	0.065	1.651
4	-	0.225	5.7226	10	-	0.135	3.429	16	-	0.062	1.5875
4	1/4	0.221	5.6134	10	1/4	0.131	3.3274	16	1/4	0.060	1.524
4	1/2	0.216	5.4864	10	1/2	0.128	3.2512	16	1/2	0.058	1.4732
4	3/4	0.212	5.3848	10	3/4	0.124	3.1496	16	3/4	0.056	1.4224
5	-	0.207	5.2578	11	-	0.120	3.0607	17	-	0.054	1.3716
5	1/4	0.203	5.1562	11	1/4	0.117	2.9718	17	1/4	0.052	1.3208
5	1/2	0.200	5.08	11	1/2	0.113	2.8702	17	1/2	0.051	1.2954
5	3/4	0.196	4.9784	11	3/4	0.109	2.7686	17	3/4	0.049	1.2471
6	-	0.192	4.8768	12	-	0.105	2.6797	18	-	0.047	1.2065
6	1/4	0.188	4.7752	12	1/4	0.102	2.5908	18	1/4	0.045	1.1658
6	1/2	0.185	4.699	12	1/2	0.099	2.5146	18	1/2	0.044	1.1252
6	3/4	0.181	4.5974	12	3/4	0.095	2.413	18	3/4	0.042	1.0820
7	-	0.177	4.4958	13	-	0.091	2.324	19	-	0.041	1.0414
7	1/4	0.173	4.3942	13	1/4	0.089	2.2606	19	1/4	0.039	1.0007
7	1/2	0.170	4.318	13	1/2	0.086	2.1844	19	1/2	0.037	0.9626
7	3/4	0.166	4.2164	13	3/4	0.083	2.1082	19	3/4	0.036	0.9220
8	-	0.162	4.1148	14	-	0.080	2.032	20	-	0.034	0.8839
8	1/4	0.159	4.0386	14	1/4	0.078	1.9812	20	1/4	0.034	0.8636
8	1/2	0.155	3.937	14	1/2	0.076	1.9304	20	1/2	0.033	0.8432
8	3/4	0.152	3.8608	14	3/4	0.074	1.8796	20	3/4	0.032	0.8255

(CONTINUACION)

Calibre	Ø	Ø	Calibre	Ø	Ø	Calibre	Ø	Ø			
AIWG	pulg	mm	AIWG	pulg	mm	AIWG	pulg	mm			
21	-	0.031	0.8051	27	-	0.017	0.4394	33	-	0.0118	0.299
21	1/4	0.030	0.7848	27	1/4	0.017	0.4318	33	1/4	0.0115	0.292
21	1/2	0.030	0.7645	27	1/2	0.016	0.4267	33	1/2	0.0111	0.281
21	3/4	0.029	0.7467	27	3/4	0.016	0.4191	33	3/4	0.0108	0.274
22	-	0.028	0.7264	28	-	0.016	0.4114	34	-	0.0104	0.264
22	1/4	0.027	0.7086	28	1/4	0.015	0.4038	34	1/4	0.0102	0.259
22	1/2	0.027	0.6908	28	1/2	0.015	0.3962	34	1/2	0.0100	0.252
22	3/4	0.026	0.6731	28	3/4	0.015	0.3886	34	3/4	0.0097	0.246
23	-	0.025	0.6553	29	-	0.015	0.381	35	-	0.0095	0.241
23	1/4	0.025	0.6375	29	1/4	0.014	0.3759	35	1/4	0.0094	0.238
23	1/2	0.024	0.6197	29	1/2	0.014	0.3683	35	1/2	0.0093	0.236
23	3/4	0.023	0.6019	29	3/4	0.014	0.3632	35	3/4	0.0091	0.231
24	-	0.023	0.5842	30	-	0.014	0.3556	36	-	0.0090	0.228
24	1/4	0.022	0.5689	30	1/4	0.013	0.3505	36	1/4	0.0089	0.226
24	1/2	0.021	0.5511	30	1/2	0.013	0.3454	36	1/2	0.0087	0.220
24	3/4	0.021	0.5359	30	3/4	0.013	0.3403	36	3/4	0.0086	0.218
25	-	0.020	0.5181	31	-	0.013	0.3352	37	-	0.0085	0.215
25	1/4	0.019	0.5029	31	1/4	0.013	0.3327	37	1/4	0.0084	0.213
25	1/2	0.019	0.4902	31	1/2	0.013	0.3302	37	1/2	0.0083	0.210
25	3/4	0.018	0.4749	31	3/4	0.012	0.3276	37	3/4	0.0081	0.205
26	-	0.018	0.4597	32	-	0.012	0.3251	38	-	0.0080	0.203
26	1/4	0.017	0.4546	32	1/4	0.012	0.3200	38	1/4	0.0079	0.200
26	1/2	0.017	0.4495	32	1/2	0.012	0.3124	38	1/2	0.0078	0.198
26	3/4	0.017	0.4445	32	3/4	0.012	0.3073	38	3/4	0.0076	0.193

En el capítulo número 5, se ejemplifica la fabricación de los siguientes calibres: 1 1/4, 5 3/4, 8 1/4 y 11 1/4.

CAPITULO 1

GENERALIDADES SOBRE LA DEFORMACION EN FRIO DE LA MATERIA PRIMA

1.1 Estructura Interna de los Metales

Para comprender las alteraciones que sufre el metal en el estiraje en frío, es indispensable una breve explicación de la estructura interna de los metales.

En los gases no existe una distribución regular de las partículas (átomos y moléculas), sus partículas se mueven de forma desordenada chocando unas con otras y el gas tiende a ocupar el mayor volumen posible.

En los sólidos existe un orden determinado, regular, en la distribución de átomos, las fuerzas de atracción y repulsión están en equilibrio y el sólido conserva su forma.

En los líquidos las partículas conservan solamente un orden proximo, es decir, en el espacio esta distribuida, una cantidad pequeña de átomos, y no los átomos de todo el volumen como en el sólido, esta ordenación proxima es inestable y puede aparecer o desaparecer con oscilaciones térmicas de gran energía.

La distribución regular de las partículas (átomos y moléculas) caracterizan al estado cristalino.

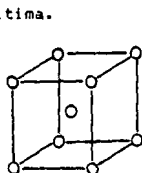
La estructura cristalina nos la podemos imaginar como una red espacial en la cual los átomos (iones con carga positiva), se encuentran en los nodos, esto hace que cada uno de estos tengan el mismo número de átomos vecinos situados a distancias iguales.

Existen varios tipos de esquemas y procedimientos para escribir las formas de agrupación de los átomos en el cristal

Las líneas imaginarias trazadas por los centros de los átomos da origen a lo que se llama plano cristalográfico y la repetición múltiple de planos cristalográficos paralelamente forma una red cristalina.

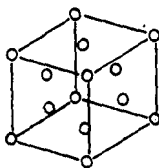
La distribución de los átomos en el plano cristalográfico es conveniente representarla por esquemas especiales llamadas celdas elementales. Se entiende por celda elemental el menor conjunto de átomos que al repetirse en el espacio forma una red cristalina.

Solamente existen catorce tipos de redes espaciales y se pueden clasificar en siete sistemas cristalinos; triclinico, monoclinico, ortorrómbico, romboedral, hexagonal, tetragonal y cúbico. La mayoría de los metales importantes cristalizan en los sistemas cúbicos o en los hexagonales, y sólo tres tipos de redes espaciales se encuentran comunmente: la b.c.c. (cúbica centrada en el cuerpo), la f.c.c. (cúbica centrada en las caras) y la c.p.h. (hexagonal compacta o de empaquetamiento denso). En los metales es muy frecuente ésta última.



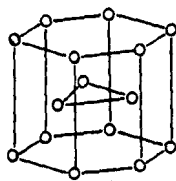
b.c.c.

cúbica centrada
en el cuerpo



f.c.c.

cúbica centrada
en las caras



c.p.h.

hexagonal de
formación densa

Los cristales de los metales tienen pequeñas dimensiones, por ésta razón, están formados por un número muy grande de cristales. Esta estructura se llama policristalina y en ella los cristales aislados no tienen posibilidad de tomar una forma regular, a estos cristales de forma irregular del agrupado policristalino se les llama granos o cristales.

La orientación de la red cristalina en el grano es casual y puede encontrarse con la misma probabilidad, cualquier orientación especial.

Sin embargo, esto puede cambiarse, ya que la formación en frío, como el trefilado o la laminación, ocasionan una orientación predominante de los granos, a la que se le llama textura. Esta orientación puede variar desde una orientación casual hasta un estado en que todos los cristales tengan la misma orientación.

1.2 Defectos de la Estructura Interna de los Metales.

Investigaciones han demostrado que la estructura cristalina interna en un grano no es regular. El grado de perfección de una red cristalina determina en gran parte las características del metal, por ésta razón es de gran importancia, el estudio de éstas imperfecciones.

Las imperfecciones cristalinas más importantes son las vacancias, los intersticios y las dislocaciones.

Las vacancias, también llamadas huecos, son simplemente sitios atómicos vacíos (fig 1-a). Este defecto es importante en los procesos de difusión de los metales. La cantidad de

huecos a temperatura ambiente es muy pequeña (aproximadamente 1 por cada 10^8 átomos), pero aumenta notóricamente al elevarse la temperatura, sobre todo cerca de la temperatura de fusión (cerca de 1 por 10^4 átomos).

Los intersticios son átomos que se encuentran en los espacios de la estructura reticular y tienden a empujar a los átomos vecinos a una distancia mayor, produciendo distorsiones en los planos reticulares (fig. 1-b). Los átomos intersticiales pueden producirse por una severa distorsión local durante una deformación plástica, o por irradiación.

Otro defecto en la estructura cristalina, son las llamadas dislocaciones.

Supongamos que en una red cristalina aparece por cualquier motivo un plano superfluo de átomos, o sea un plano adicional

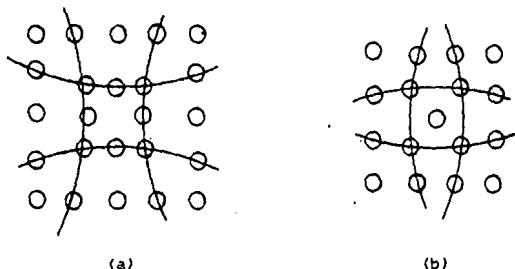


Fig. 1

El plano 3-3 (fig. 2), da origen a un defecto (imperfección) lineal de la red a lo que se llama dislocación de borde. Esta dislocación se puede extender a millares de nodos longitudinalmente, pero también puede dar vuelta o torcerse, inclusive, formar una dislocación en espiral.

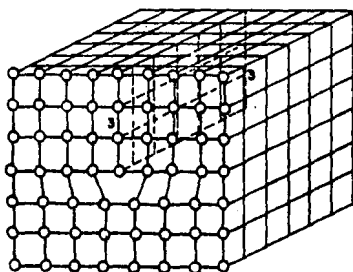


Fig. 2

En torno a el plano adicional aparece una zona de deformación elástica en la red. La anchura de la dislocación es igual a unas cuantas distancias atómicas. Una dislocación se desplaza fácilmente como consecuencia de la deformación de la red en esa zona, de una posición neutra a un plano adicional y así sucesivamente, como se ve en la figura N'3. De esta forma una dislocación puede trasladarse o transmitirse a lo largo de un plano perpendicular a la dislocación, llamado plano de deslizamiento.

La densidad de las dislocaciones en 1 cm^3 es de 1 millón

aproximadamente, en metales puros ordinarios. Las propiedades mecánicas dependen de la cantidad de dislocaciones y específicamente de su facilidad de transmitirse y multiplicarse.

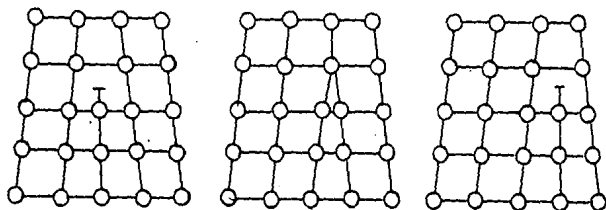


Fig. N°3

1.3 Deformaciones Plásticas y Elásticas.

Las tensiones aplicadas a un material provocan una deformación que puede ser elástica, si desaparece al quitar la carga o plástica si se conserva. La carga por pequeña que sea siempre provoca una deformación, inicialmente elástica y directamente proporcional a la tensión.

En la siguiente fig. (No. 4) la deformación elástica está caracterizada por la línea OA y su prolongación (punteada).

Por encima del punto A, la proporcionalidad se pierde y la deformación no sólo es plástica sino elástica, permanente. Su magnitud es igual al segmento horizontal que va desde la línea de trazos hasta la curva continua.

Entre estos dos tipos de deformaciones existe una gran

diferencia física.

En la deformación elástica, por la acción de las fuerzas externas, varía la distancia que hay entre los átomos de la red cristalina, pero al desaparecer las cargas, los átomos regresan al lugar donde se encontraban y la deformación desaparece.

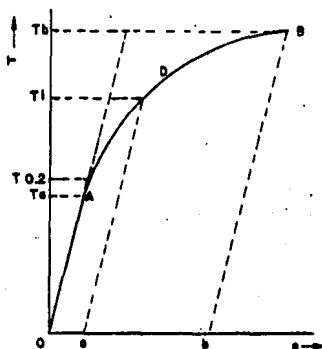


Fig. N°4

La deformación plástica es un proceso distinto y complejo.

En la deformación plástica una parte del cristal se desplaza con respecto a otra. Si se quita la carga, la parte desplazada del cristal no regresa a la posición inicial y la deformación se conserva. Estos desplazamientos se pueden observar en un análisis microestructural.

La dependencia OAB, de la fig. anterior (No. 4), entre la tensión (T) aplicada desde el exterior y la deformación

relativa (e) que produce, caracteriza las propiedades mecánicas de los metales. La inclinación OA indica la rigidez del metal o es característica de cómo la carga aplicada, hace que varíen las distancias interatómicas. La tangente del ángulo OA es proporcional al módulo de elasticidad (E), el cuál es numéricamente igual al cociente, de dividir la tensión por la deformación elástica relativa ($E=T/e$), la tensión (T_a) corresponde al instante en que aparece la deformación plástica. En las mediciones técnicas es común aceptar la característica llamada 'límite de fluencia ($T_{0.2}$)' (carga que produce una deformación permanente igual al 0.2% de la longitud, o de otra dimensión de la probeta). La tensión máxima (T_b), es la carga máxima que se alcanza en el ensayo de tracción.

De la curva de deformación, la cual dependiendo de varios factores (como material ensayado, temperatura y velocidad), tiene formas diferentes y se puede obtener información valiosa.

Como dijimos anteriormente, la deformación elástica es una variación de las distancias interatómicas debido a fuerzas externas y no tiene ninguna consecuencia permanente. Cuanto menor sea la deformación que produzca una tensión, mayor será su rigidez, y por tanto el módulo de elasticidad caracteriza la rigidez del material. El valor del módulo de elasticidad esta determinado por las fuerzas de interacción entre los átomos y es una constante del material.

La elevación de la temperatura hace que aumenten las distancias interatómicas y por lo tanto que disminuya el módulo de elasticidad.

Como se dijo antes la deformación plástica es un desplazamiento de una parte del cristal con respecto a otra. Es natural suponer que el desplazamiento ocurre como se ve en la figura N°5, o sea que todos los átomos del cristal, que están por encima del plano de deslizamiento A-A se desplazan al mismo tiempo por la acción de la fuerza P y pasan de la posición 'a', a la 'b' y 'c'.

El esfuerzo necesario para éste desplazamiento se puede calcular teóricamente. La fórmula la dedujo, por el año de 1920, J. Frenkel y es de la siguiente forma:

$$\tau_{\text{desp}} = aG/2b\pi$$

donde: G es el módulo de desplazamiento (Hook)

a es la distancia interatómica en la dirección del deslizamiento (A-A en la figura N°5)

b es la distancia interatómica entre los planos.

El módulo de Hook o módulo de tangencial de elasticidad (G), tiende a desplazar los átomos en vez de separar uno de otro, como lo hace el módulo normal de elasticidad E (o módulo de Young).

El módulo de Young es de 2.5 a 3 veces mayor que el de

Hggk. Para el hierro $E=2,1 \times 10^4$ Kgf/mm² y $G=0,8 \times 10^4$ Kgf/mm².

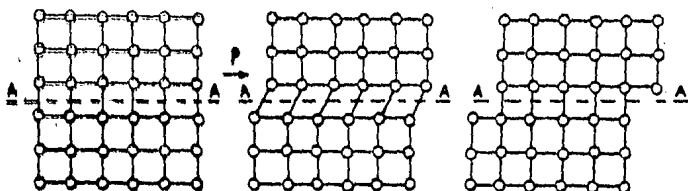


Fig. N°5

Para redes metálicas densas la fracción a/b se aproxima a la unidad, de donde se deduce que el esfuerzo teórico (resistencia teórica) para efectuar el desplazamiento (deformación plástica) es aproximadamente seis veces menor que el módulo de desplazamiento. Para el hierro el límite teórico de fluencia debe ser 1300 Kgf/mm², pero en realidad es de 15 Kgf/mm², o sea, casi 100 veces menor.

La diferencia de los valores era tan notable, que la ecuación y la idea acerca de la resistencia teórica se consideraron erróneas. Para explicar esto se elaboró la teoría de las dislocaciones por Taylor, al mismo tiempo por Drowan y Polani. Esta teoría se comprobó cuando se lograron obtener cristales sin dislocaciones, llamados cristales filiformes ó "whiskers", ya que ellos tienen una resistencia que se aproxima a la teórica.

La figura N°6, muestra el esquema simplificado del proceso de deslizamiento. La dislocación (representada por el signo \perp), se desplaza por la acción de la fuerza P , cambiando únicamente la vecindad de los átomos por ambos lados del plano A-A, la dislocación sale al límite de grano o superficie del cristal y desaparece.

Esta forma de deformación plástica es mucho más factible que el de desplazamiento simultáneo de los átomos, y en realidad es la única forma en que se realiza.

Por lo anterior es lógico concluir que la deformación es más fácil si hay un número mayor de dislocaciones. Un metal sin dislocaciones, solo podrá deformarse por desplazamiento simultáneo de todas las partículas, o por la generación de dislocaciones por la acción de la deformación elástica. Si las tensiones no originan dislocaciones, la resistencia debe ser igual a la teórica.

La resistencia real de los metales disminuye, al aumentar el número de dislocaciones, pero sólo al principio, ya que al

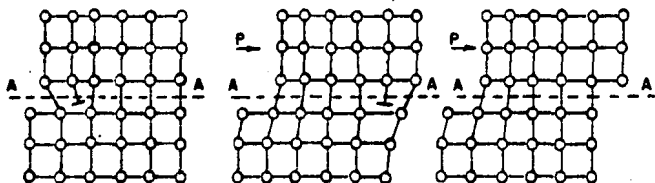


Fig. N°6

alcanzar un valor mínimo, con una cierta densidad de dislocaciones, la resistencia real aumenta de nuevo. Esta relación se representa esquemáticamente en la figura siguiente (N°7).

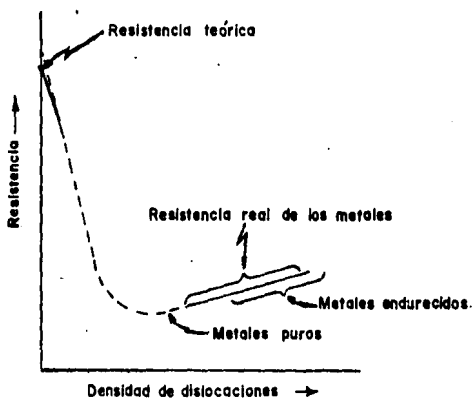


Fig. N°7

El aumento de la resistencia se explica porque al existir un número mayor de dislocaciones, en diferentes planos y direcciones, se estorban al trasladarse, aumentando la resistencia real del metal. Por lo tanto, la existencia de dislocaciones en un cristal metálico, le da la propiedad de deformarse plásticamente, la cual es la característica más importante y útil de un metal.

El proceso de endurecimiento en frío, por medio del

aumento de la densidad útil de las dislocaciones, se le llama "Acritud", y es el que se produce mediante el estiraje en frío o trefilado.

Regresando a la curva de tensión-deformación (fig. N°4), si la carga no pasa el punto A (límite de fluencia), al eliminarla no ocurrirán variaciones en el metal, pero si la carga supera el límite de fluencia y las tensiones fueron por ejemplo, iguales a T_1 , al eliminar la carga, habrá una deformación igual a 'a'. Si se vuelve a someter el metal a la carga, su aptitud para la deformación plástica habrá disminuído y el límite de fluencia se elevará hasta el valor T_1 , es decir, para producir una deformación habrá que aplicar una tensión mayor. El aumento de la dureza y resistencia a la tracción producido por la deformación en frío se llama acritud.

Por lo expuesto con anterioridad sabemos que ésta deformación se efectúa por desplazamiento de las dislocaciones. Unas cuantas dislocaciones en movimiento generan muchas más, aumentando la densidad de éstas, ocasionando un endurecimiento o aumento de la tensión de rotura (fig. N°B).

La 'textura' también caracteriza la deformación en frío de la red cristalina de un metal, que es una determinada orientación de los granos.

Los cristales orientados irregularmente, por la acción de la deformación, vuelven sus ejes de mayor resistencia a la

dirección de la deformación.

Cuando todos los granos están orientados igualmente la 'texturación' es del 100%.

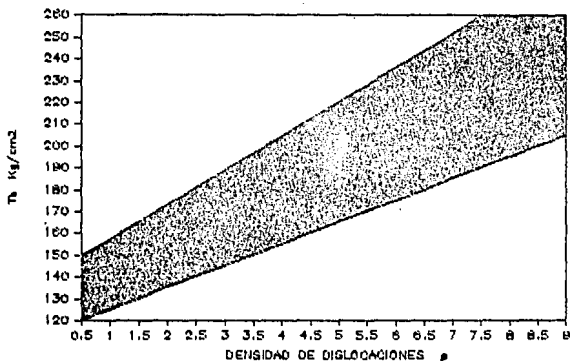


Fig. N° 8. Resistencia en función de la densidad de dislocaciones (acero alta resistencia).

El Investigador Godfrey ha demostrado que el cambio en la orientación de los granos, sucede hasta que la reducción de área ha llegado a un 50%, mientras que el mayor aumento a la tracción es durante el 30% de reducción, por lo tanto la texturación no es el principal factor que determine el aumento de la resistencia a la tracción.

Con el aumento de la deformación disminuye la densidad del metal, esto se debe a la formación de huecos y se puede apreciar cuando la deformación llega a una magnitud correspondiente a la letra 'D' (fig. N°4).

Resumiendo, la deformación plástica hace que varíe la

estructura interna del grano y su forma, y una vez alcanzada una magnitud determinada, que disminuya su densidad por la formación de vacantes en la red cristalina.

Podemos concluir, que lo que se persigue con el trefilado es aumentar su resistencia a la tensión mediante el fenómeno de la acritud.

1.4 Variación de las propiedades físicas del acero endurecido por deformación en frío.

Todos los metales que se han trabajado en frío presentan una red cristalina distorsionada. Todas las propiedades que dependan de la estructura reticular son afectadas por la deformación plástica ó por el trabajo en frío. El resultado de la deformación por el trefilado es que el metal adquiere acritud (es decir, la resistencia a la tracción, la resistencia a la cedencia ó fluencia y la dureza aumentan, á costa de de la disminución de la plasticidad y tenacidad). Aunque la resistencia y dureza aumentan, la rapidéz de cambio para cada una es diferente. La resistencia a la tracción aumenta aproximadamente en forma lineal, mientras que la dureza aumenta mas rápidamente en el primer 10% de reducción.

La resistencia a la cedencia aumenta más rápidamente que la resistencia a la tensión, así que ha mayor rapidéz de deformación plástica, el intervalo entre las resistencias de cedencia y de tensión disminuyen (fig N°9). Por lo tanto la carga de estiraje debe de tener un valor mayor al punto de

cedencia para lograr una deformación, pero menor a la resistencia a la tracción para evitar fallas en su estructura.

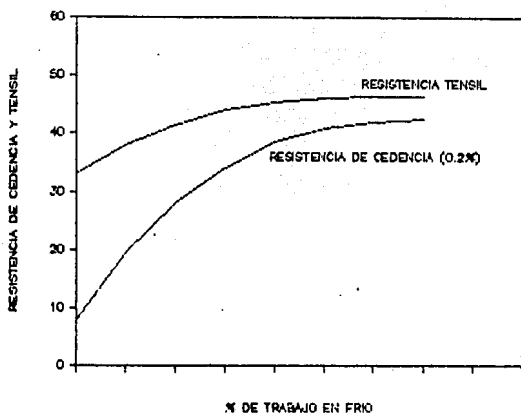


Fig. N°9

La ductilidad tiene una trayectoria opuesta a la de la dureza, muestra un gran decremento en el primer 10% de reducción y luego una disminución con una rapidéz menor.

Las propiedades del alambre de acero estirado, dependen del grado de acritud que contengan o sea del grado en que se haya reducido su diámetro (fig. N°10). Los cambios de las propiedades, así como los efectos que produce el trefilado sobre el material, se exponen con detalle en el siguiente capítulo.

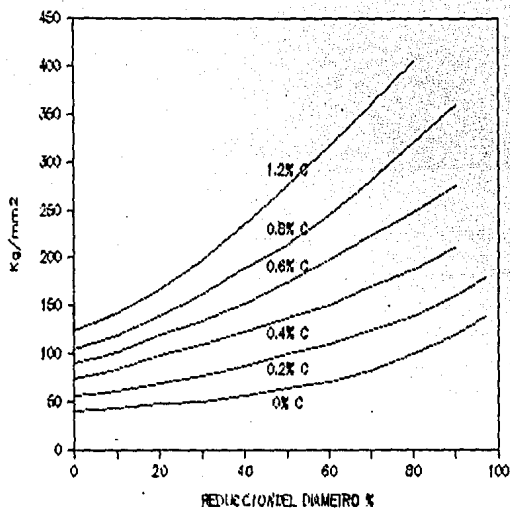


Fig. N°10. Influencia del grado de reducción sobre el límite de esfuerzo de rotura en alambres de diferente contenido de carbono.

CAPITULO 2

**EFFECTOS DE LA DEFORMACION POR
ESTIRAJE EN FRIO**

2.1 Cambios en las dimensiones del material.

Para todo cálculo es necesario conocer el cambio en las dimensiones del alambre, antes y después del trefilado. El porcentaje de reducción se puede conocer mediante cualquiera de las siguientes expresiones:

$$\%RA = \frac{A1 - A2}{A1} \times 100 \qquad \%RA = 100 - \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times 100$$

en donde $A1$ es igual al área antes del trefilado, $A2$ es el área después del trefilado, d es el diámetro final y D es diámetro inicial. De la misma forma el porcentaje de elongación se puede obtener de la expresión:

$$\%E = \frac{A1 - A2}{A2} \times 100$$

La tabla 2-1 muestra la relación entre la reducción de área y la elongación.

Examinando la tabla 2-1, podemos notar que la reducción de área se incrementa cerca del 100%, el valor de la elongación se aproxima al infinito y la relación de diámetros se hace más pequeña. Así podemos ver que cuando la reducción de área se aproxima a un 50%, el alambre es 2 veces su longitud original, y la relación de diámetros, final sobre inicial, es aproximadamente de 3/4. Esto da una idea del primer cambio que ocurre en el trefilado.

2.1.1 Reducción de Área.

Lo más importante en este punto es hacer notar que dos

TABLA 2-1

Reducción de Área %	Elongación %	Relación de diámetros d/D
10	11	0.95
20	25	0.89
30	43	0.84
40	66	0.77
50	100	0.74
60	150	0.63
70	233	0.55
75	300	0.50
80	400	0.45
85	566	0.39
90	900	0.32
95	1900	0.22
98	4900	0.14

reducciones, por ejemplo, del 15% no producen una reducción total del 30%. Esto se muestra en la tabla 2-2, en la cual podemos ver que para producir una reducción total del 30% se puede obtener con dos reducciones del 16% ó tres del 11%. La reducción total de área se logra con varios pasos de trefilado, que no van en relación directa con el aumento de la resistencia a la tensión, ya que esta siempre aumenta en la misma proporción (figs. 11 y 12).

2.2 Efectos sobre las propiedades físicas.

La figura N°13, muestra la gráfica realizada por Bonzel, nos da una clara idea de los efectos del trefilado sobre un acero dulce. Como se puede ver, mientras que la reducción de área aumenta, la resistencia a la tensión y la dureza Brinell aumentan, el valor de la elongación y del impacto disminuyen. Estos cambios se pueden comprender ya que son el resultado de

el fenómeno de la acritud que se ha explicado en el capítulo anterior.

TABLA 2-2

Reducción total de Área, resultado de diferente número de reducciones.

%	2	3	4	5	6	7	%
10	19	27	35	41	47	52	10
11	21	30	37	45	51	56	11
12	23	32	40	48	54	59	12
13	25	34	43	50	57	62	13
14	27	37	46	54	60	65	14
15	28	39	48	55	62	68	15
16	30	41	50	58	65	73	16
17	31	43	53	61	68	74	17
18	33	45	58	63	70	75	18
19	35	47	57	65	72	77	19
20	36	49	59	67	74	79	20
21	38	51	61	69	76	81	21
22	39	52	63	71	77	82	22
23	41	54	65	73	79	86	23
24	42	56	66	74	80	85	24
25	44	58	68	76	82	86.5	25
26	45	60	70	78	84	88	26
27	47	61	71	79	85	89	27
28	48	63	73	80	86	90	28
29	48	64	74	81	87	91	29
30	49	65	75	82	88	91.5	30
31	51	66	76	83	89	92.3	31
32	53	68	77	85	90	93.1	32
33	54	70	79	86	90.5	93.6	33
34	56	71	80	87	91.5	94.3	34
35	58	72	82	88	92.0	94.7	35
36	59	74	83	89	93.0	95.5	36
37	60	75	84	90	93.5	95.8	37
38	61	76	85	91	94.5	96.5	38
39	63	77	86	92	95.0	97.0	39
40	64	78	87	92	95.2	97.1	40

2.2.1 Evaluación de la ganancia en resistencia a la tracción.

Existen varios métodos para evaluar el trabajo en frío realizado sobre metales, elaborados por el norteamericano Godfrey. La figura N°14 muestra la relación entre la

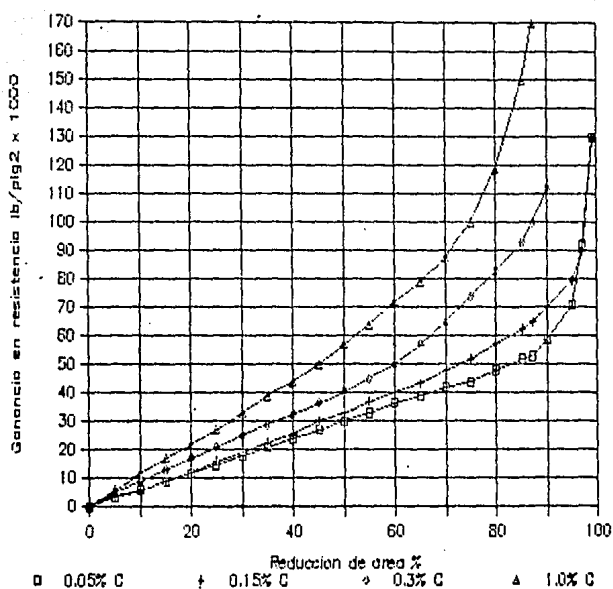
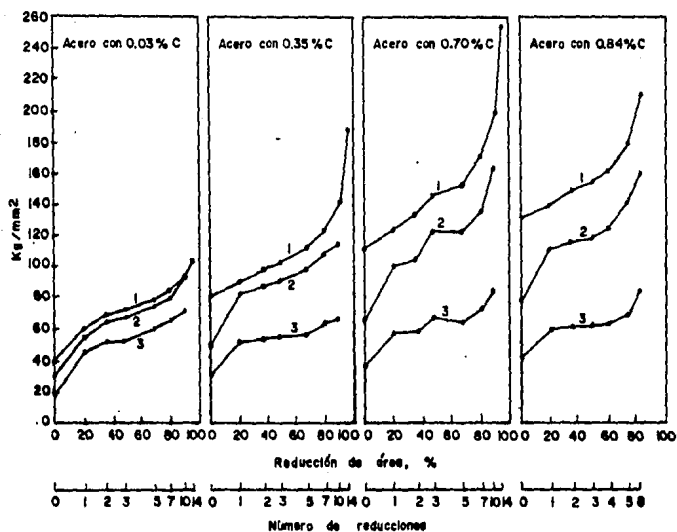


Fig. N'11. Aumento de la resistencia tensil, al aumentar el % de reducción de área, para alambres con diferente contenido de carbón.

resistencia a la tensión de un alambre de acero de alto carbono y la reducción de área por trefilado. Se puede ver que la razón de ganancia de resistencia no es proporcional al trabajo realizado en frío, tomando éste como una relación directa de la reducción de área.

Otra forma de cuantificar el trabajo realizado puede ser mediante la aplicación de la siguiente expresión:



1.-Resist. tensil 2.-Lim. de fluencia 3.-Lim. de elasticidad

Fig. N°12. Influencia de la reducción de área sobre las propiedades tensiles de aceros con diferente contenido de carbono.

$$C = \log \frac{A_0}{A_f} \quad (*)$$

En donde C = Trabajo en frío o ganancia real

A₀ = Área inicial.

A_f = Área final.

La figura N°15 muestra la relación entre los valores de esta ecuación y la resistencia tensil. En esta gráfica se

(*) Ver referencia N°1 página 115.

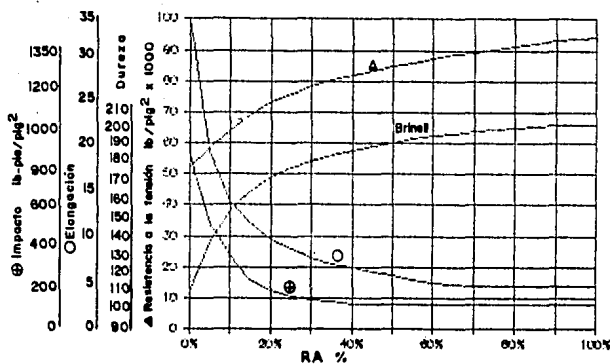


Fig. N°13. Efecto del trefilado en un acero dulce.

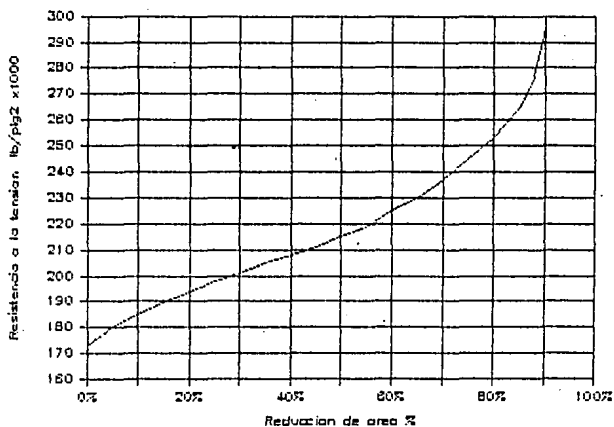


Fig. N°14. Relación entre la resistencia a la tracción y el % de RA en un alambre de alto carbono.

puede notar una falta de proporcionalidad al inicio, debido a que la resistencia a la tracción se basó en el diámetro antes de realizar la prueba, y al final producida por una orientación preferente de los granos. La inclinación de la recta será una medida de la proporción de la ganancia en resistencia. De ésta manera se aprecia que la resistencia a la tracción aumenta a razón $51,000 \text{ lb/plg}^2$ por unidad de ganancia real (*). La unidad de ganancia o trabajo corresponde a una reducción de área del 63.2 %. La unidad de ganancia parece ser la mejor forma de cuantificar el trabajo en frío realizado.

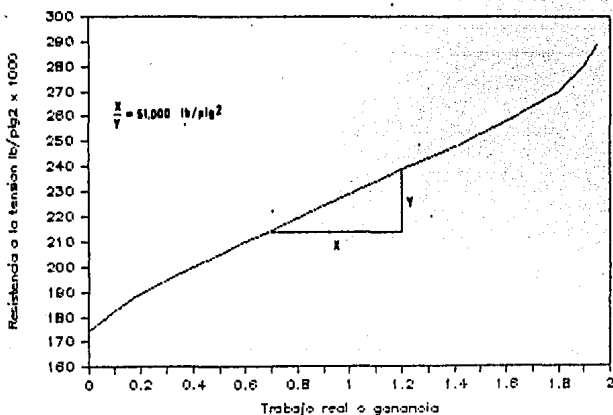


Fig. N°15. Relación entre la resistencia tensil de un alambre de alto carbono y la ganancia real por estiraje.

(*) Ver referencia N°2 página 115.

La figura N°16 muestra la relación entre el porcentaje de reducción de área y la ganancia real. Esta figura se puede utilizar para encontrar la reducción de área por paso para realizar un trabajo uniforme al dividir el total de la ganancia por el número de pasos y utilizando entonces las reducciones de Área correspondientes.

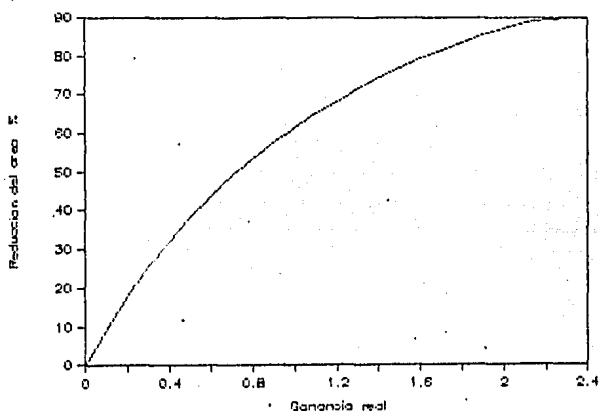


Fig. N°16. Relación entre el
% de RA y la ganancia real.

2.2.2 Aumento de la Resistencia a la Tracción.

Existen, según el investigador J. Godroy, tres formas de expresar el aumento de la resistencia a la tracción debido al estiraje:

- 1) Por la reducción de área (fig. N°17).
- 2) Por la elongación del alambre (fig. N°18).

3) Por el monto de trabajo realizado en frío relativo a la ganancia en la resistencia a la tracción (fig N°19).

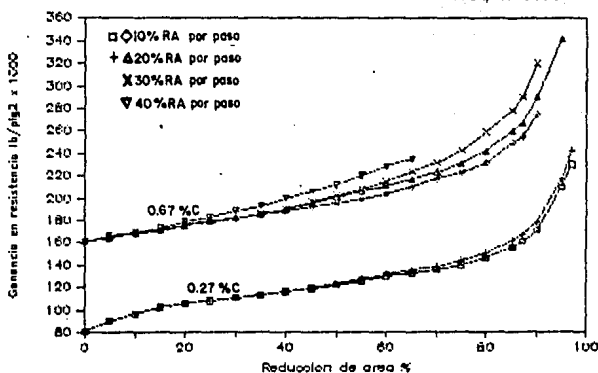


Fig. N°17. Resistencia a la tracción y reducción de área para alambres de acero de 0.27 y 0.67% de C.

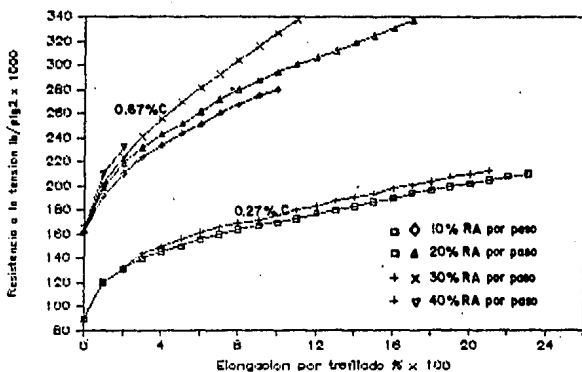


Fig. N°18. Resistencia a la tracción contra el porcentaje de elongación.

La resistencia a la tracción final se incrementa si los pasos de reducción son más drásticos.

Si el acero de alto carbono aumenta su temperatura a 250°C en el estirado, su resistencia a la tensión disminuirá.

El método más exacto para evaluar el trabajo de trefilado, es calcular la ganancia en resistencia a la tracción.

Cuando la ganancia real de la tensión se toma como una evaluación del trabajo realizado, después de la primera reducción el aumento de la resistencia a la tracción es directamente proporcional a la resistencia a la tracción. La pérdida de proporción en los pasos finales, es debido a una orientación predominante.

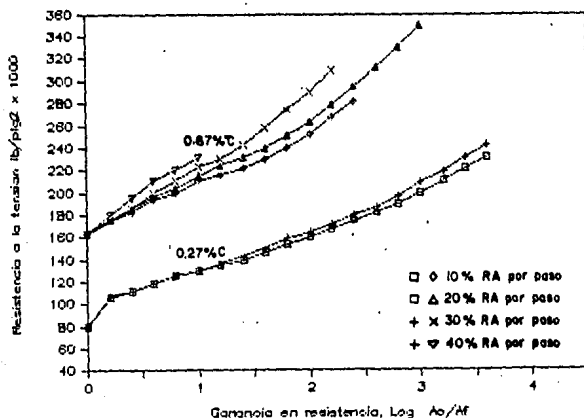


Fig. N°19. Efecto del trefilado sobre la resistencia a la tracción.

2.2.3 Efectos en ductilidad y torsión.

Ductilidad. Experimentos sobre alambres de alto y bajo carbón han demostrado que el porcentaje de reducción de área por paso tiene mayor influencia en la ductilidad del alambre de alto que del de bajo carbono. Esto se debe al aumento de temperatura durante el trefilado.

Torsión. Las características del material en torsión dependen fundamentalmente de la calidad de la superficie del acero y las condiciones del proceso de trefilado, así como de la velocidad y el porcentaje de reducción por paso. El valor de la torsión es afectado seriamente por defectos en la superficie del alambre, ya que su resistencia depende directamente de la consistencia de la fibra más alejada. Para buenos resultados son convenientes reducciones pequeñas.

2.3 Influencia de la distribución de las reducciones.

La relación entre las propiedades físicas y la distribución del trabajo en frío aplicado al alambre es muy estrecha y se debe tener mucho cuidado en este punto si se requiere obtener resultados exactos. La propiedad más sensible a cambios en la distribución de reducciones es la resistencia a la tracción. Reducciones bruscas dan como resultado una resistencia a la tracción final mayor en comparación con pasos de menor porcentaje de reducción para una misma área final. Los pasos fuertes de reducción perjudican al alambre ya que es difícil mantener un flujo

apropiado de lubricante y los defectos en la superficie se producen fácilmente. Sin embargo los grandes pasos de reducción son posibles cuando se tiene gran cuidado en los dados y en el lubricante, para anular cualquier riesgo de fallas en lubricación.

La tabla 2-3 es una comparación de pasos grandes y pequeños de reducción, en un acero de 0.06% de carbón. Se puede notar que cuando los pasos de reducción no son fuertes, la resistencia a la tensión es menor para el mismo diámetro final. Se puede ver también que el valor de la reducción de área es más pequeña con reducciones fuertes, sin embargo no hay un cambio importante en el valor de la torsión. Esto quiere decir que la superficie del alambre no se ha dañado, ya que si no fuera así, el valor de la torsión tendría un cambio mas notorio, debido a que los defectos en la superficie son la principal causa de la disminución del valor de la torsión.

2.4 Efecto de Cambios en el número de pasos y en la velocidad

Si observamos la figura N°20, realizada por el Sr. Godfrey nos podemos dar cuenta claramente de los diferentes resultados que se pueden obtener al variar la velocidad o el número de pasos. Godfrey hizo reducciones de 19 a 27% en cada caso y varió la velocidad de 350 a 900 pies por minuto. El material estirado fué un alambón recocido de 0.35" de diámetro, de alto carbón. Se concluyó que con una reducción

del 70%, la resistencia a la tracción aumentó cada vez que la velocidad fué mayor y cuando el número de pasos fué menor. La teoría de la deformación plástica no ha podido explicar éste fenómeno.

TABLA 2-3

Comparación de Reducciones Fuertes y Ligeras

	Reducciones Pequeñas		Reducciones Grandes	
	5 pasos	16 pasos	2 pasos	6 pasos
R. Tensil, psi	82,000	115,000	87,000	128,000
R. Tensil, tons	37	52	39	58
Red. de Área	62%	37%	56%	29%
Dobleses N/r	22/0.4	25/0.2	20/0.4	24/0.2
Torsión (L=100d)	105	40	107	43

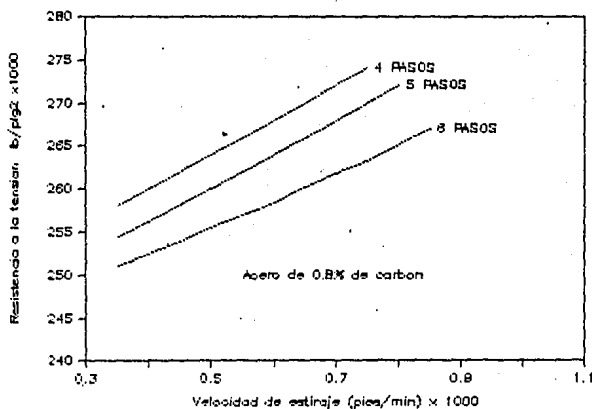


Fig. N°20. Efecto sobre la resistencia a la tracción de cambios en la velocidad y en número de pasos.

2.5 Influencia de la composición química en el aumento de la resistencia a la tracción.

El elemento que tiene mayor influencia sobre el cambio de las propiedades físicas es el carbono. La figura N°21 indica que el aumento de la resistencia a la tracción por trefilado crece considerablemente con pequeños cambios en el contenido del carbón, y que el aumento de resistencia tensil es mayor de lo que se podría esperar, ya que el hierro en el acero, es el único material al que se le puede aumentar su resistencia mediante el trefilado. Es notable que siendo los dos principales elementos del acero al carbono, el hierro y el

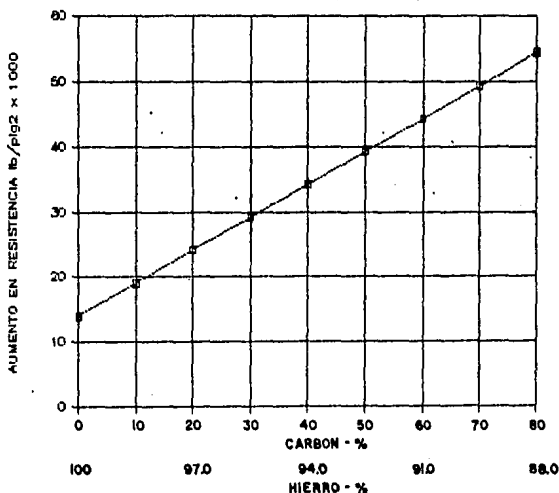


Fig. N°21

carburo de hierro, posean propiedades muy diferentes. Por ejemplo la dureza Brinell en el carburo de hierro es de 650, mientras que en el hierro es de 82. El hierro es relativamente suave y dúctil, mientras que el carburo de hierro es extremadamente duro y frágil. Bajo estas condiciones el aumento de endurecimiento, dependerá de la cantidad de cada uno de éstos constituyentes y de su estructura metalográfica.

CAPITULO 3

TEORIA DEL TREFILADO

El conocimiento que se tiene hasta ahora sobre la teoría del trefilado se a reunido através de mucho tiempo y la mayoría se produjo por experiencia más que por conceptos científicos.

3.1 Las fuerzas involucradas en el proceso de estiraje.

El trabajo que se realiza en el trefilado consta de dos partes; una necesaria para causar la deformación y otra para vencer la fricción entre las superficies del dado y del alambre. La energía que se consume por fricción es una parte pequeña de la total requerida para realizar la deformación.

En los procesos de trefilado en donde las velocidades no superaban los 400 pies por minuto y la temperatura del alambre, medida como la diferencia entre la salida y la entrada de los dados, disminuía considerablemente, los sistemas de enfriamiento eran innecesarios, y la única ventaja que ofrecían éstos era que reducían la probabilidad de un sobrecalentamiento en los dados. Ahora se sabe que no se puede retirar más del 5% del calor generado en el alambre enfriando la caja del dado. Sin embargo el calor concentrado en el dado es elevado y por que la mayor parte de los procesos tienen velocidades grandes es muy necesario un sistema de enfriamiento.

Teóricamente la fuerza requerida para el estiraje de una determinada reducción, perfil del dado y composición química del alambre es independiente de la velocidad y esto hace

pensar que el aumento de la temperatura debe permanecer constante, siempre considerando que el coeficiente de fricción es constante para el rango de velocidades empleado.

Teóricamente el aumento que se espera de la temperatura, se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{P}{A^2 h d} \times 1.069 \times 10^{-4} \quad (*)$$

En donde: T = Aumento teórico de la temperatura en °F.

A² = Área final en plg².

P = Fuerza de estiraje en libras.

h = Calor específico del acero 0.115.

d = densidad del acero en lbs/plg³

La temperatura aumenta en cada paso, de 60 a 80°C para acero dulce, y de 100 a 160°C para acero de alto carbón. Si éste aumento progresivo de la temperatura no se controla en las máquinas de pasos múltiples, las propiedades del acero de alto carbón se pueden ver afectadas y puede llegar a aumentar demasiado la temperatura, causando fallas de lubricación, provocando daños al alambre. De hecho el enfriamiento entre pasos limita la producción de muchas máquinas múltiples.

La distribución de la temperatura en un dado para una velocidad de 1400 pies por minuto, esta representado en la figura N°22.

Si los dados no estuvieran refrigerados habría peligro de

(*) Ver referencia N°3 página 115.

que la pastilla perdiera su soporte ocasionando como resultado una fractura, debido a la diferencia en el coeficiente de expansión del acero de la caja y de los carburos del dado.

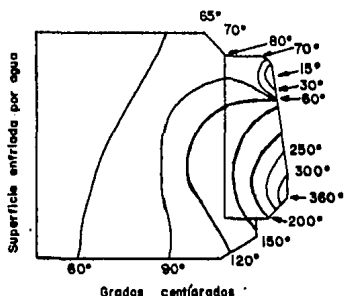


Fig. N°22. Distribución de la temperatura en un dado con 1400 pies/min en la velocidad de trefilado.

Coefficiente de Fricción. Se ha visto que las superficies del dado y del alambre son rugosas en una escala microscópica. Las salientes de cada una de las superficies pueden llegar a tocarse si la capa de lubricante es delgada, y debido a que en ellas se concentra toda la carga, pueden llegar a soldarse. Por lo tanto la función del lubricante es que estos puntos nunca lleguen a tocarse.

Los coeficientes de fricción de los lubricantes usados normalmente en el trefilado, si se usan jabones, son del 0.02, y si se usan compuestos de disulfuro de molibdeno es del 0.03.

3.2 Potencia Necesaria para el Estiraje.

Con frecuencia se necesita conocer la fuerza requerida para el estiraje. Una fórmula sencilla para calcular esta fuerza propuesta por 'The Morgan Construction Co.', es la siguiente:

$$P=43.56 \times d^2 \times S \times k$$

En donde P= Fuerza de estiraje en libras.

d= Diámetro final en pulgadas.

S= Resistencia tensil antes de la reducción en lbs/plg².

k= Factor que varía con el porcentaje de reducción, mostrado en la tabla 3-1.

Otra ecuación para determinar la fuerza necesaria para el estiraje, proporcionada por 'The Vaughn Machinery Co.', es:

$$P=ATF$$

En donde A= Diferencia de áreas, antes y después del trefilado.

T= Resistencia a la tensión antes de la reducción.

F= Factor de la curva de factor.

TABLA 3-1

% reducción	k	% reducción	k	% reducción	k
10	0.0054	26	0.0115	42	0.0190
11	0.0058	27	0.0118	43	0.0195
12	0.0066	28	0.0120	44	0.0200
13	0.0070	29	0.0121	45	0.0206
14	0.0072	30	0.0124	46	0.0214
15	0.0081	31	0.0129	47	0.0222
16	0.0082	32	0.0134	48	0.0224
17	0.0084	33	0.0139	49	0.0227
18	0.0090	34	0.0146	50	0.0232
19	0.0092	35	0.0150	51	0.0234
20	0.0097	36	0.0155	52	0.0238
21	0.0102	37	0.0161	53	0.0243
22	0.0104	38	0.0166	54	0.0246
23	0.0107	39	0.0172	55	0.0250
24	0.0110	40	0.0176		
25	0.0112	41	0.0184		

La potencia necesaria para cualquier máquina de estiraje, se puede obtener de la ecuación anterior multiplicada por la velocidad, y dividida entre 33000.

$$HP = \frac{ATS F}{33000}$$

En donde S= Velocidad en pies/min.

Los factores necesarios en las ecuaciones anteriores se obtienen de las figuras N°23 y 24.

Estos factores dan resultados bastante exactos en aceros de alto carbono, sin embargo una carga extra de 2 a 5 HP debe aumentarse en caso de ser aceros de bajo carbono. Las ecuaciones se pueden emplear para determinar la potencia necesaria en máquinas de trefilado.

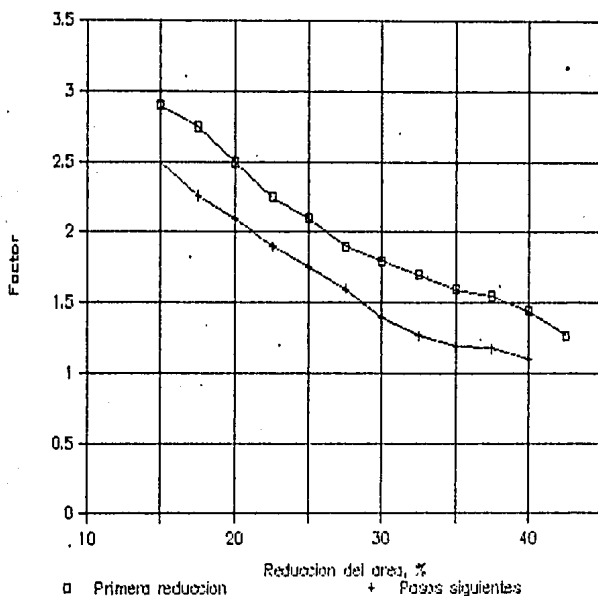


Fig. N°23. Gráfica de Curva de factor, no incluye carga muerta para trefilado de bajo carbono.

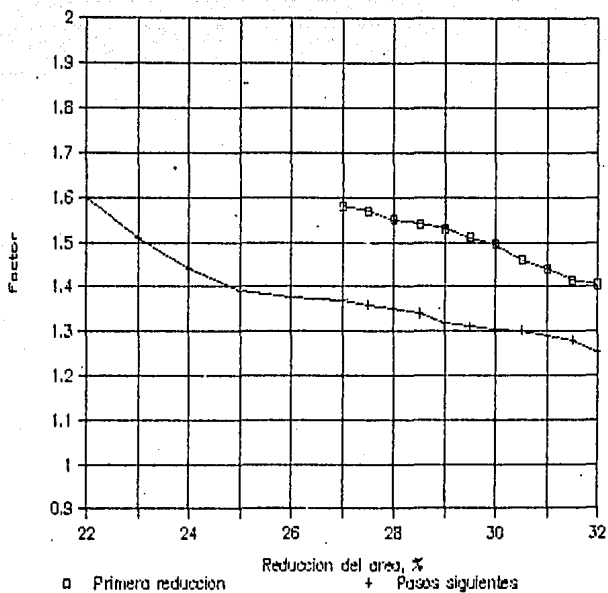


Fig. N°24. Curva de factor, incluye la carga muerta extra para trefilado de bajo carbono.

CAPITULO 4

DESCRIPCION DE LA PLANTA Y DEL PROCESO DE FABRICACION.

4.1 Descripción de la Planta.

Para la planta de estiraje se cuenta con una nave en un predio localizado en la Calzada Ermita Iztapalapa #3417 Col. Santa Ma. Astahuacan, en el Distrito Federal (plano N°1).

La nave tiene un área de 875 m² y cuenta con un acceso lateral para el transporte que retire de la planta el material ya procesado, así como un acceso frontal para la descarga de la materia prima (planos N°2 y 3).

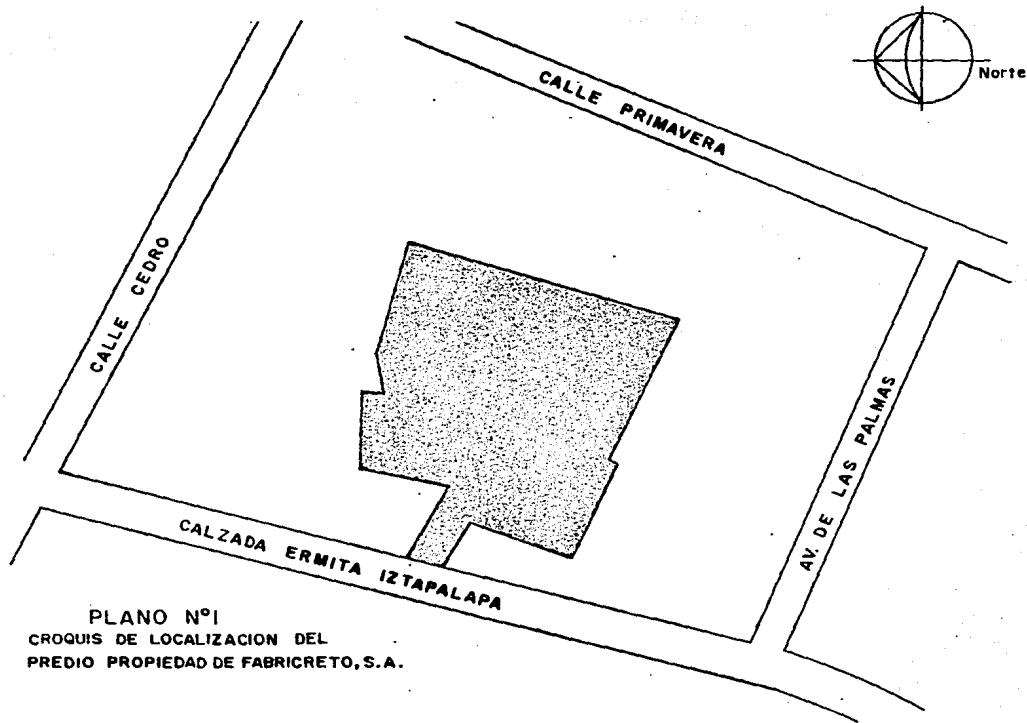
El área necesaria para el proceso de estiraje es relativamente pequeño. Esto se debe a que el decapado es mecánico. La mayor parte del espacio que se requiere para el estiraje en este caso estará ocupado por la materia prima y por el producto terminado.

La materia prima es almacenada próxima al acceso frontal, en donde es fácilmente transportada al alimentador, que se encuentra a unos pocos metros de ella.

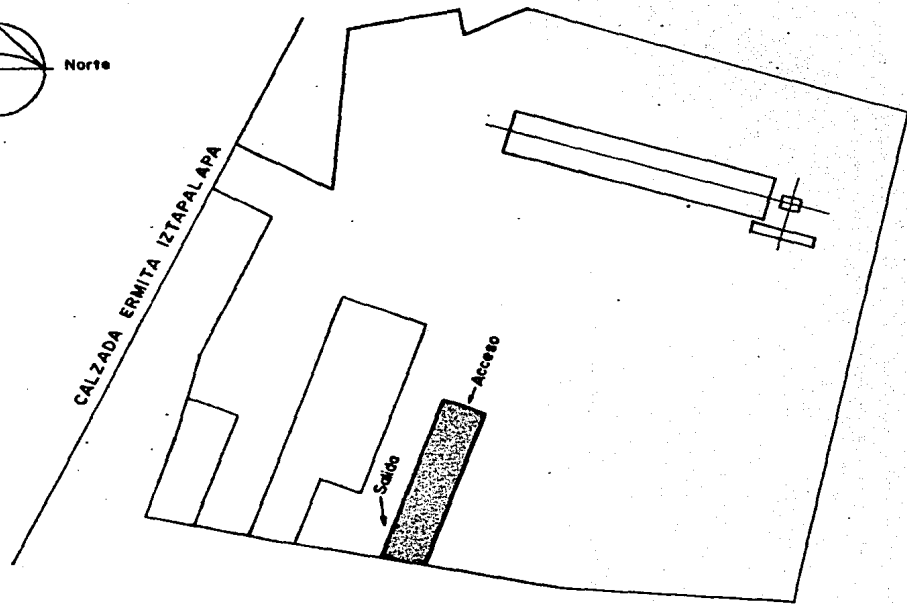
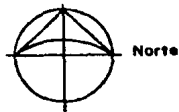
El alimentador se encuentra alineado con el desescamador y éste, de igual forma, con los dados en los cabezales de estiraje, de manera que la longitud del alambre en proceso es la mínima.

La distancia del desescamador al alimentador debe ser relativamente grande (7.5 mts. aproximadamente), ya que el alambre tiene que desenrollarse y entrar al decapado lo más recto posible además de poder prever que no le llegue al decapado una coca.

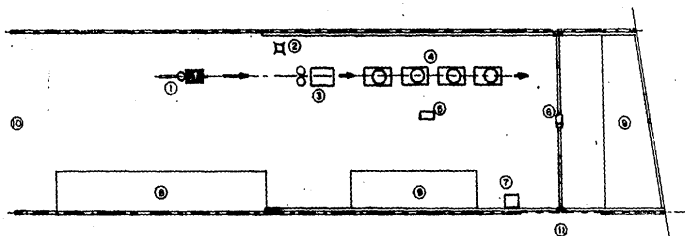
Para el producto terminado se tienen dos áreas, una frente



PLANO N°1
CROQUIS DE LOCALIZACION DEL
PREDIO PROPIEDAD DE FABRICRETO, S.A.



PLANO N°2
LOCALIZACION DE LA NAVE DE
TREFILADO EN EL PREDIO



- 1 Alimentador
- 2 Soldadora
- 3 Decapado
- 4 Estiraje
- 5 Control de cabezales
- 6 Grúa viajera
- 7 Báscula
- 8 Área de materia prima
- 9 Área de producto terminado
- 10 Acceso para descarga de alambón
- 11 Acceso a producto terminado

PLANO N°3
PLANTA DE TREFILADO

a los cabezales de estiraje y otra al fondo de la nave, de tal forma que el transporte que lo retire quedará entre las dos áreas, así el producto terminado deberá desplazarse la menor distancia posible.

Para la carga del transporte que retirará el producto terminado se cuenta con una grúa viajera de 1 tonelada, que viaja del fondo de la nave al principio del decapado.

4.2 Proceso de Fabricación.

El proceso de fabricación es relativamente sencillo y lo podemos agrupar en los siguientes incisos:

- a) Descarga y almacenaje de materia prima.
- b) Alimentación de la máquina.
- c) Decapado.
- d) Estiraje.
- e) Almacenaje de producto terminado.

4.2.1 Materia Prima.

La materia prima se recibe de un camión que transporta los rollos de alambón, los cuales tienen un peso aproximado de 1 tonelada cada uno, con diámetro exterior de 1.15 m., diámetro interior de 0.9 m. y 1.25 m. de longitud.

El alambón se puede descargar y llevar al área destinada para la materia prima con una grúa viajera, que es la mejor opción, o si se tiene un montacargas es conveniente adaptarle una flecha o punta cerrada para facilitar el manejo.

-Control de Almacén de Alambrión. El control del almacén de materia prima dependerá de los productos que se fabricarán. Si se fabrican varios tipos de alambre será conveniente manejarlos por diámetros, abriendo hojas de entradas y salidas por el tipo y diámetro que se trate.

Las entradas de alambrión se basarán en las remisiones de los proveedores. Se recomienda hacer pesadas selectivas. Las salidas se pueden controlar usando las ordenes de producción.

El buen control de las existencias de alambrión es más importante conforme aumenta el número de tipos y diámetros que se fabriquen.

-Manejo del Alambrión. Para el manejo apropiado del alambrión es conveniente considerar las siguientes recomendaciones:

1.- No dejar que los rollos estén en contacto directo con la tierra, lodo o cualquier elemento que al ser arrastrado por el alambrión causen problemas en el decapado y estirado.

2.- Es conveniente que el alambrión descanse en un piso de concreto.

3.- Se debe manejar con cuidado procurando que se mantenga la forma del rollo, evitando problemas al desenredarlo.

4.- Se puede estibar en dos o tres pisos para ahorrar área de almacenaje, siempre y cuando se disponga de un sistema apropiado para recojerlo.

5.- Si se tienen que rodar los rollos, se debe procurar no cambiar su forma o que los rollos no se aflojen o muevan.

6.- Se deben mantener las etiquetetas de los rollos

mientras estén en el almacén.

7.- Se debe utilizar siempre el material con mayor antigüedad en el área de almacenaje, para que no se exponga al intemperie por periodos prolongados, ya que esto puede provocar serios problemas posteriores.

8.- Es recomendable acomodar los rollos acomodandolos por número de colada del proveedor, ya que esto nos permite mantener en un orden la planeación y nos facilita cualquier reclamación en caso de defectos.

4.2.2 Alimentación de la Máquina.

El alambón es introducido en el alimentador, colocado en línea recta al desescamador y unos metros antes de él. El alimentador cuenta con dos 'alas', para que mientras de una, la máquina jala el alambón, la otra pueda ser cargada con otro rollo, así cuando se termine un rollo, simplemente se gira el alimentador y se repite la operación. Del alimentador el alambón sale directo al decapado.

4.3 Limpieza ó Decapado.

Se entiende por 'decapado' el proceso en el cual se retira la capa de óxido que recubre la superficie de materiales ferrosos, los cuales han sido sometidos a procesos de laminación en caliente, tratamientos térmicos o bien, cuando hayan permanecido en la intemperie sin protección a la oxidación.

En la fabricación de alambre de acero, el decapado es importantísimo, ya que la capa dura y quebradiza que se forma en el alambón cuando es laminado en caliente provoca dificultades en el estiraje, el desgaste excesivo de los dados y por lo tanto se obtendrá un alambre defectuoso y fuera de especificaciones.

Existen dos procesos para liberar al acero del óxido de hierro, el decapado químico y el mecánico.

-Decapado Químico. En el decapado químico, el óxido de hierro es removido por productos químicos, generalmente se usa el ácido sulfúrico, el clorhídrico y el nítrico. Los ácidos producen una reacción química que desprende la capa de óxido de metal.

El proceso consiste en colocar los rollos de alambón en cubas que contienen ácido. Por observación se puede determinar cuando el material a quedado libre del óxido. El alambón pasa a enjuage, en donde, mediante enjuages el ácido es removido del alambón. Cuando el material esta libre de óxido y de ácido, se le aplican cubiertas que actúan como portadoras de lubricante y dan protección al alambre contra oxidación. Estas cubiertas son: Cal, Bórax y Fosfato.

El manejo de los desechos contaminantes representa un gran problema para las líneas de decapado químico. Los elementos contaminantes son principalmente los ácidos y el óxido de hierro. Una vez que el ácido baja su concentración a niveles del 5 ó 6% es desechado. Las aguas ácidas que remueven el

ácido del acero son descargadas continuamente, el óxido de fierro sale normalmente junto con el ácido desechado y parte con el agua de enjuage.

Lo que se hace generalmente es lo siguiente:

- 1.- Mandar los desechos a la red de drenaje directamente.
- 2.- Pasar a depósitos en donde se da oportunidad a que el óxido de fierro precipite al fondo y añadiendo cal para neutralizar la acidez, enviándose posteriormente a la red del drenaje.

- 3.- Mandar el desecho a plantas de regeneración de ácido donde es posible separar el óxido de fierro y regenerar el ácido a las concentraciones adecuadas para trabajar.

- 4.- Almacenar el ácido en depósitos y conseguir algún fabricante interesado en procesarlo.

Si los parámetros de contaminación que establecen las autoridades son muy estrictos, se tendrá que optar por las alternativas 3 ó 4. La propuesta número 1 es por supuesto indebida aunque algunas empresas lo hacen.

-Decapado Mecánico. Se entiende por decapado mecánico el proceso en el cual los óxidos de acero son removidos por medios mecánicos.

El decapado mecánico aprovecha la propiedad que tiene la escama de óxido para desprenderse del material cuando éste es sometido a esfuerzos de flexión y tensión repetidos o pronunciados.

Los procesos más comunes son los siguientes: a) decapado

con chorro de perdigón (shot blast), b) decapado con dobleces sucesivos, c) cepillos rotatorios y d) vibradores.

El decapado por dobleces sucesivos es el más común y es complementado con alguno de los otros procesos. en este proceso el alambón es sometido a dobleces en diferentes planos, provocando la caída de las escamas, sin embargo, no alcanza a remover la escama fina que esta firmemente pegada al metal, y por ello es necesario complementar la operación con otro proceso de decapado que pueda remover la escama fina. La forma puede ser el uso de cepillos rotatorios, sin embargo tienen el inconveniente del desgaste que es elevado y requieren ajuste frecuente.

Un inconveniente importante que tiene el decapado mecánico es la dificultad de manejar rollos que han estado sujetos a lluvia o humedad, ya que ésta hace que el alambón mantenga una mayor cantidad de polvo de escama en la superficie, que es difícil de remover.

Para eliminar la escama fina que no se removió con el uso de las poleas, existen métodos que complementan el decapado mecánico. Uno de éstos métodos combina presión de aire y agua. El alambón pasa por una unidad donde las partículas de escama suelta son removidas por aspersores de agua de alta presión (20 psi aprox.). En la entrada y salida existen dos toberas que inyectan aire a presión (90 psi aprox.), para evitar que el agua salga del recipiente y hacer también que el material salga seco. La escama removida pasa a recipientes

donde se acumula y puede manejarse fácilmente.

La combinación de los elementos antes descritos, poleas, agua y aire a presión, producen un decapado satisfactorio para las siguientes operaciones de estirado.

El decapado mecánico presenta varias ventajas sobre el decapado químico:

- 1.- Eliminación de cubas voluminosas, drenajes, grúas, depósitos, etc.
- 2.- Eliminación del manejo de ácidos.
- 3.- Eliminación de descargas contaminantes y su manejo y/o proceso, para cumplir con los reglamentos establecidos.
- 4.- Se requiere menor espacio.
- 5.- Mayor rentabilidad.

Cuando los rollos son compactos y voluminosos el enjuague resulta difícil en el decapado químico, quedando residuos de ácido y óxido, resultando contraproducente este proceso.

Por las múltiples ventajas, que como ya hemos visto, será éste el que utilizemos para nuestros ejemplos del capítulo 5.

El alambre entrará al desescamador directamente del alimentador, en donde se le dará un decapado a base de poleas, las cuales le darán dobleces sucesivos en diferentes planos, como ya se mencionó.

4.4 Estiraje.

Inmediatamente después del decapado el alambón pasa al proceso de estiraje.

La punta del alambón requiere una reducción del diámetro, necesario para que el alambón pueda ser introducido al primer dado y, de ahí empezar el estiraje. Esta reducción de diámetro se realiza con una punteadora, la cual generalmente esta formada por dos rodillos horizontales para los diámetros pequeños y medios, ó la combinación de vertical y horizontal para los diámetros grandes. Los rodillos tienen ejes descentrados, así al girar producen la reducción en el diámetro del alambón.

El primer cabezal jala el alambón, lo estira y enrolla. El alambre es tomado por el segundo cabezal del primero por la parte superior de éste, reduciendolo de diámetro y enrollandolo de nuevo. Cada cabezal estira y enrolla, así, el número de cabezales será el número de reducciones (fig. N°25). El último cabezal tiene un aditamento llamando araña, el cual retira el rollo de éste.

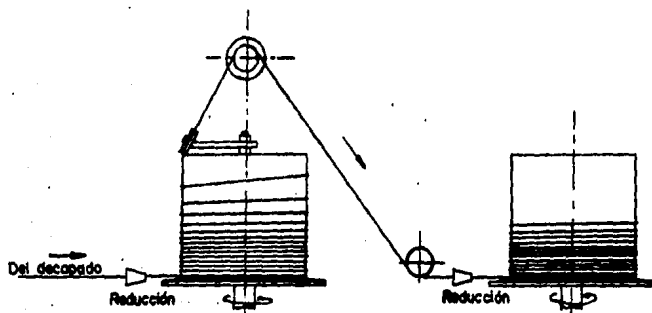


Fig. N°25

Para esto se tiene que detener el proceso, los rollos intermedios sirven de reserva o como compensadores para cada uno de los siguientes cabezales.

Para realizar este trabajo existen varios tipos de máquinas, aunque en esencia el proceso es el mismo.

4.4.1 Tipos de Máquinas para Trefilado.

Existen cuatro tipos de máquinas usadas en el trefilado de alambre, que son:

1.- Máquinas para trefilado húmedo. Estas son usadas principalmente para diámetros pequeños en donde se requiere un acabado brillante. Se fabrican en diferentes velocidades y número de dados. La reducción se realiza dentro de una cuba que contiene el lubricante, la cual es fija. La temperatura del líquido lubricante debe mantenerse baja, ya que de lo contrario las propiedades lubricantes de líquido disminuyen, al igual que su viscosidad.

Las máquinas de estirado húmedo permiten estirar alambre con altas velocidades, proporcionan un buen acabado final y ocupan poco espacio.

2.- Máquinas monoblock. Estas se usan cuando se requieren reducciones importantes en el diámetro del alambre. Generalmente tienen motores de gran potencia. Tienen uno ó dos dados solamente.

Existen máquinas monoblock con eje horizontal ó vertical, usándose las del eje horizontal normalmente para manejar

alambres de gran diámetro. Las velocidades de estiraje son generalmente bajas. Estas máquinas son de bajo costo en comparación con las múltiples y por esta razón son usadas en aplicaciones que no le corresponden. El espacio que ocupan es reducido.

3.- Máquinas múltiples para trefilado continuo. Son usadas para lograr una reducción total en una sola operación.

Las hay con diferente número de cabezales dependiendo de la operación que efectúen. El diámetro de los tambores varía en función del diámetro del alambre que se estira. Gracias al avance de los sistemas electrónicos para variar la velocidad, la máquina equipada con motores de corriente directa se ha vuelto la mejor opción, ya que éstos tienen una resistencia de campo variable, con la cual es posible regular directamente las revoluciones por minuto del motor con un amplio rango y por lo tanto permite una mayor flexibilidad en las aplicaciones que se le pueden dar a una misma máquina.

Las reducciones de diámetro se pueden variar a conveniencia en estas máquinas de corriente directa, siempre que se tenga un buen sistema en el control de la velocidad.

Existen tres variantes en este tipo de máquinas:

a) Máquinas de doble tambor (BB). Estas son usadas para estirar alambre a altas velocidades.

La ventaja del doble tambor es la mejor disipación del calor que se genera en el alambre durante el estirado, ya que una elevación de la temperatura del alambre durante el

estiraje afecta considerablemente las propiedades físicas de éste.

El doble tambor se diseña de tal forma que evita completamente la aplicación de torsión en el alambre con lo cual evita alteraciones en las propiedades físicas.

b) Máquinas de tambor simple con desenrollado superior (OTO).

Estas máquinas se usan a velocidades bajas. Pueden dar al alambre torsión durante el estiraje, pero por ser de baja velocidad no es de importancia. Tienen un gran número de partes expuestas a desgaste en comparación con la de doble tambor, pero al ser de baja velocidad no es de gravedad.

c) Máquina de tambor simple estirado recto. En este tipo de máquinas el alambre se mantiene en un plano horizontal para evitar subidas y bajadas. Generalmente se usan para diámetros grandes y a bajas velocidades. La reducción en los pasos es fija.

4.- Máquina de tambor simple estirado recto con brazo oscilante. Estas máquinas son similares a las anteriores pero cuentan con un brazo oscilante entre tambor y tambor, esto es con el objeto de poder efectuar un control en la velocidad de los tambores, que permite mantener una tensión uniforme del alambre durante el proceso de estiraje, con variaciones en la reducción de cada paso. La oscilación es producida por el aumento o disminución de tensión del alambre, ya que éste pasa por una polea sujeta al brazo.

El brazo oscilante por medio de un reóstato, afecta el circuito eléctrico del campo en cada motor, produciendo el cambio de velocidad necesario para compensar la falta de uniformidad de la reducción y mantener así una tensión uniforme.

Este tipo de máquinas son las más modernas y son de gran utilidad para manejar diámetros gruesos a mayor velocidad que las normales, y con una variación en las reducciones aplicadas.

4.4.2 Lubricantes.

Los resultados de la operación del trefilado dependen en gran parte del lubricante para que sean satisfactorios.

La función del lubricante es la de depositar una película no metálica entre el dado y el alambre del espesor necesario para que los salientes en la superficie del dado y del alambre (a una escala microscópica) no se llegen a tocar (fig. N°26). Los lubricantes pueden ser de tres tipos:

1) Jabones en Polvo.

- | | |
|------------------------|-------------|
| a) Solubles en agua | Base sodio |
| b) No solubles en agua | Base calcio |

2) Compuestos Grasos.

- a) Con Base en agua

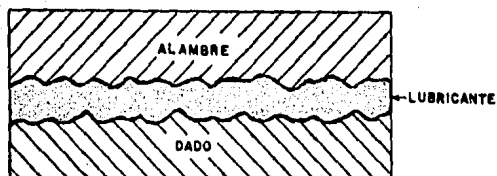


Fig. N°26. Representación de la función del lubricante a nivel microscópico.

b) Con base en aceite

3) Lubricantes Líquidos.

a) Emulsiones en agua

b) Emulsiones en aceite

Los jabones solubles al agua, se preparan por reacción entre la sosa cáustica y grasas ó ácidos grasos. Los jabones no solubles, son jabones metálicos de calcio, aluminio, zinc y plomo. Estos son los más comunes.

En los lubricantes en polvo, deben tomarse en cuenta las siguientes características:

-Es importante considerar el tamaño del grano adecuado al utilizar jabones en polvo. Generalmente se utiliza grano grueso para diámetros grandes, los de grano fino para diámetros menores. Los lubricantes se clasifican

dependiendo del tamaño de grano en la siguiente forma:

	% retenido en malla N°20
Muy grueso	más de 50
Grueso	41 a 50
Mediano	26 a 40
Fino	16 a 25
Extra fino	6 a 15
Extra.extra fino	0 a 5

-Para el trefilado de alambres muy delgados (0.20" y menores) y los que requieren un terminado brillante, es muy común que se estiren en húmedo, utilizando lubricantes líquidos consistentes en soluciones solubles o productos sintéticos en agua.

-En la aplicación de jabones en polvo es importante mantener los dispositivos con suficiente lubricante para que el alambre se impregne bien al pasar por la caja que lo contiene.

-Es necesario observar periódicamente el lubricante para que la contaminación en éste no sea muy elevada.

La compañía Penwalt, fabricante de lubricantes, recomienda el tipo llamado 'Ferrocapa DM-1', el cual está diseñado para el estiraje de alambres de acero de medio y bajo carbono, preparado con decapado mecánico como es nuestro caso. Este lubricante es un jabón poco soluble que se puede obtener en

diferentes grados de granulometría (G, M, y F). La presentación G (grano grueso), se recomienda para calibres gruesos, la presentación M para calibres intermedios y la F, para calibres finos. La presentación que se nos recomendó para los calibres 1 al 12 (ejemplo del capítulo 5), es la M, la que sirve prácticamente para todos los calibres. Este lubricante es un jabón en polvo con base de sodio y calcio. Se aplica en las cajas de los dados tal como se recibe. Las cajas siempre deberán estar totalmente llenas para anular cualquier posibilidad de falla en la lubricación del alambre.

4.4.3 Dados.

Los elementos de mayor importancia en el trefilado son los dados. La maquinaria para estiraje sirve solamente para dar efectividad a éstos elementos.

Un dado consta de dos elementos; la caja y la pastilla o pellet. La caja se fabrica normalmente de acero cold rolled y su objeto es el de proteger la pastilla o pellet así como el de proporcionar un medio adecuado para su sujeción. La pastilla es de carburo de tungsteno formado por sinterizado y es la que efectúa la reducción del diámetro en el alambre. Por su constitución, la pastilla es de gran dureza y muy frágil.

El montaje de la pastilla es de gran importancia ya que de no estar la pastilla bien sujeta a la caja, tendrá movimiento al iniciar y detener el proceso y terminará por fracturarse.

Si esta demasiado comprimido en la caja , tendrá esfuerzos adicionales a los del estiraje fracturándose también.

El enfriamiento del dado en el trefilado, es importante para una mayor duración en buen estado, sin embargo es más importante no producir choques térmicos, ya que éstos producen también fractura. Esto se produce cuando al estar trefilando sin refrigeración el alambre se enfría súbitamente.

El término carburo se refiere a un producto de metalurgia de polvos que consiste en carburos de metal que son sinterizados en combinación con un aglomerante. Son éstos carburos los que dan las características de resistencia al desgaste y gran dureza necesarias en la pastilla. El carburo de tungsteno es generalmente usado en todos los carburos aunque también se usan los carburos de titanio, cromo, etc. El aglomerante generalmente es el cobalto.

Este proceso de fabricación por sinterizado consiste en alimentar cantidades proporcionales de carburo y aglomerante en un molino rotatorio de bolas. La proporción depende del grado de carburo deseado. El polvo resultante, se comprime en prensas especiales y se calienta a temperaturas del orden de los 950°C. En esta parte del proceso las piezas pueden ser maquinadas mediante un rectificado con abrasivos si fuese necesario. Enseguida se da un tratamiento térmico a temperaturas mayores para un sinterizado adecuado. El carburo sinterizado obtiene se alta dureza de los granos de carburo y

y su resistencia del aglomerante. Durante este último tratamiento térmico se producen contracciones lineales del orden del 20%, esto trae como consecuencia que se dificulte producir piezas terminadas de gran precisión.

Las propiedades que se buscan al utilizar el carburo de tungsteno son:

Resistencia al desgaste.- Es la resistencia a la abrasión y al rozamiento.

Dureza.- Resistencia a la penetración.

Fiabilidad.- Resistencia a la rotura.

En el diseño de la pastilla es importante lograr un buen flujo de lubricante y facilitar el estiraje.

El investigador Wistreich ha demostrado que para una reducción dada existe un ángulo óptimo que disminuye, no en forma notable, el esfuerzo necesario para el estiraje y es el que se usa generalmente.

La figura N°27 muestra las partes principales que componen un dado y que son: la campana, el acercamiento o aproximación, la chumacera y la salida.

La chumacera del dado sufre un desgaste normal cuando hay una buena lubricación causando este desgaste la formación de un anillo.

La vida útil de un dado esta directamente afectada por la limpieza del material estirado y de su lubricación.

Un dado se puede recuperar puliéndolo con abrasivos, como pasta de diamante ó carburo de boro. Una vez que el anillo

desaparece se rectifican las demás partes para que quede en el diámetro superior más próximo.

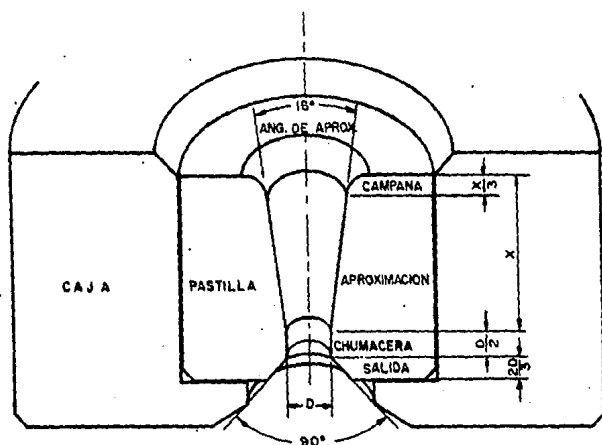
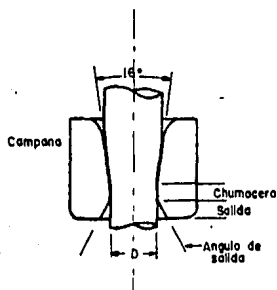


Fig. N°27. Corte de un dado tipo para estiraje de acero de bajo carbón.

La fig. N°28 da las principales dimensiones (en pulgadas) de los dados para estirar alambre de bajo y alto carbón.

Los dados se pueden obtener en nuestro país con estas dimensiones, de buena calidad y con el diámetro deseado variando éste de milésima en milésima de pulgada.

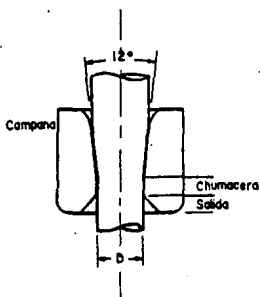
BAJO CARBONO



D pigs.	Chumacera pigs.	Salida pigs.
.006 e .015	90 % de D	.005 e .010
.016 e .128	50 % de D	90° est.
.129 e .230	50 % de D	90° est.
.231 e .516	1/4"	15 % de AD
.517 e .750	5/16"	15 % de AD

AD=altura del dodo

ALTO CARBONO



D pigs.	Chumacera pigs.	Salida pigs.
.006 e .015	66 % de D	.005 e .010
.016 e .128	66 % de D	90° est.
.129 e .230	66 % de D	90° est.
.231 e .516	1/4"	15 % de AD
.517 e .750	5/16"	15 % de AD

AD= altura del dodo

Fig. N'28. Principales dimensiones para dados de trefilado para acero de bajo y alto carbón.

4.5 Manejo del Producto Terminado.

El producto terminado deberá tener un área bien definida para su almacenamiento. Esta área es un factor importante

para el control de la producción. Siempre es necesaria una báscula próxima a esta área de despacho, para determinar el peso del producto que se remisiona.

El control del almacén deberá fijar niveles de existencias que se tendrán que mantener dentro de rangos establecidos.

El producto terminado debe pasar por un control de calidad antes de ser despachado. Cada rollo llevará una etiqueta que indique el tipo de producto, aceptación por control de calidad, su peso y diámetro.

Debido a que el área de despacho es el último contacto con el producto, es importante vigilar que los envíos cumplan los requerimientos de los pedidos, así como una buena presentación.

4.6 Equipo Auxiliar.

La eficiencia de una planta de trefilado depende en gran parte del equipo auxiliar. Este equipo esta formado por alimentadores, punteadoras, soldadoras a tope, equipo para levantar los rollos, de empaque y cortadoras.

-Alimentadores. Los alimentadores son aditamentos en los cuales se coloca el alambón del cual se alimenta la máquina. Debido a que las velocidades finales del proceso se han incrementado, un alimentador eficiente es primordial en el proceso de trefilado.

Existen dos tipos de alimentación, el primero es en el

cual el alambón se toma de alimentadores estáticos y en el segundo caso los rollos de alambón están en alimentadores giratorios.

La mayoría de las máquinas tienen dos alimentadores, distantes de ésta de 6 a 8 metros, de tal forma que al terminarse un rollo, el otro se encuentra listo, solo se suelda y se continúa con el proceso, tratanto de lograr la mayor continuidad posible.

La distancia a la máquina debe ser suficiente para que si llegara a presentarse algún problema con el desenrollado, sobre todo a altas velocidades, se tenga el tiempo necesario para detener el proceso.

Existen alimentadores rotatorios dobles o triples. Estos reducen el espacio necesario para alimentar la máquina y constan de 2 ó 3 alimentadores repartidos a 120° ó 180°, en una sola unidad que puede girar para utilizar inmediatamente el siguiente rollo. La unidad es alineada automáticamente por la máquina al jalar el material.

Los alimentadores giratorios se utilizan en diámetros grandes, éstos se encuentran a pocos centímetros del nivel del suelo facilitando el manejo de rollos muy pesados.

Siempre es necesario tener un interruptor de seguridad próximo a la salida del alimentador, de tal forma que si se desenrolla mal el alambre, no provoque tirones ó daño a la máquina.

Al diseñar ó seleccionar un alimentador, es necesario que

tenga las siguientes características:

- a) Permitir un desenrollado adecuado.
- b) Facilitar la unión de un rollo con el siguiente.
- c) Poseer dispositivos para detener el proceso en caso de cualquier irregularidad en el desenrollado.
- d) No debe de producir tensiones fuertes en el alambre.
- e) Poseer la capacidad y las dimensiones adecuadas para el tamaño del rollo que se emplea.

Los alimentadores que tienen el eje del rollo en posición vertical se utilizan cuando el rollo viene en canastas y altas velocidades ó bajas velocidades y diámetros grandes. Los alimentadores con el eje del rollo horizontal se utilizan para diámetros intermedios y velocidades medias.

-Punteadoras. Estos elementos se utilizan para reducir el diámetro de la punta del alambón, para poder iniciar la operación de estiraje.

El alambre es forzado a pasar através de dos rodillos de acero endurecido, los cuales tienen ranuras para producir diferentes diámetros. El alambre es forzado a pasar por cada una de las ranuras las veces que sean necesarias para reducir el diámetro al tamaño deseado.

Las punteadoras para reducir a diámetros de $1/2''$, a partir de $1-1/4''$, son de trabajo pesado y tienen un par de rodillos

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

horizontales y otros verticales para facilitar el trabajo al operador. Para obtener diámetros hasta de $5/16''$ a partir de $3/4''$, se utiliza una punteadora semejante a la anterior pero de menor potencia. Para producir diámetros de hasta $1/16''$ a partir de $3/8''$, se utilizan punteadoras de un par de rodillos horizontales. Para producir diámetros que varían de $7/64''$ a $1/16''$, se pueden utilizar punteadoras manuales con un par de rodillos horizontales.

Una punteadora efectiva debe producir puntas de seis pulgadas mínimo de longitud para que al pasar ésta por el dado, sobresalgan entre 4 y 5 pulgadas para tener suficiente longitud para sujetar el alambón.

-Dispositivos de Levante. Para retirar el rollo del último cabezal se utiliza un dispositivo conocido como 'araña'. Al retirar el rollo de la máquina, es necesario interrumpir el proceso.

La araña es un aditamento que es parte del cabezal final. Esta formado de 3 ó 4 patas en las cuales descansa el rollo. Al levantar la araña, las patas se separan y se fijan, de tal forma que el rollo se puede retirar y depositar en el lugar destinado para su amarre.

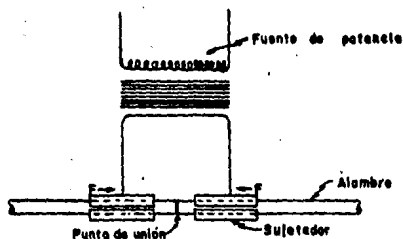
Cuando el rollo se encuentra en la mesa de amarre, las patas son liberadas y se sujetan en el centro para retirar la araña y colocarla de nuevo en el cabezal.

Existen aditamentos especiales para descargar los rollos

sin interrumpir el proceso. Estos toman el alambre del último cabezal y, formando un rollo, utilizando un cuerno, lo depositan a voluntad en unas canastas.

-Soldadoras a Tope. Para unir las puntas de los alambrones se utiliza un soldadora a tope. La soldadora sujeta las puntas del alambón y presiona una contra la otra, mientras produce calor por resistencia eléctrica entre los puntos de contacto. Esta soldadura deja un pequeño recalcado o rebaba, la cual se elimina fácilmente con un pequeño esmerilado.

El esquema para ilustrar lo anterior es el siguiente:



-Cortadoras. Siempre son necesarias un par de tijeras o alicatas ya sea para cortar muestras o para retirar el alambre de desecho. El tamaño de las tijeras dependerá del diámetro a cortar.

CAPITULO 5

APLICACION DE LA TEORIA DEL TREFILADO

En el diseño de la máquina, es esencial encontrar el número óptimo de pasos de reducción, para los diámetros que se desean fabricar, o sea tener la opción de fabricar el mayor número de diámetros en el número menor de cabezales. También es importante trabajar a la máxima velocidad posible, sin afectar la superficie del alambre, y para esto debemos partir de la potencia disponible. En el diseño de la máquina se debe tener como objetivo su máxima eficiencia para lograr del proceso de trefilado la mayor rentabilidad posible.

Supongamos que requerimos fabricar alambres de 7, 5, 4 y 3 milímetros de diámetro.

Del alambre de 7 mm. de diámetro se obtendrá de alambrón de 5/16" de diámetro (7.937 mm.) y los diámetros restantes de alambrón de 1/4" de diámetro (6.35 mm.). El diámetro del alambrón de 1/4" tiene las siguientes variaciones: (0.312) ± 23 milésimas y el de 5/16" (0.250), $+23, -10$ milésimas. Así, para todos los cálculos utilizaremos 0.335" y 0.273".

5.1 Potencia necesaria para la producción de cada uno de los calibres.

-Producción de alambre de 7 mm.

La reducción del área será:

$$D=0.335 \text{ plg.} \quad A_0=0.0881 \text{ plg}^2$$

$$d=0.275 \text{ plg.} \quad A_1=0.0593 \text{ plg}^2$$

$$RA = 100 - (0.275/0.335)^2 \times 100 = 32.61 \% , 6$$

$$RA = \frac{0.08814 - 0.0593}{0.0881} \times 100 = 32.69 \%$$

Este porcentaje de reducción es aceptable para un solo paso. Considerando como máximo aceptable un valor de 35% de reducción de área por paso.

La reducción de área del 33.59% se podría realizar con dos pasos de 18.5% de RA (tabla 2-2).

Como la producción de éste diámetro se realizará en un solo paso, es necesario tomar en cuenta la potencia que requiere el desescamador. El decapado toma aproximadamente un 16% de la potencia del motor.

Partiremos de la potencia disponible que es de 30 HP, la cual es común en plantas de mediana producción.

$$HP = \frac{ATSF}{33,000}$$

$$30 \times 0.84 = 25.2 \text{ HP}$$

$$S = \frac{HP \ 33,000}{ATF}$$

$$S = \frac{25.2 \times 33,000}{0.0296 \times 59700 \times 1.4}$$

$$S = 336.14 \text{ pies/ minuto}$$

$$\begin{aligned} HP &= 25.2 \\ T &= 59700 \text{ lbs/plg}^2 \\ A &= 0.0881 - 0.0585 \text{ plg}^2 \\ &= 0.0296 \text{ plg}^2 \\ F &= 1.4 \text{ (fig. N}^\circ 24) \end{aligned}$$

Como la fuerza necesaria para jalar el alambre através del

desescanador de 720", con poleas de 4 pulgadas de diámetro, es de 375 lbs (170.0 Kgs.), la potencia será:

$$HPd = 170 \text{ KG} \times 102.45 \frac{\text{mts.}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ seg.}} \times \frac{1 \text{ HP}}{76 \text{ Kg-m/seg}}$$

$$HPd = 3.81$$

$$HPt = 3.81 + 25.2 = 29.01$$

Se desean producir rollos con un diámetro interno de 60 cm. (23.62 plg.), por lo tanto el cabezal deberá tener:

$$102.45 \frac{\text{mts.}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ rev}}{(0.6 + 0.007) \text{ mts.}} = 53.7 \text{ rpm}$$

Resumiendo resultados: 29.01 HP, 336.14 ft/min, 53.7 rpm.

-Producción de alambre de 5 mm de diámetro.

El alambre de 5 milímetros (0.196 plg.) lo obtendremos del alambón de 1/4" g. La reducción total será:

$$D=0.273 \text{ plg}$$

$$A_0=0.05853 \text{ plg}^2$$

$$d=0.196 \text{ plg}$$

$$A_1=0.03017 \text{ plg}^2$$

$$RA = 100 - (0.196/0.273)^2 \times 100$$

$$RA = 48.45 \%$$

Serán necesarias dos reducciones del 28.2% (tabla 2-2).

Calcularemos la velocidad máxima con el motor de 30 HP, sin carga del desescamador ya que será la del segundo paso. Para evitar errores es conveniente hacer un diagrama como el siguiente:

$$\begin{aligned} T &= 59,700 \text{ lb/plg}^2 \\ s &= 0.273 \text{ plg.} \\ A &= 0.05853 \text{ plg}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 75,700 \text{ lb/plg}^2 \\ s &= 0.231 \text{ plg.} \\ A &= 0.04202 \text{ plg}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= 0.196 \text{ plg.} \\ A &= 0.03017 \text{ plg}^2 \end{aligned}$$



T2 se obtuvo de la figura 11, en donde podemos ver que para un acero de 0.08% de carbón, la resistencia a la tensión aumentará 16,000 lbs/plg², después de una reducción del 28%. La S2 será:

$$S2 = \frac{HP \times 33000}{A \times T \times F}$$

$$\begin{aligned} HP &= 30(0.84) = 25.2 \\ T &= 59,700 \text{ lb/plg}^2 \\ F &= 1.55 \\ A &= 0.05853 - 0.04202 \\ &= 0.01651 \text{ plg}^2 \end{aligned}$$

$$S2 = \frac{25.2 \times 33000}{0.01651 \times 59,700 \times 1.55}$$

$$S2 = 544.32 \text{ pies/min.} = 165.91 \text{ m/min.}$$

La potencia que toma el desescamador será:

$$HPd = 165.91 \frac{\text{mts.}}{\text{min.}} \times 170 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ seg.}} \times \frac{1 \text{ HP}}{76 \text{ Kg-m/seg}}$$

$$HPd = 6.18$$

$$HPt = 6.18 + 25.2 = 31.38$$

En esta ocasión el desescamador toma aproximadamente el 24%, así la potencia será:

$$30 \times 0.76 = 22.8 \text{ HP}$$

$$S2 = \frac{22.8 \times 33000}{0.01651 \times 59700 \times 1.55}$$

$$S2 = 492.48 \text{ pies/min} = 150.11 \text{ m/min.}$$

Potencia del desescamador:

$$HPd = 150.11 \frac{\text{mts.}}{\text{min.}} \times 170 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ min.}}{60 \text{ seg.}} \times \frac{1 \text{ HP}}{76 \text{ Kg-m/seg}}$$

$$HPd = 5.6$$

$$HPt = 5.6 + 22.8 = 28.4$$

Partiendo de que el volumen que entra en el dado es el mismo que el que sale, la relación de velocidades será:

$$\frac{V2}{\text{seg}} = \frac{V3}{\text{seg}} \quad A2 \cdot S2 = A3 \cdot S3$$

$$S3 = \frac{0.04202 \text{ plg}^2 \times 492.48 \text{ pies/min}}{0.03017 \text{ plg}^2}$$

$$S3 = 685.91 \text{ pies/min} = 209.06 \text{ mts/min.}$$

$$HP = \frac{0.01185 \times 75,700 \times 1.35 \times 685.91}{33,000}$$

$A=0.04202-0.03017$
 $=0.01185 \text{ plg}^2$
 $T=75,700 \text{ lb/plg}^2$
 $F=1.35$
 $S=685.91 \text{ pies/min}$

$$HP = 25.17$$

Resumiendo:

Cabezal 1: 28.4 HP, 498.4 ft/min, 79.0 rpm.

Cabezal 2: 25.1 HP, 685.9 ft/min, 110.0 rpm.

-Producción de alambre de 4 milímetros.

La reducción total será:

$$D= 0.273 \text{ plg}$$

$$A_0= 0.05853 \text{ plg}^2$$

$$d= 0.157 \text{ plg}$$

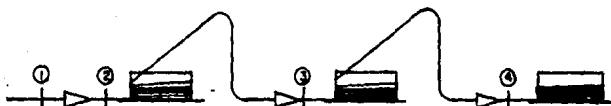
$$A_1= 0.01947 \text{ plg}^2$$

$$RA = 66.92 \%$$

De la tabla 2-2 vemos que son necesarias tres reducciones del 30.7% cada una.

La potencia de estiraje en el primer cabezal será:

$$30 \times 0.76 = 22.8 \text{ HP}$$



1.- $s=0.276$ plg
 $A=0.05853$ plg²
 $T=59,700$ lbs/plg²

2.- $s=0.227$ plg
 $A=0.04056$ plg²
 $T=79,000$ lb/plg²

3.- $s=0.189$ plg
 $A=0.028109$ plg²
 $T=0.91,000$ lbs/plg²

4.- $s=0.157$ plg
 $A=0.01947$ plg²
 $T=99,000$ lbs/plg²

$$S_2 = \frac{22.8 \times 33000}{0.01797 \times 1.46 \times 59,700} \quad A=0.05853-0.04056$$

$$=0.01797 \text{ plg}^2$$

$$S_2 = 480.36 \text{ pies/min} = 146.4 \text{ mts/min}$$

$$HP_d = 146.4 \frac{\text{mts.}}{\text{min}} \times 170 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{1 \text{ HP}}{76 \text{ Kg-m/seg}}$$

$$HP_d = 5.46$$

$$HP_t = 5.46 + 22.8 = 28.26$$

$$\text{rpm} = \frac{480.36 \text{ pies/min}}{(23.62 + 0.227) / 12} = 76.93$$

$$S_3 \cdot A_3 = S_4 \cdot A_4$$

$$S_4 = \frac{693.13 \text{ pies/min} \times 0.028109 \text{ plg}^2}{0.01947 \text{ plg}^2}$$

$$S_4 = 1000.6 \text{ pies/min} = 305 \text{ mts/min}$$

$$A=0.02811-0.01947 \\ =0.008639 \text{ plg}^2 \quad \text{HP} = \frac{1,000.6 \times 0.008639 \times 1.3 \times 91,000}{33,000}$$

$$\text{HP4} = 30.98$$

Debido a que la máxima potencia disponible es de 30 HP, el cálculo lo realizaremos en forma inversa. Como ya se mencionó anteriormente, el dispositivo de levante de rollos se encuentra en el último cabezal, por lo tanto éste será siempre utilizado.

La velocidad de estiraje máxima será:

$$S4 = \frac{30 \times 33000}{0.008639 \times 1.3 \times 91,000} = 968.7 \text{ pies/min} = 295.2 \text{ m/min.}$$

$$S3 = \frac{A4 \times S4}{A3} = \frac{0.01947 \text{ plg}^2 \times 968.7 \text{ pies/min}}{0.028109 \text{ plg}^2}$$

$$S3 = 671.0 \text{ pies/min} = 204.52 \text{ m/min}$$

$$\text{HP3} = \frac{671 \times 1.3 \times 79,000 \times 0.012451}{33,000} = 26.0$$

$$S2 = \frac{A3 \times S3}{A2} = \frac{0.028109 \text{ plg}^2 \times 671 \text{ pies/min}}{0.04056 \text{ plg}^2}$$

$$\text{HP} = \frac{465.01 \times 1.46 \times 59,700 \times 0.01797}{33,000} = 22.07$$

$$\text{HPd} = 170 \text{ Kg} \times 141.73 \frac{\text{mts.}}{\text{min.}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{1 \text{ HP}}{76 \text{ Kg-m/seg}} = 5.28$$

$$\text{HPT} = 22.07 + 5.28 = 27.35$$

Resumiendo los calculos:

Cabezal 1 : 27.35 HP, 465.01 pies/min, 74.56 rpm.

Cabezal 2 : 26.0 HP, 671.0 pies/min, 107.6 rpm.

Cabezal 3 : 30.0 HP, 968.0 pies/min, 155.36 rpm.

-Producción de alambre de 3 mm.

La reducción total será:

$$D = 0.273 \text{ plg}$$

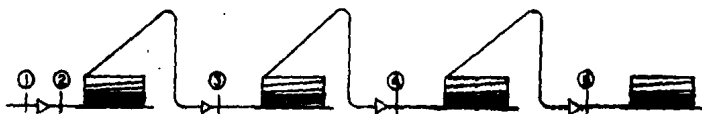
$$A_0 = 0.05853 \text{ plg}^2$$

$$d = 0.118 \text{ plg}$$

$$A_1 = 0.01095 \text{ plg}^2$$

$$\text{RA} = 81.31 \%$$

Se puede realizar la reducción en cuatro pasos del 34.23% cada uno.



1.- $s = 0.273 \text{ plg}$
 $A_1 = 0.05853 \text{ plg}^2$
 $T = 59,700 \text{ lb/plg}^2$

2.- $s = 0.2213 \text{ plg}$
 $A_2 = 0.03849 \text{ plg}^2$
 $T = 79,000 \text{ lb/plg}^2$

3.- $s = 0.179 \text{ plg}$
 $A_3 = 0.025138 \text{ plg}^2$
 $T = 90,000 \text{ lb/plg}^2$

4.- $s = 0.1456 \text{ plg}$
 $A_4 = 0.016651 \text{ plg}^2$
 $T = 101,000 \text{ lb/plg}^2$

5.- $s = 0.118 \text{ plg}$
 $A_5 = 0.0109514 \text{ plg}^2$
 $T = 110,000 \text{ lb/plg}^2$

Comenzamos con el cuarto cabezal :

$$S5 = \frac{30 \times 33,000}{0.005699 \times 1.2 \times 101,000} = 1433.2 \text{ pies/min} = 436.8 \text{ m/min}$$

$$S5 * A5 = S4 * A4 \quad S4 = \frac{1433.2 \text{ pies/min} \times 0.0109514 \text{ plg2}}{0.016651}$$

$$S4 = 942.61 \text{ pies/min} = 287.3 \text{ mts/min}$$

$$HP4 = \frac{942.61 \times 1.2 \times 0.008667 \times 90,000}{33,000}$$

$$HP4 = 26.73$$

$$S4 * A4 = S3 * A3 \quad S3 = \frac{942.61 \text{ pies/min} \times 0.016651 \text{ plg2}}{0.03849 \text{ plg2}}$$

$$S3 = 619.93 \text{ pies/min} = 188.95 \text{ mts/min}$$

$$HP3 = \frac{619.93 \times 1.2 \times 79,000 \times 0.013172}{33,000}$$

$$HP3 = 23.45$$

$$S3 * A3 = S2 * A2 \quad S2 = \frac{619.93 \text{ pies/min} \times 0.025318 \text{ plg2}}{0.03849 \text{ plg2}}$$

$$S2 = 407.77 \text{ pies/min} = 124.3 \text{ m/min}$$

$$HP2 = \frac{407.77 \times 1.4 \times 0.02004 \times 59,700}{33,000}$$

$$HP2 = 20.69$$

$$\text{HPd} = 124.3 \frac{\text{mts}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times 170 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ HP}}{76 \text{ Kg-m/seg}}$$

$$\text{HPd} = 4.63$$

$$\text{HPt2} = 25.32$$

Resumiendo los resultados:

Cabezal 1: 25.3 HP, 407.7 pies/min, 65.4 rpm.

Cabezal 2: 23.4 HP, 619.9 pies/min, 99.4 rpm.

Cabezal 3: 26.7 HP, 942.6 pies/min, 149.1 rpm.

Cabezal 4: 30.0 HP, 1433.2 pies/min, 229.9 rpm.

5.2 Transmisión y propulsión.

La propulsión típica utilizada en las máquinas para trefilado, son motores de corriente directa y velocidad variable, lo que las hace ideales para las necesidades del proceso. En nuestro 'proyecto' contamos con motores de corriente alterna, de 30 HP y con 1750 rpm. La velocidad fija es una desventaja importante, pero se tratará de encontrar la mejor forma de solucionarlo mediante cambios en las relaciones de la transmisión. Sin embargo el costo de un motor de este tipo es muy inferior al de corriente directa, además su mantenimiento es más económico y sencillo.

Resumiremos ahora los resultados de cada uno de los procesos en la tabla 5-1.

Las revoluciones por min. finales van de 53.7 a 29.9. Las

TABLA 5-1

	Cabezal 1	Cabezal 2	Cabezal 3	Cabezal 4
Producción				29.01 HP
7 mm Ø				53.7 rpm
				336.1 ppm
Producción	28.4 HP			25.17 HP
5 mm Ø	79.0 rpm			110.0 rpm
	498.4 ppm			685.9 ppm
Producción	27.3 HP		26.0 HP	30.0HP
4 mm Ø	74.5 rpm		107.6 rpm	155.3 rpm
	465.0 rpm		671 ppm	968.0 ppm
Producción	25.32 HP	23.4 HP	26.7 HP	30.0 HP
3 mm Ø	65.4 rpm	99.4 rpm	149.1 rpm	229.9 rpm
	407.7 ppm	619.9 ppm	942.6 ppm	1433 ppm
Potencia:	30HP	25 HP	30 HP	30 HP

relaciones de reducción van de 32.58 a 7.61. De estas condiciones se hace necesario un reductor con salida vertical superior y una transmisión por banda.

El reductor que se encontró como mas adecuado es de 34 HP, de corona y sinfín, en baño de aceite y con una reducción de 9.22 a 1. Con los datos anteriores tendremos que:

para 53.7 rpm la entrada del reductor serán 495.1 rpm y

para 229.9 rpm la entrada al reductor serán 2119.6 rpm.

La relación de diámetros en las poleas serán de 3.53 y 0.83 respectivamente, dando un rango apropiado en los diámetros de las poleas.

5.3 Configuración general.

Los cuatro cabezales estarán montados en unidades independientes, cada una estará compuesta de reductor, transmisión, motor y caja del dado con enfriamiento. La disposición en la unidad será la mostrada en la figura 29.

Las unidades se colocarán en línea recta. El alambre sale por la parte superior del cabezal, pasa por una polea loca y de ahí se dirige al siguiente cabezal que se esté utilizado. El primer cabezal (dado) estará aproximadamente a 1.5 metros de la salida del desescamador.

Para controlar la salida del alambre por la parte superior del cabezal se utiliza una polea giratoria a la cual se puede dar ajuste por medio de fricción, para proporcionar al alambre la tensión necesaria para evitar que se enrrede en su trayecto a la entrada del siguiente cabezal (fig N°30). La vista general de la máquina está representada en la figura N°31, en donde se esquematiza produciendo alambre de 5 mm.

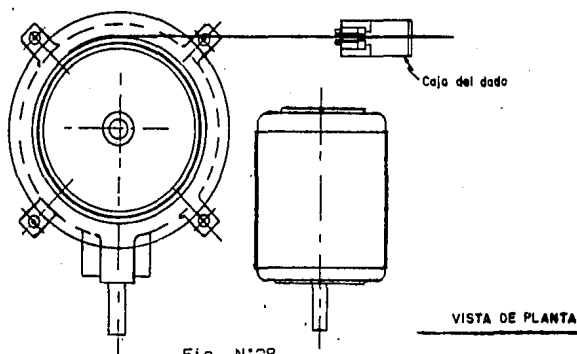
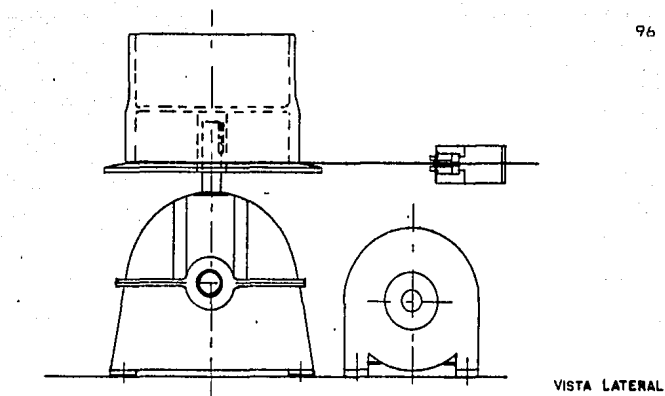


Fig. N°29.

5.2 Sistema de enfriamiento.

Este sistema tiene como objetivo reducir la temperatura de la superficie del dado. El sistema deberá estar funcionando constantemente, ya que las velocidades de operación siempre superan los trescientos pies por minuto. Se utilizará una

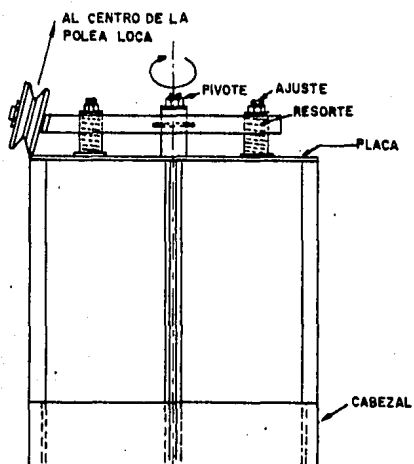


Fig. N°30

bomba centrífuga, que hará pasar el agua por cada una de las cajas de los dados.

La caja de los dados que podría ser funcional tendría un diseño semejante al que se ve en la figura N°32. Como se puede apreciar en la figura, el agua pasa por cada una de las cajas y regresa a un depósito en el cual es necesario instalar un termómetro y tener la opción de instalar un radiador con un motor eléctrico en caso de que la temperatura del agua excediera los 50°C aproximadamente.

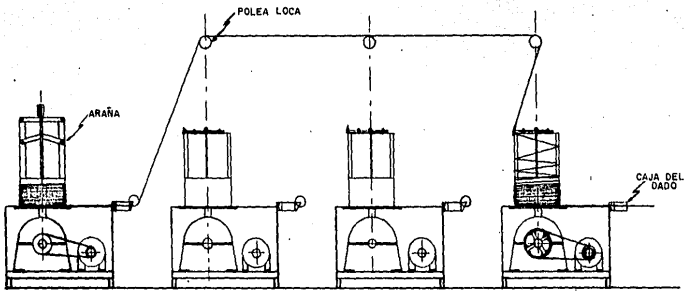


FIG. N° 31. Vista general de la máquina.

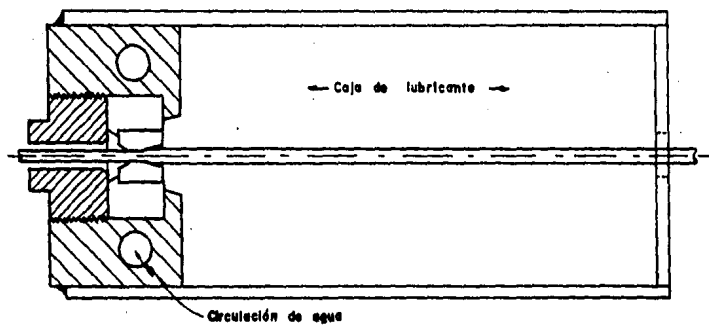


Fig. N°32. Caja de dado
con refrigeración.

CAPITULO 6
COSTOS DE OPERACION

Los costos de producción en la planta de trefilado son todos aquellos relacionados con la función manufacturera o fabril. Estos costos son en nuestro caso los siguientes: materia prima, mantenimiento, mano de obra, energía eléctrica, herramientas y lubricantes.

Estos elementos los podemos agrupar teniendo en cuenta su carácter de directos o indirectos en la siguiente forma:

	1. Materia prima	
Costos de producción	2. Mano de obra	{ A. Mantenimiento B. Lubricante C. Herramientas D. Energía eléc.
	3. Indirectos	

6.1 Materia Prima.

Este costo de producción toma en cuenta solamente el valor del alambón, que es la única materia prima de carácter directo, ya que el lubricante se toma como una materia prima indirecta.

Comenzaremos obteniendo la producción esperada de cada uno de los diámetros:

-Alambre de 7mm ϕ .

Velocidad final=336.1 pies/min

Peso del alambre=0.301 Kg/m

La producción será:

$$336.1 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.2808 \text{ pies}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times 0.301 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1850.1 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$\text{Producción} = 1,850 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ tn}}{1000 \text{ Kg}} = 1.85 \text{ tn/hora}$$

-Alambre de 5mm ϕ .

Velocidad final=685.9 pies/min

Peso del alambre=0.153 Kg/m

La producción será:

$$685.9 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.2808 \text{ pies}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times 0.159 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1919.2 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Producción=1.919 tn/hora

-Alambre de 4mm ϕ .

Velocidad final=968.0 pies/min

Peso del alambre=0.098 Kg/m

$$968.0 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.2808 \text{ pies}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times 0.098 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1734.9 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Producción=1.735 tn/hora

-Alambre de 3mm ϕ .

Velocidad final=1433.2 pies/min

Peso del alambre=0.055 Kg/m

$$1433.2 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.2808 \text{ pies}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times 0.055 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 1441.5 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Producción=1.441 tn/hora

Se espera que los porcentajes de producción para cada uno de los diámetros sea la siguiente:

Producción de 7 mm ϕ = 28%

Producción de 5 mm ϕ = 28%

Producción de 4 mm ϕ = 34%

Producción de 3 mm ϕ = 10%

Se espera producir por hora, en promedio, según los porcentajes de fabricación, la siguiente cantidad:

Producción de 7 mm de ϕ = 1.85 tn/hr x 0.28 = 0.518

Producción de 5 mm de ϕ = 1.919 tn/hr x 0.28 = 0.537

Producción de 4 mm de ϕ = 1.735 tn/hr x 0.34 = 0.590

Producción de 3 mm de ϕ = 1.441 tn/hr x 0.10 = 0.144

Promedio de producción, tn/hr = 1.789

El consumo de alambre diario esperado, trabajando ocho horas, con una eficiencia del 70 %, ya que al descargar los rollos y al terminarse el alambre es necesario detener el proceso.

$$0.7 \times 1.789 \text{ ton/hr} \times 8 \text{ hrs.} = 10.1 \text{ ton/día}$$

Trabajando 21 días al mes, el consumo de alambre será:

$$10.1 \text{ ton/día} \times 21 \text{ días} = 212.1 \text{ ton/mes}$$

El costo del alambre es de \$ 286,800.00 pesos por

tonelada (puesto en la planta de trefilado). El costo por materia prima será entonces:

$$212.1 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 286,800}{\text{ton}} = \$ 60'830,280.00$$

Costo de materia prima mensual: \$ 60'830,280.00

6.2 Mano de Obra.

La mano de obra de tipo directa se resume al número de personas que se encontrarán trabajando dentro de la nave del trefilado, o de otra forma, el personal que sin su servicio, por más que este automatizado el proceso sería imposible la fabricación del alambre.

El personal mínimo necesario será el siguiente:

- 1 persona encargada del tablero de control y de los datos.
- 1 persona encargada de la alimentación de la máquina (alambón y lubricante).
- 1 persona en el área de producto terminado.

El costo de mano de obra será el de tres personas con el sueldo mínimo:

$$\$ 12,300 \times 3 = 64,050 \text{ semanal}$$

Costo mensual de mano de obra: \$ 256,000.00

6.3 Costos Indirectos.

A) Mantenimiento. El elemento esencial de mantenimiento y para el proceso en sí, son los dados. Los fabricantes de dados nos dicen que un dado puede producir de 5 a 6 toneladas de alambre sin descalibrarse. Tomaremos el valor de 6 toneladas de rendimiento por dado. El costo de un dado de carburo de tungsteno es de \$ 9,100.00. Obtendremos el consumo de dados tomando en cuenta el número de pasos, así como la producción porcentual de cada diámetro.

-Producción mensual de 7 mm ϕ .

$$212.1 \text{ ton/mes} \times 0.28 = 59.41 \text{ ton/mes}$$

Se utiliza un paso por lo que el número de dados necesarios al mes será de:

$$\frac{59.41 \text{ ton/mes}}{6 \text{ ton/dado}} \times 1 \text{ paso} = 9.9 \text{ dados al mes}$$

-Producción mensual de 5 mm ϕ .

$$212.1 \text{ ton/mes} \times 0.28 = 59.38 \text{ ton/mes}$$

Se utilizan dos pasos por lo que el número de dados necesarios al mes será de:

$$\frac{59.38 \text{ ton/mes}}{6 \text{ ton/dado}} \times 2 \text{ pasos} = 19.79 \text{ dados al mes}$$

-Producción mensual de 4 mm ϕ .

$$212.1 \text{ ton/mes} \times 0.34 = 72.11 \text{ ton/mes}$$

Se utilizan tres pasos por lo que el número de dados

necesarios al mes será de:

$$\frac{72.11 \text{ ton/mes}}{6 \text{ ton/dado}} \times 3 \text{ pasos} = 36.05 \text{ dados al mes}$$

-Producción mensual de 3 mm s.

$$212.1 \text{ ton/mes} \times 0.10 = 21.21 \text{ ton/mes}$$

Se utilizan cuatro pasos por lo que el número de dados necesarios al mes será de:

$$\frac{21.21 \text{ ton/mes}}{6 \text{ ton/dado}} \times 4 \text{ pasos} = 14.14 \text{ dados al mes}$$

Se requieren mensualmente un total de:

$$9.9 + 19.79 + 36.05 + 14.14 = \pm 80 \text{ dados}$$

El costo mensual de los dados será de:

$$\$9,100 \times 80 = \$ 728,000$$

El segundo punto a tratar en cuanto a mantenimiento es el del equipo en general.

La recomendación de la General Electric Company para la frecuencia y el grado de inspección de los motores, depende de los factores como: 1° La importancia de los motores en el proceso; 2° Número de horas que trabaja el motor; y 3° Naturaleza del servicio.

En nuestro caso es primordial el buen funcionamiento de los motores, por lo que es aconsejable un revisión bimestral, con una atención principal a los siguientes puntos:

a) Verificar las escobillas en su soporte, su ajuste y presión del resorte.

b) Verificar los rodamientos, cambiar la grasa, asegurarse que no hay pérdidas de grasa ó aceite.

c) Checar cualquier ruido anormal durante su funcionamiento así como cualquier olor que pueda indicar calentamientos excesivos.

d) Verificar la tensión y alineación de la transmisión por banda.

Para los reductores de velocidad el mantenimiento debe ser bimestral, encontrando conveniente realizarlo al mismo tiempo que el de los motores. Es conveniente revisar el nivel del aceite ; checar que no tenga partículas metálicas o arena, si es así, es recomendable cambiarlo; revisar los rodamientos.

El costo bimestral de mantenimiento en motores y reductores se estima en \$ 95,000.00

B) Lubricante.

Como ya se mencionó en el punto 4.4.2 de esta tesis, el lubricante denominado Ferrocapa DM-1, es el indicado para nuestro proceso de trefilado. El consumo de lubricante es de 0.5 Kg/Ton en cada paso. Se obtiene en costales de 50 Kg. El consumo de lubricante en la producción de cada uno de los diámetros es la siguiente:

-Producción mensual de 7 mm ϕ = 59.41 ton/mes..

Se utiliza un paso, por lo que:

$$59.4 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \times 0.5 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}} \times 1 \text{ paso} = 29.7 \text{ Kg/mes}$$

-Producción mensual de 5 mm ϕ = 59.38 ton/mes.

Se utilizan dos pasos:

$$59.38 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \times 0.5 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}} \times 2 \text{ pasos} = 59.38 \text{ Kg/mes}$$

-Producción mensual de 4 mm ϕ = 72.11 ton/mes.

Se utilizan tres pasos:

$$72.11 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \times 0.5 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}} \times 3 \text{ pasos} = 108.16 \text{ Kg/mes}$$

-Producción mensual de 3 mm ϕ = 21.21 ton/mes.

Se utilizan cuatro pasos:

$$21.21 \frac{\text{ton}}{\text{mes}} \times 0.5 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}} \times 4 \text{ pasos} = 42.42 \text{ Kg/mes}$$

El consumo mensual total de lubricante es de 239.66 Kgs.

El precio del lubricante es de \$ 561.90/Kg, por lo que el precio del costal es de \$ 28,096.00.

Necesitamos 239.66 Kg/50 Kg costal = 4.79 = 5 costales al mes.

El costo mensual de lubricante es de: \$ 140,480.00

C) Herramientas.

El costo por herramientas se estima será aproximadamente con una frecuencia trimestral. Las herramientas necesarias principales son las cortadoras de alambre, además de limas y llaves en general. Este costo se debe a pérdidas y desgaste.

El costo aproximado es de: \$ 50,000.00.

D) Energía eléctrica.

Comenzaremos por obtener el número de horas trabajadas para cada uno de los calibres fabricados.

- Producción de 7 mm #.

$$21 \text{ días} \times 8 \text{ hrs/día} \times 0.7 = 117.6 \text{ hrs/mes}$$

$$117.6 \times 0.28 = 32.93 \text{ hrs}$$

- Producción de 5 mm #.

$$117.6 \times 0.28 = 32.92 \text{ hrs}$$

- Producción de 4 mm #.

$$117.6 \times 0.34 = 39.98 \text{ hrs}$$

- Producción de 5 mm #.

$$117.6 \times 0.10 = 00.76 \text{ hrs}$$

El cabezal 4 funciona en la producción de todos los diámetros, por lo tanto trabaja con un total de 117.6 horas/mes.

La potencia es de 30 HP. El consumo es de:

$$Kw = \frac{HP}{1.34 \times ef} = \frac{30}{1.34 \times 0.9} = 24.87 \text{ Kw hr}$$

El costo de la energía eléctrica es de \$ 57.04 Kw

El costo por hora de funcionamiento es de:

$$24.87 \text{ Kw/hr} \times 57.04 / \text{kw} = \$ 1,418.60 / \text{hr}$$

El costo del cabezal 4 al mes =

$$\$ 1,418.60 / \text{hr} \times 1176.6 \text{ hrs} = \$ 166,827.36$$

El cabezal 3 funciona en la producción de los diámetros de 4 y 3 mm.

El número de horas de producción de éstos diámetros al mes es de:

$$39.98 + 11.76 = 51.74 \text{ hrs}$$

El motor es de 30 HP, el costo por hora es de \$ 1,418.60, el costo del cabezal 3 al mes será:

$$1,418.60 / \text{hr} \times 51.74 \text{ hr} = \$ 73,398.36$$

El cabezal 2 funciona solamente en la producción del alambre de 3 mm de diámetro. Trabaja 11.76, hrs/mes.

El motor es de 25 HP, el costo por hora es de:

$$Kw = \frac{25}{1.34 \times 0.9} = 20.73 \text{ Kw hr}$$

$$20.73 \text{ Kw} / \text{hr} \times 57.04 / \text{Kw} = \$ 1,182.44 / \text{hr}$$

el costo del cabezal 2 al mes será:

$$1,182.44 / \text{hr} \times 11.76 \text{ hr} = \$ 13,905.49$$

El cabezal 1 funciona en la producción de los diámetros de 5, 4 y 3 mm.

El número de horas de producción de éstos diámetros al mes es de:

$$32.92 + 39.98 + 11.76 = 84.66 \text{ hrs}$$

El motor es de 30 HP, el costo por hora es de \$ 1,418.60, el costo del cabezal 1 al mes será:

$$1,418.60 / \text{hr} \times 84.66 \text{ hr} = \$ 120,098.68$$

El costo mensual estimado de energía eléctrica es de: \$ 374, 229.89.

El costo será bimestral = \$ 748,459.78.

6.4 Resumen de los costos de producción durante un año,

Para facilitar obtener los costos de producción durante un año se elaboró la tabla 6-1, en donde se resumen los resultados obtenidos en este capítulo.

Tabla 6-1. Resumen de costos de producción en un año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
1	60'830,280	60'830,280	60'830,280	60'830,280	60'830,280
2	256,200	256,200	256,200	256,200	256,200
3	823,000	823,000	823,000	823,000	823,000
4	140,480	140,480	140,480	140,480	140,480
5	50,000			50,000	
6		748,460		748,460	
	62'099,960	62'798,420	62'049,960	62'848,420	62'049,960
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
1	60'830,280	60'830,280	60'830,280	60'830,280	60'830,280
2	256,200	256,200	256,200	256,200	256,200
3	823,000	823,000	823,000	823,000	823,000
4	140,480	140,480	140,480	140,480	140,480
5		50,000			50,000
6			748,460		748,460
	62'049,960	62'099,960	62'798,420	62'049,960	62'848,420
	Noviembre	Diciembre			
1	60'830,280	60'830,280			
2	256,200	256,200			
3	823,000	823,000			
4	140,480	140,480			
5					
6		748,460			
	62'049,960	62'798,420			

- 1.- Materia prima
- 2.- Mano de obra
- 3.- Mantenimiento
- 4.- Lubricante
- 5.- Herramientas
- 6.- Energía eléctrica

CONCLUSIONES

Un buen diseño de maquinaria para la producción de elementos necesarios en la industria se puede realizar con un poco de estudio y dedicación. La producción de buena maquinaria, conociendo principalmente el proceso para el cual va ser diseñada, es elemental para el desarrollo de una buena infraestructura de nuestro país. El estudio de los procesos para la producción de los elementos que se quieran fabricar, es indispensable primero, para elevar la calidad del producto terminado, y segundo para aumentar la productividad y en consecuencia la rentabilidad del proyecto.

El proceso del trefilado es sencillo y relativamente fácil de llevar a cabo. Es un proceso el cual tiene infinidad de aplicaciones, no solo la producción de alambre de acero, sino de cualquier otro metal, como por ejemplo el del cobre, el cual es muy frecuente. Sin embargo es necesario conocer las alteraciones ó cambios que sufre el metal, para comprender lo que le sucede y llegar a los resultados que se esperan.

Para el diseño de una buena máquina de trefilado, es indispensable conocer las alteraciones que sufre el metal, los cambios en su estructura interna, en sus propiedades físicas, y en sus dimensiones, ya que como se dijo en esta tesis, la maquinaria para trefilado tiene como objetivo hacer lo mayor eficiente posible al dado, el cual es el elemento más importante en el proceso del trefilado.

Pienso que en el desarrollo de maquinaria eficiente para el trefilado, así como en el conocimiento de éste proceso, falta mucho por hacer y por experimentar. Falta impulso en el desarrollo de maquinaria de éste y de muchos otros procesos más para lograr fabricar elementos de calidad y poder ser más eficientes y productivos.

REFERENCIAS

- 1.- Esta expresión se obtuvo, como se menciona al principio del capítulo tres, por medio de experimentación, es decir, es empírica, no tiene justificación científica.
- 2.- La cuantificación de la ganancia real es un método cuantitativo de comparación del trabajo realizado en el estiraje en frío y es adimensional.
- 3.- Esta expresión se obtuvo por experimentación, su referencia es: "Cooling of Steel Wire During Continuous Drawing" de Norman A. Wilson, "Wire & Wire Products", October, 1954.

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

- Manual Universal de la Técnica Mecánica.
Erik Oberg - F.D. Jones.
Editorial Labor. 1977.
- Producción de Alambre de Acero.
Ing. Eduardo Anaya Levy.
Curso del Instituto Mexicano del Hierro y el Acero A.C.
México 1980.
- Steel Wire Handbook. 1
Edited by Allan B. Dobe.
Published by The Wire Association Inc.
Brandford, Conn:
- Metalografía. Tomo 1.
A.P. Guliáev.
Editorial Mir-Moscu. 1978.
- Introducción a la Metalurgia Física.
Sydney H. Avner.
McGraw-Hill. 1983.
- Procesos de Manufactura Versión SI.
B.H. Amstead - F. Oswald - L. Begeman.
C.E.C.S.A. 1982.
- Tesis. Planeación de una Planta de Alambre de Acero.
Jorge Cueto Velázquez.
Universidad Nacional Autónoma de México.
1965.
- Tesis. Anteproyecto de una Fábrica para la Manufactura
de Alambre de Bajo Contenido de Carbono.
Alfredo Arellano Rocha.
Instituto Politecnico Nacional.
1960.

- Contabilidad de Costos.
Armando Ortega Pérez de León.
Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. 1976

- Principios de Contabilidad.
Andrew D. Braden - Robert G. Allyn.
C.E.C.S.A. 1975.