ESPOL
CIB
D-10037
T
671.82
C186
BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica

"CALCULO Y CONSTRUCCION DE CASTILLETE Y SISTEMA DE TRANSMISION DE POWER PARA MOLINO EXPERIMENTAL DE LAMINACION"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Fausto René Campana Zapata

Guayaquil - Ecuador

1989

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. HOMERO ORTIZ A., Director de Tesis, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

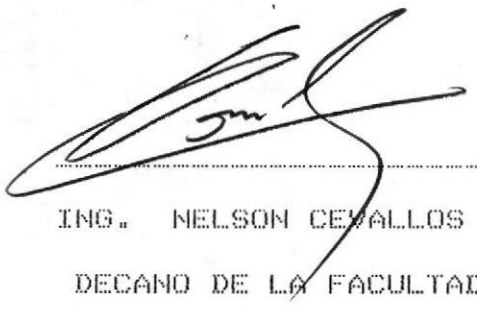
Al Ing. IGNACIO WIESNER F., Director del Programa de Construcción de Máquinas de Metalurgia, por el apoyo y confianza brindado.

A los Ings. MANUEL HELGUERO G. y HENRRY AGUIRRE R., Jefe del Taller Mecánico, y Jefe de Taller de Fundición respectivamente, por su colaboración brindada durante el proceso de construcción.

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

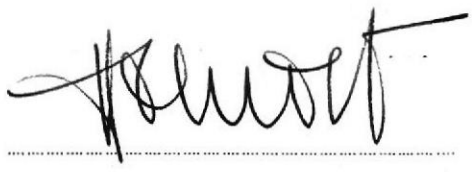
A MIS HERMANOS



ING. NELSON CEVALLOS B.

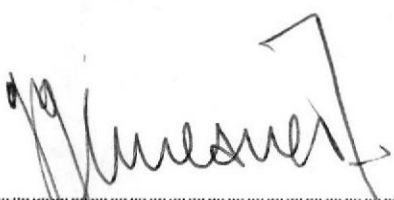
DECANO DE LA FACULTAD

DE INGENIERIA MECANICA



ING. HOMERO ORTIZ A.

DIRECTOR DE TESIS



ING. IGNACIO WIESNER F.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



ING. ANTONIO VITERI M.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARATORIA EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

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



FAUSTO R. CAMPANA Z.

R E S U M E N

Se presenta en esta tesis el cálculo y la construcción de algunas de las partes del equipo experimental para laminación de Acero en caliente (1200°C.).

Se indican los cálculos básicos y las consideraciones de diseño empleadas para cada caso, así como también se establecen los criterios y consideraciones técnicas de selección de materiales y accesorios mecánicos normalizados.

Se establece con la ayuda de la hoja de procesos:

- La ruta de fabricación a seguir
- El avance del proceso
- El control de las especificaciones técnicas de construcción.

El funcionamiento de los sistemas se probaron sin carga, efectuándose una verificación de acople y montaje.

Finalmente se hace recomendaciones sobre modificaciones, mejoras y optimización del equipo, y se sugiere su aplicación en pruebas experimentales a nivel de Laboratorio para investigación del proceso de laminación.

I N D I C E G E N E R A L

Pag.

RESUMEN VI

INDICE GENERAL VIII

INDICE DE FIGURAS XI

INDICE DE TABLAS XVI

SIMBOLOGIA XVIII

INTRODUCCION 20

I GENERALIDADES 22

1.1 La industria siderúrgica en Latinoamérica 22

II ANALISIS 28

2.1 Descripción general de las máquinas de laminación 28

2.2 Nivel tecnológico del país 38

2.3 Desarrollo de tecnología 41

III MOLINO EXPERIMENTAL DE LAMINACION 48

3.1 Partes constitutivas del Molino experimental 48

3.2 Selección de partes del molino y cálculos 53

3.2.1 Identificación de los parámetros básicos 54

3.2.2 Castilletes 57

3.2.3 Sistema de guías de entrada y salida 62

3.2.4 Dispositivos de ajustes y accionamiento 64

3.2.5 Alargaderas 71

3.2.6 Caja de piñones 77

3.2.7 Caja reductora 81

3.3 Proceso de Construcción 82

3.3.1 Planificación del proceso 87

3.3.2 Elaboración de planos y codificación 91

3.3.3 Materiales 96

3.3.3.1 Especificaciones técnicas 98

3.3.3.2 Proceso de fundición.. 100

3.3.3.3 Especificaciones para mecanizado 110

IV CONTROL DE CALIDAD 123

BIBLIOTE

4.1 Piezas de fundición 123

4.2 Materiales seleccionados 127

4.3 Soldadura 131

4.4 Ajuste y tolerancias 136

V PRUEBAS 140

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 151

APENDICES 154

BIBLIOGRAFIA 198

ESPOL BIBLIOTECA

INDICE DE FIGURAS

Pag.

1. Producción acumulada de hierro, acero y laminados..... 25

2. Diágrama de operaciones del proceso de laminación..... 29

3. Productos laminados..... 32

4. Tipos de laminadores horizontales..... 36

5. Disposiciones básicas de las cajas de laminación 36

6. Primera fase, planta de laminación..... 45

7. Segunda fase, siderurgia..... 47

8. Equipo básico de laminación..... 50

9. Dimensiones principales de los cilindros de laminación..... 56

10. Tipos de castilletes..... 60

11. Estructura del castillete..... 60

12. Sección tranversal de los postes en el castilletes..... 63

13. Guías de entrada y salida..... 63

14. Sistemas de regulación del cilindro superior..... 67

15. Sistemas de regulación del cilindro inferior..... 70

16. Tuercas de calibración..... 70

17. Disposición de las alargaderas..... 74

18. Unión tipo palma..... 74

19. Distribución de la carga en la palma..... 76

20. Distribución de la carga en la horquilla... 76

21. Momentos de inclinación en la caja de piñones..... 84

22. Colado, laminación y cajas de piñones..... 84

23. Alargaderas..... 85

24. Hoja de proceso tipo..... 90

25. Hoja de orden de trabajo..... 92

26. Proceso de fundición del bronce al aluminio..... 105

27. Colado del bronce al aluminio..... 105

28. Mecanizado de precisión..... 122

29. Probeta para ensayo de tracción..... 126

30. Ultrasonido: proceso de cuña angular..... 132

31. Señal de inspección con equipo de ultrasonido..... 133

32. Señal típica de unión soldada..... 135

33. Control de calidad; calibrador..... 138

34. Control de calidad; escuadra de precisión.. 138

35. Control de calidad; micrómetro..... 139

36. Ensamble; eje, engrane, rodamientos..... 142

37. Montaje de la caja de piñones..... 142

38. Montaje de alargaderas..... 143

39. Sistema de calibración, cilindro inferior.. 144

40. Sistema de calibración, cilindro superior.. 146

41. Montaje de cilindro inferior..... 148

42. Montaje de cilindro central..... 149

43. Montaje de cilindro superior..... 150

44. Factor K de diseño..... 161

45. Diágrama de fuerzas cortantes y momentos

flectores..... 190

INDICE DE TABLAS

Pag.

I. Estructura de producción y consumo de laminados en Latinoamérica..... 23

II. Estadisticas de producción siderurgica en América Latina..... 26

III. Diámetros y pasos de los husillos de empuje..... 69

IV. Materiales para los cojinetes de tipo abierto..... 72

V. Parámetro básico de los dientes de engranajes, caja de piñones..... 79

VI. Requerimientos químicos del bronce al aluminio..... 103

VII Requerimientos mecánicos del bronce al aluminio..... 104

VIII Propiedades de la fundición gris..... 106

IX Composición y propiedades químicas, aleaciones ZA..... 108

X Propiedades mecánicas de las aleaciones ZA..... 109

XI Cuchillas de Widia..... 113

XII Tipos de cuchillas de Widia y aplicaciones..... 114

XIII Amplitud de tolerancias..... 118

XIV Valores de rugosidad (selección..... 120

XV Resultados de ensayos de durometría..... 128

XVI Resultados de ensayos de tracción..... 129

BIBLIOTECA

S I M B O L O G I A

A: Area

ASTM: American Society for Testing Materials

°C: Grado centígrado

D: Diámetro

E: Módulo de elasticidad

F: Fuerza

fs: Fuerza de rozamiento estático

I: Momento de inercia

kx: Factor de modificación (Fatiga)

L: Longitud

M: Momento flector

N: Factor de seguridad

n: Costante de extremos (columnas)

P: Carga de trabajo (columnas)

S: Resistencia mecánica

SAE: Society of Automative Engineers

T: Temperatura

V: Volumen

v: velocidad

W: Peso

z: Altura geométrica

ZA: Aleación zinc-aluminio

: Angulo de inclinación

: Angulo de incidencia/Angulo de hélice

Rd: Tensión admisible del material

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
GUAYAQUIL
BIBLIOTECA

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

La producción de laminados en nuestro país ha sido muy restringida a través de los años, de manera que para solucionar en algo el problema de la demanda insatisfecha especialmente en el área de la construcción civil, se recurre a la importación de estos productos.

Esta aparente solución ha postergado el desarrollo de tecnología propia aplicada a nuestro medio, evidenciada por el escaso número de fabricas de productos laminados a nivel de grande, mediana y pequeña industria.

El objeto del presente trabajo es dar a conocer los criterios para la construcción de equipos de laminación de barras de acero en caliente, empleando mano de obra y tecnología nacionales, con la utilización de materiales existentes en el mercado.

Para lograr lo anteriormente expuesto, se ha construido

el equipo básico necesario, cumpliendo fases de investigación, diseño y construcción de acuerdo a una planificación previamente establecida.

Se dejó como inquietud para futuros trabajos de tesis, la optimación del equipo experimental con el fin de lograr un mayor grado de desarrollo tecnológico.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1.1 LA INDUSTRIA SIDERURGICA EN LATINOAMERICA

América Latina es una zona de gran cantidad de recursos minerales, de mano de obra barata y calificada, de infraestructura adecuada para la provisión de insumos y despacho de productos.

El crecimiento de la industria siderúrgica se opera por el año de 1970, lo cual se refleja en un incremento de la capacidad de producción, pero es realmente en la década de los 80 cuando se logra una etapa de madurez y desarrollo tecnológico importantes. En la tabla I se puede apreciar este incremento significativo en la producción de laminados.

Sin duda este incremento en la capacidad de producción está estrechamente ligado con el

TABLA I

América Latina: Estructura de la Producción y el Consumo de Productos Laminados (1.000 ton)

	1960		1970		1980		1985	
	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo
NO PLANOS	2.294,6	3.165,0	5.516,2	5.871,0	11.131,5	12.230,0	13.040,4	9.943,8
PLANOS	1.572,5	2.701,1	4.531,7	6.317,5	12.382,6	14.333,2	13.683,0	11.154,1
TUBOS SIN COSTURA	274,8	421,1	571,8	643,5	912,0	1.218,0	1.162,3	865,0
TOTAL LAMINADOS	4.141,9	6.287,2	10.619,7	12.832,0	24.426,1	27.824,4	27.885,7	21.962,9

desarrollo de su propia ingeniería de proyectos, ya que en varios paises del sector se han conformado plantas integradas de mediano y gran tamaño, y plantas semi-integradas la mayor parte de las cuales utilizan las mas modernas tecnologías en la fabricación de aceros y su posterior transformación, a tal punto que según los datos de la figura 1 en los años de 1986 y 1987 se acercan a producciones de acero de cuarenta millones de toneladas al año y pasa de los treinta millones de toneladas de productos laminados, lo cual sugiere un permanente desarrollo.

Si bien la Industria Siderúrgica en América Latina en conjunto es una sólida realidad capaz de satisfacer no solo las actuales demandas de la región, sino también de exportar competitivamente en los mercados mundiales, presenta un muy heterogéneo desarrollo relativo tanto en lo socieconómico como en lo industrial. En la tabla II se muestra la diferencia considerable en la capacidad de producción de los paises del sector y es que las características propias de cada país de esta región, se refleja en su desarrollo industrial en general y en la siderúrgica en particular.

De esta manera, se establecen niveles de desarrollo tecnológico dentro del sector.

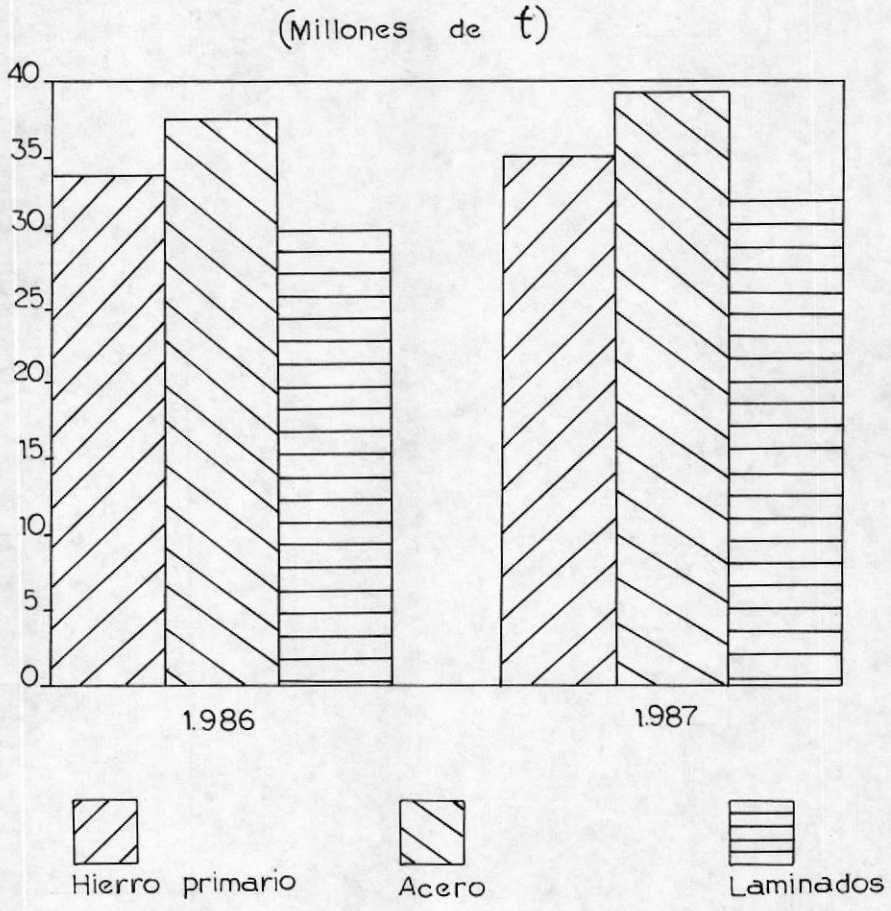


FIG. 1: América Latina: Producción acumulada de hierro primario, acero, y laminados. Enero–Diciembre: 1.986 - 1.987

TABLA II

ESTADISTICAS DE PRODUCCION SIDERURGICA EN AMERICA LATINA
(miles de toneladas)

PAISES	Enero-Diciembre		
	1986	1987*	87/86 (%)
	ACERO		
Argentina	3.242,9	3.659,0	12,8%
Brasil	21.228,4	22.240,5	4,8%
Centroamerica	133,3	130,6	-2,0%
Colombia	600,9	693,7	15,4%
Chile	703,4	715,0	1,6%
Ecuador	17,0	25,2	48,2%
Mexico	7.167,7	7.514,8	4,8%
Paraguay		9,7	
Perú	486,8	502,4	3,2%
Trinidad y Tobago	326,5	370,0	13,3%
Uruguay	31,0	30,2	-2,6%
Venezuela	3.402,1	3.735,4	9,8%
América Latina	37.340,0	39.626,5	6,1%
	LAMINADORES EN CALIENTE		
Argentina	2.468,0	2.847,2	15,4%
Brasil	17.357,9	17.673,0	1,8%
Centroamerica	211,8	266,6	25,9%
Colombia	508,2	591,6	16,4%
Chile	568,5	547,6	-3,7%
Ecuador	181,6	172,4	-5,1%
Mexico	5.462,0	5.860,5	7,3%
Paraguay		4,2	
Perú	376,7	408,0	8,3%
Trinidad y Tobago	217,0	291,0	34,1%
Uruguay	35,4	43,5	22,9%
Venezuela	2.733,5	3.046,2	11,4%
América Latina	30.120,6	31.751,8	5,4%

Un primer grupo que ha alcanzado un grado de autosuficiencia en base al desarrollo de su propia ingeniería, encabezado por Brasil y seguido por paises como México, Argentina y Venezuela, que poseen instalaciones últramodernas que entraron en operación en la última década, como es el caso de Brasil que instaló en 1986 el laminador de alambrón mas rápido del mundo para diámetros de 5 a 32 mm. para alcanzar velocidades de 141 m/seg. construido con tecnología propia.

Un segundo grupo formado por paises como Colombia, Chile, Perú que presentan un nivel de desarrollo aceptable pero que obviamente su capacidad es inferior al grupo anterior.

Un tercer grupo integrado por paises en vías de desarrollo: Ecuador, Uruguay, Bolivia, Paraguay, etc., con instalaciones antiguas, algunas de ellas adquiridas de segunda mano, como equipos de baja productividad pero de bajo costo de operación.

C A P I T U L O II

ANALISIS

2.1 DESCRIPCION GENERAL DE LAS MAQUINAS DE LAMINACION

El proceso de laminación involucra la fabricación de un producto determinado mediante la deformación plástica de un metal por la aplicación de presión entre cilindros rotativos, constituyendo además la temperatura un factor importante en el proceso.

En realidad, la complejidad de este proceso de fabricación se debe a que además del equipo básico que sirve para la deformación del metal entre los cilindros, es necesario equipo para efectuar otras operaciones, lo que implica el uso de máquinas auxiliares para completar el mismo. Dentro de este contexto, se presenta un diagrama general (figura 2), que señala las operaciones necesarias y lo que de ello se deriva como parte de la fabricación de un producto laminado.

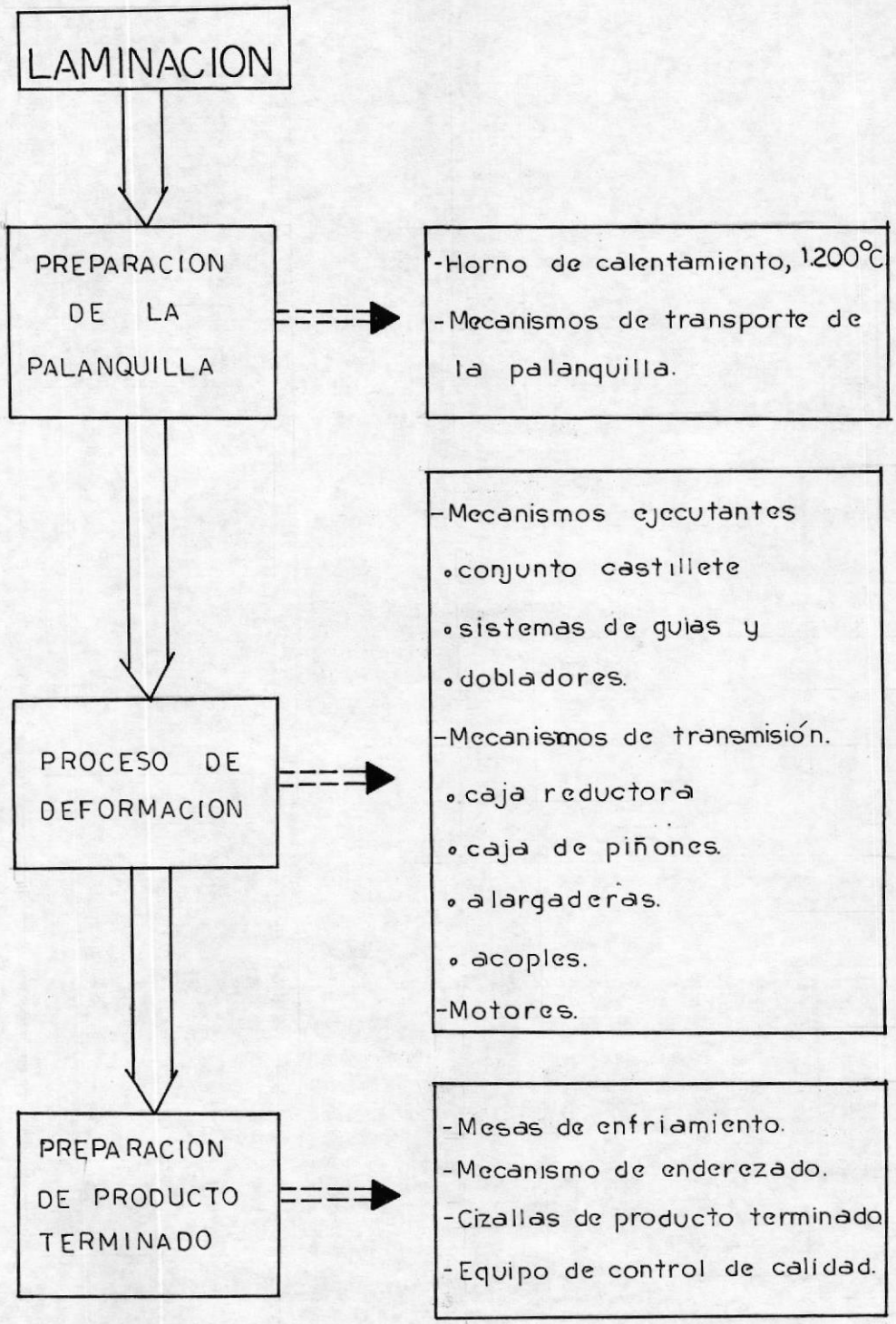


Fig 2: Diagrama de operaciones del proceso de laminación.

BIBLIOTECA

La producción en serie de laminados crea la necesidad de incorporar a gran nivel la mecanización y la automatización, tal es así que se disponen las máquinas de manera que se logre una cadena de fabricación con el adecuado transporte del producto en proceso de una máquina a otra, este conjunto de máquinas operando simultáneamente se denomina tren de laminación. También existen máquinas que operan aisladamente como el laminador de una sola caja para laminación en frío de bandas, laminadores de bolas, etc.

En consecuencia, un tren de laminación es, en algunos casos, el término aplicado a máquinas aisladas, que llevan a cabo la deformación plástica del material entre los cilindros. En otros casos, se refiere a un sistema de máquinas que:

(a) efectúan la laminación del metal, frecuentemente en varias etapas

(b) realizan las operaciones auxiliares necesarias para la producción del metal laminado.

En el segundo caso, un tren de laminación incluye varias máquinas de fabricación, que corresponden al número de operaciones tecnológicas en el trabajo del metal. Se trata, por lo tanto, de un sistema

compuesto de máquinas dispuestas en un orden y conectadas por caminos de rodillos u otro medio de transporte en una cadena de fabricación tecnológica común.

El equipo que sirve para la deformación del metal entre los rodillos de denomina Equipo Básico y la línea en la que esta dispuesto es la línea principal del tren de laminación. El equipo mecánico para efectuar otras operaciones se denomina Máquinas Auxiliares y Mecanismos del Tren de Laminación.

Una manera de clasificar los distintos tipos de trenes de laminación, es por el producto terminado que fabrican, así:

- Laminador de varillas: redonda o cuadrada (figura 3 a)
- Laminador de perfiles: L, C, I, T (figura 3 b)
- Laminador de planos: platina, plancha (figura 3 c)
- Laminadores de tubos y bolas (figura 3 d)

Otras forma de clasificar los trenes de laminación es por la disposición de los cilindros en las cajas, existen los siguientes tipos: con cilindros horizontales, con cilindros verticales, con cilindros horizontales y verticales, con cilindros inclinados y

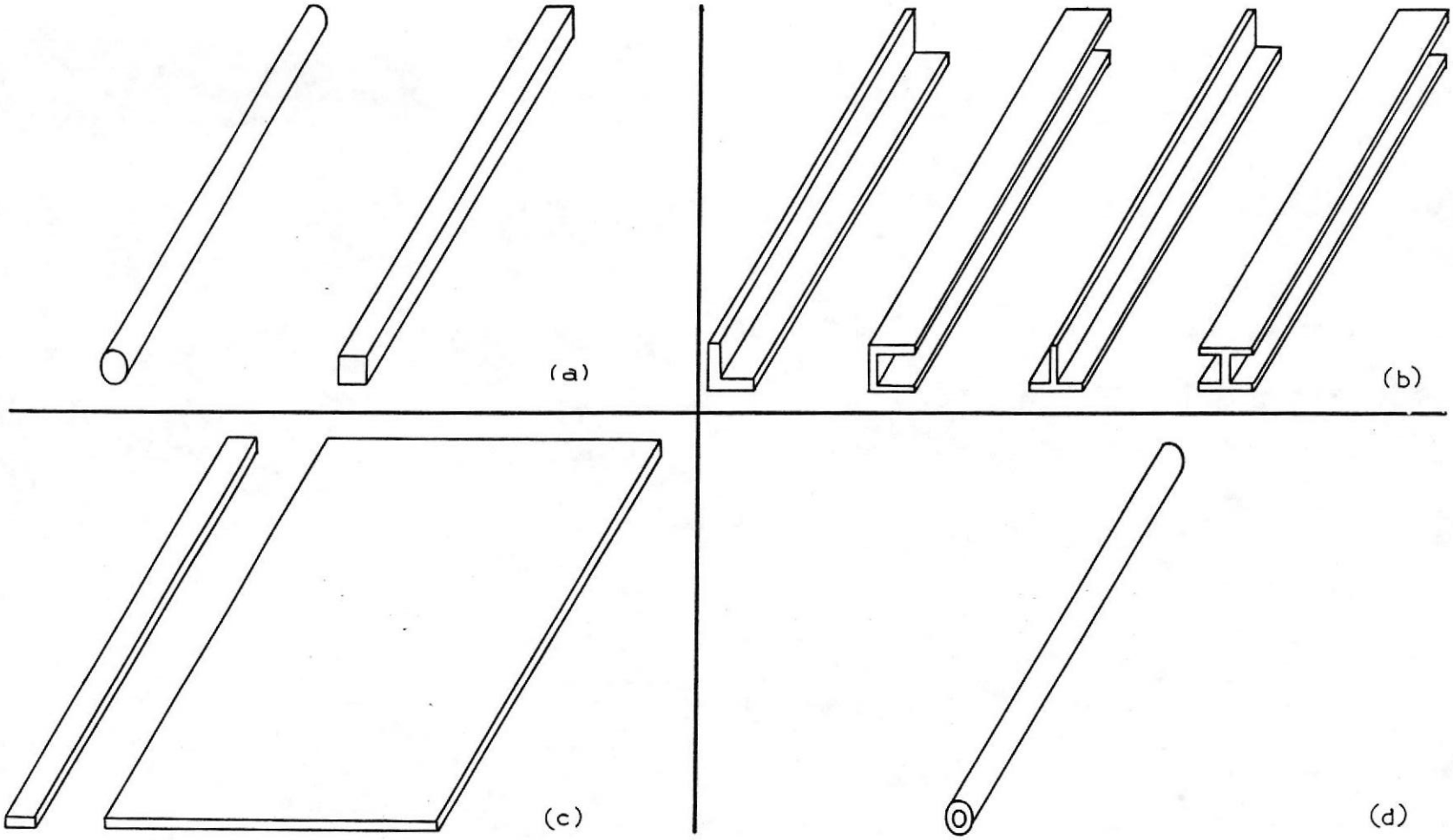


FIG. 3: Productos laminados

BIBLIOTECA

cajas con disposición especial de los cilindros.

Dentro de las cajas de laminación con cilindros horizontales, existen:

- Cajas dúos, compuestas por dos cilindros ubicados el uno encima de otro perfectamente alineados, se emplean como laminadores reversibles; esto es invierten el sentido de giro con cada pasada del metal. También se utilizan como acabadores para la última pasada del metal, o como desbastadores para la primera pasada del metal (figura 4 a).

- Cajas tríos, se componen de tres cilindros dispuestos uno encima del otro. Aquí la pieza es laminada en ambas direcciones sin necesidad de invertir el giro de los cilindros (figura 4 b); se emplean como trenes intermedios entre el desbastador y el acadador.

- Cajas cuarto, compuestas de cuatro cilindro donde la laminación se produce solamente entre los cilindros del centro que son de menor diámetro, denominados cilindros de trabajo. Los cilindros de los extremos superior e inferior soportan a los cilindros de trabajo y por esta razón se denominan cilindros de apoyo; estos se emplean para laminación

de productos planos, (figura 4 c).

- Existen laminadores especiales que se utilizan para propositos determinados y cuyo uso es muy restringido, como los laminadores de cajas doble dúo para laminación de perfiles de acero de alta calidad; laminadores con cajas séxtuples para laminar bandas estrechas y anchas; laminadores con múltiples de doce o veinte cilindros para laminación de bandas delgadas y hojas; laminadores planetarios para laminación en caliente de bandas con grandes reducciones (figura 4 d)

Las cajas de laminación con cilindros verticales se emplean para reducir una pieza por los lados cuando no se desea doblarla por su eje, para reducciones laterales en laminadores contínuos, o para enderezar los bordes cuando se laminan bandas anchas.

Las cajas de laminación con cilindros verticales y horizontales, llamadas cajas universales, pueden ser: dúos, tríos o cuádruples y se utilizan para laminar bandas anchas, o en trenes para laminar vigas de ala ancha.

Las cajas de laminación con cilindros inclinados se emplean para laminar en forma helicoidal y en

particular, para la producción de tubos.

La disposición de las cajas de laminación en los diversos trenes puede variar según sea la función del laminador, el número de pasadas entre los cilindros, el volúmen de producción y el tipo de producto fabricado. Son tres los tipos básicos de disposición de las cajas de laminación en los trenes:

a) Con una sola caja (figura 5a); son los laminadores mas simples y su aplicación principal es el laminado de chapas en frío, laminado en frío de bandas estrechas y anchas.

b) Con cajas múltiples dispuestas en línea (figura 5 b) se emplean para laminar secciones grandes y pequeñas, chapas gruesas y bandas anchas. Si bien este tipo de laminadores resultan baratos, tienen como inconveniente la ausencia del control de la velocidad de laminación a medida que la pieza aumenta la longitud, además que se reduce la producción y se complica el proceso por la necesidad de transportar el metal lateralmente entre una caja y la siguiente.

c) Con dos cajas dispuestas en tándem (figura 5c); es el laminador de forma mas óptima, aquí el metal se lamina en varias pasadas y las características

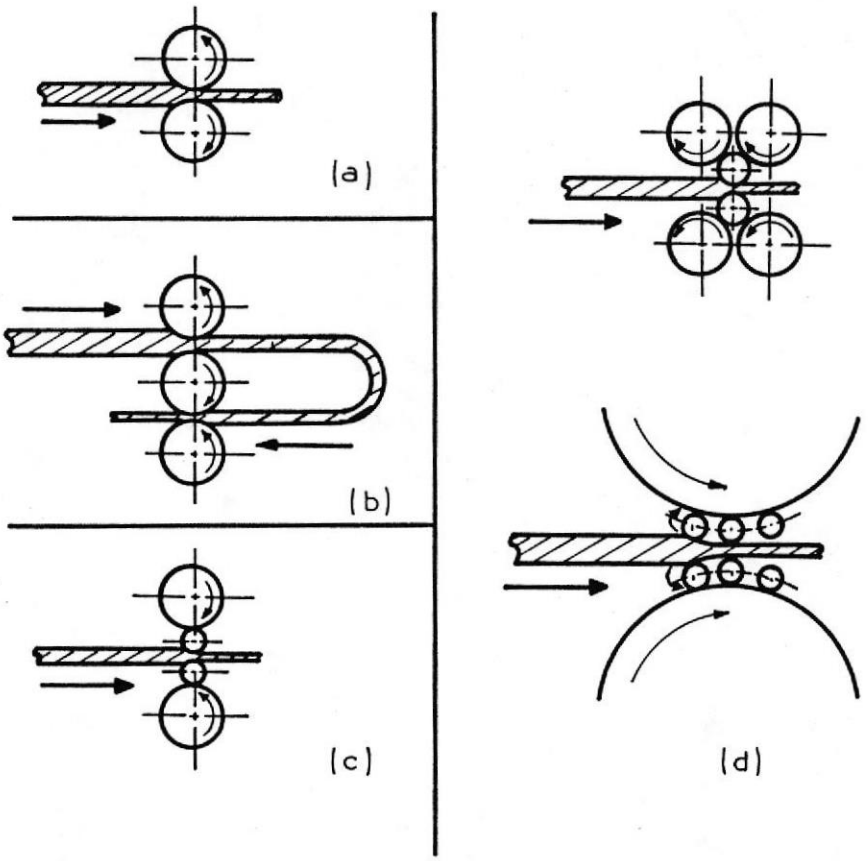


FIG. 4 : Tipos de laminadores horizontales

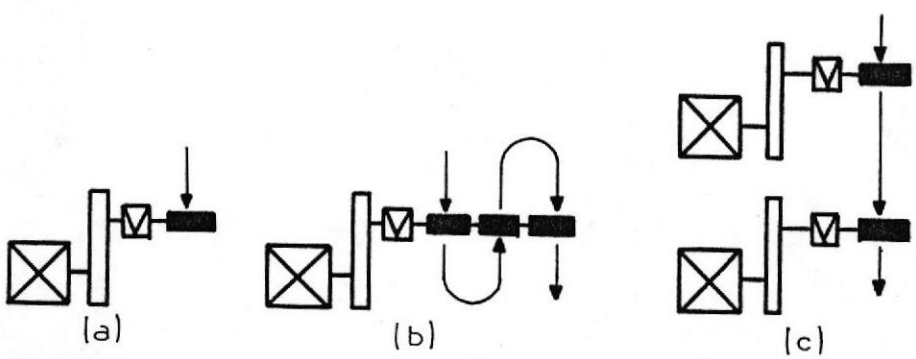


FIG. 5: Disposiciones básicas de las cajas de laminación

del proceso mejoran, ya que el control de la velocidad de laminación es independiente para cada caja.

Cuando el número de pasadas entre cilindros no es suficiente para completar el proceso en el caso de las disposicones mencionadas, se recurre a las variantes o combinaciones entre ellas para lograr tipos de arreglos especiales, así:

- Escalonado; cajas en tándem colocadas en varias líneas una junto a otra.

- Contínuo con accionamiento agrupado; cajas en tándem con un solo motor.

- Contínuo con acondicionamiento individual.

- Semicontínuo; combinación tándem - en línea.

- Disposición en zigzag, que se utilizan para la laminación de perfiles medianos y pesados. Los trenes en tablero de damas son una variante de los del tipo zigzag, donde la velocidad de laminación en las cajas individuales se ha elevado progresivamente, para permitir el alargamiento de la pieza entre cada caja.

BIBLIOTE

2.2 NIVEL TECNOLOGICO DEL PAIS

La realidad socio económica del país en los años cincuenta, se basó en el impulso del sector agrícola con exportaciones de productos tradicionales como banano, café, cacao, lo cual generó recursos y un relativo bienestar social. Orientado el Ecuador en este sentido, se posterga el desarrollo industrial y tecnológico, evidenciándose una aguda dependencia de tecnología extranjera en este sector.

Este fenómeno se presentó de igual forma en Bolivia, y en menor grado en paises como Colombia, Perú y Venezuela.

Un intento por procurar un desarrollo equilibrado y armónico en el sector industrial, se da en los años sesenta por los paises miembros del Grupo Subregional Andino mediante el acuerdo de Cartagena, cuya propuesta señala mecanismos importantes como:

- Implantación y consolidación de la infraestructura tecnológica básica necesaria.

- Constitución de empresas multinacionales de

ingeniería para el desarrollo de tecnología propia aplicada a la industria en el sector subregional.

Si bien en nuestro país el efecto alcanzado fue un cierto dinamismo e impulso del sector metalmecánico, este no fue lo suficientemente importante como para considerarlo básico para el desarrollo social.

Ya en los años setenta, el petróleo cambia el rumbo del interés nacional y ante sus deslumbrantes beneficios, el sector agrícola es descuidado, con lo cual se origina la emigración desordenada del campesino a las ciudades, en busca de oportunidades, pero el sector industrial es muy pequeño, rápidamente se ve copado y saturado generándose el desempleo con el consiguiente deterioro social.

En la actualidad la situación del sector industrial en el país ha variado un poco, ya que si bien se ha producido un aumento en la cantidad de fábricas a niveles de pequeña, mediana y gran industria, en el campo de la siderurgia y mas concretamente en la fabricación de productos laminados, el equipo y la tecnología empleados para este proceso son en la mayoría de origen externo, ya que los esfuerzos por implementar y desarrollar tecnología propia son muy aislados.

Existen en el país dos fábricas de laminación de acero, consideradas dentro de la gran industria, estas son; ANDEC (Acerías Nacionales del Ecuador) ubicada en Guayaquil y ADELCA (Acería Ecuatoriana), las dos son empresas de carácter mixto; es decir que son formadas con capital estatal y particular, las cuales realizan procesos semiautomáticos, con el uso de trenes de laminación contínuos, dotados de equipos considerables con capacidad. de producción real de alrededor de 80.000 toneladas/año cada una, aun cuando en el caso de ANDEC su capacidad instalada es de 100.000 ton/año.

Estas industrias en cuanto a la gama de productos laminados, se han limitado a la producción de varillas redondas, varillas cuadradas, platinas, ángulos.

La materia prima que necesita ANDEC para realizar su producción, es suministrada en un 30 % por FUNANSA, y el 70 % es cubierta con palanquilla importada, mientras tanto que ADELCA necesita importar toda su materia prima.

Existen además en el país empresas consideradas dentro de la mediana y pequeña industria, estas son TALME de carácter privado y que está localizada en la

ciudad de Guayaquil; ARMCO de carácter mixto y localizada en la Provincia de Cotopaxi; CANTABRIA de carácter privado y ubicada en la ciudad de Quito.

Estas fábricas cuentan con equipos de baja productividad y de bajo costo de operación, considerandoselas como plantas relaminadoras ya que utilizan como materia prima, productos semilaminados de origen importado y de material de despuntes de ANDEC y ADELCA. En cuanto a su infraestructura se trata de plantas semi-integradas constituídas con trenes caseros o con equipo de segunda mano en parte,con cierto grado de mecanización en la introducción, virado y transporte de la barra en el proceso como es el caso de TALME, y en otros casos en forma manual como en CANTABRIA.

Debido a las limitaciones del equipo y a la mano de obra poco calificada, las capacidades de producción de estas plantas de laminación varia entre 1.500 y 12.000 toneladas/ año, cuyos productos laminados son varillas redondas, varillas cuadradas y platinas.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA 1958 GUAYAQUIL
BIBLIOTEC

2.3 DESARROLLO DE TECNOLOGIA

En un análisis de mercado realizado por la unidad de

Convenios, Proyectos y SATI de la ESPOL y presentado en el informe: "PLANTA SIDERURGICA INTEGRADA" de Enero de 1987, se establece que el sector ofertante nacional de productos laminados compuesto por las fábricas ANDEC, ADELCA, TALME, ARMCOPAXI, CONTABRIA y CUENCA, no es capaz de cubrir las necesidares del sector demandante compuesto en un 80 % por el sector de la construcción civil y en un 20 % por los sectores metalmecánico y artesanal, por lo cual se recurre a la importación de productos laminados como una solución al problema de la demanda insatisfecha.

Identificado el primer problema, en este trabajo se enfoca otro aspecto importante relacionado específicamente con el sector ofertante, y es el hecho de que el precio del producto de laminación nacional tiende a ser mayor que el precio del producto laminado importado.

Este fenómeno ocurre por la tendencia de la oferta, debido al incremento progresivo de los costos de producción determinado por la influencia de factores externos e internos.

Dentro de los factores externos se pueden mencionar:

- El mercado internacional de la palanquilla: en un

70% de la producción nacional la materia prima utilizada es importada.

- Costos de financiamiento elevado por adquisición de bienes de capital para industrias de laminación pagadas en dólares.

- Costo de repuestos elevado; un ejemplo de ello son los cilindros de laminación que por sus características de fabricación y su origen (importado) son costosos y no se fabrican en el país.

Dentro de los factores internos se pueden mencionar:

- Elevado uso de mano de obra; esto es el número de obreros/toneladas/año, ya que el tipo de fábricas existentes son semiautomáticas, mecánicas y hasta manuales.

- Alto costo de financiamiento de capital de operación.

Ante esta problemática planteada como una realidad latente, existe una proposición de solución por parte de la ESPOL, orientada al desarrollo de tecnología en la construcción de bienes de capital con dos objetivos:

- Disminución de costos de producción por uso de maquinaria nacional.

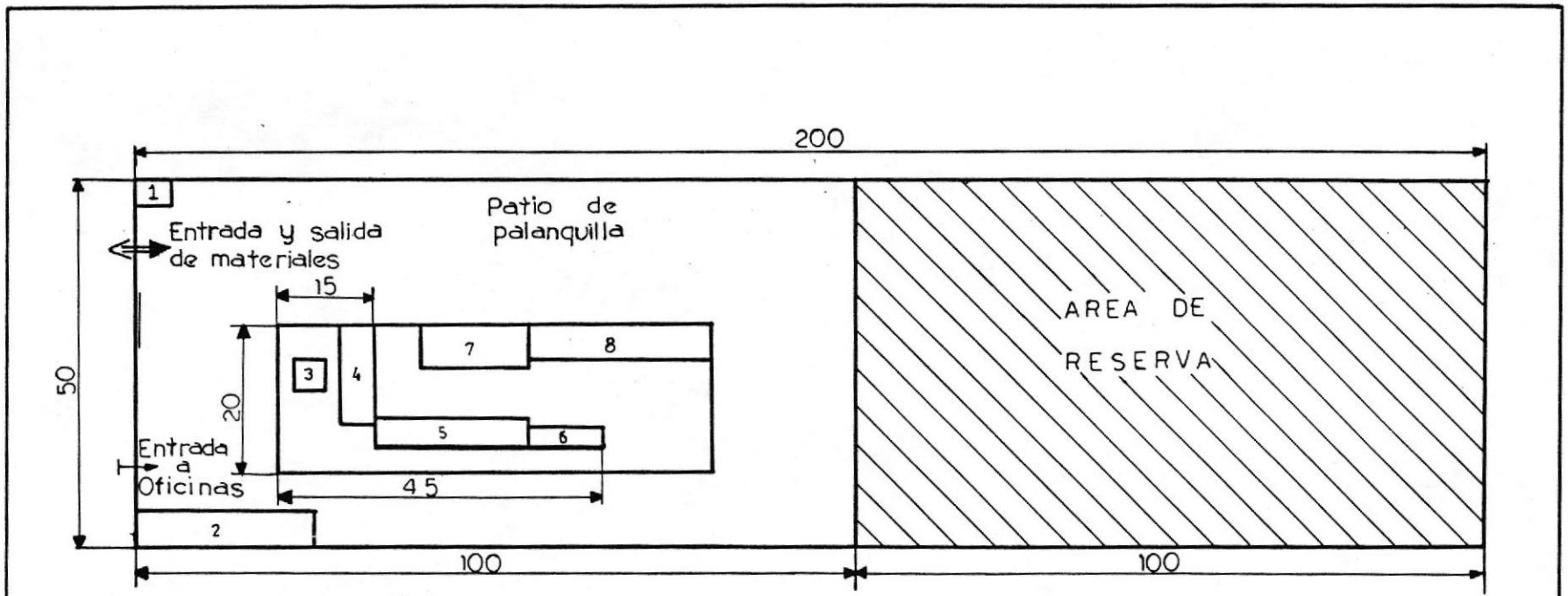
- Aumento de la oferta de productos de laminación.

El mecanismo para lograr estos objetivos, esta dado por la implantación de microplantas laminadoras que popularicen la tecnología y disminuyan costos; lógicamente que debe incluirse también la producción de palanquilla como un camino para reducir costos de productos laminados en este tipo de empresas.

Es así que en la Facultad de Ingeniería Mecánica nace el interés de desarrollar un proyecto de una planta siderúrgica Integrada, proyecto que se plantea en dos fases.

La planta siderúrgica integrada, estaría ubicada en terrrenos de La Prosperina de propiedad de la ESPOL, con área total de instalación de 10.000 m^2.

La primera fase es la planta de laminación distribuida como se indica en la figura 6. Para la producción de la misma se utilizaría materia prima importada, y en un año de funcionamiento produciría aproximadamente 3.000 toneladas.



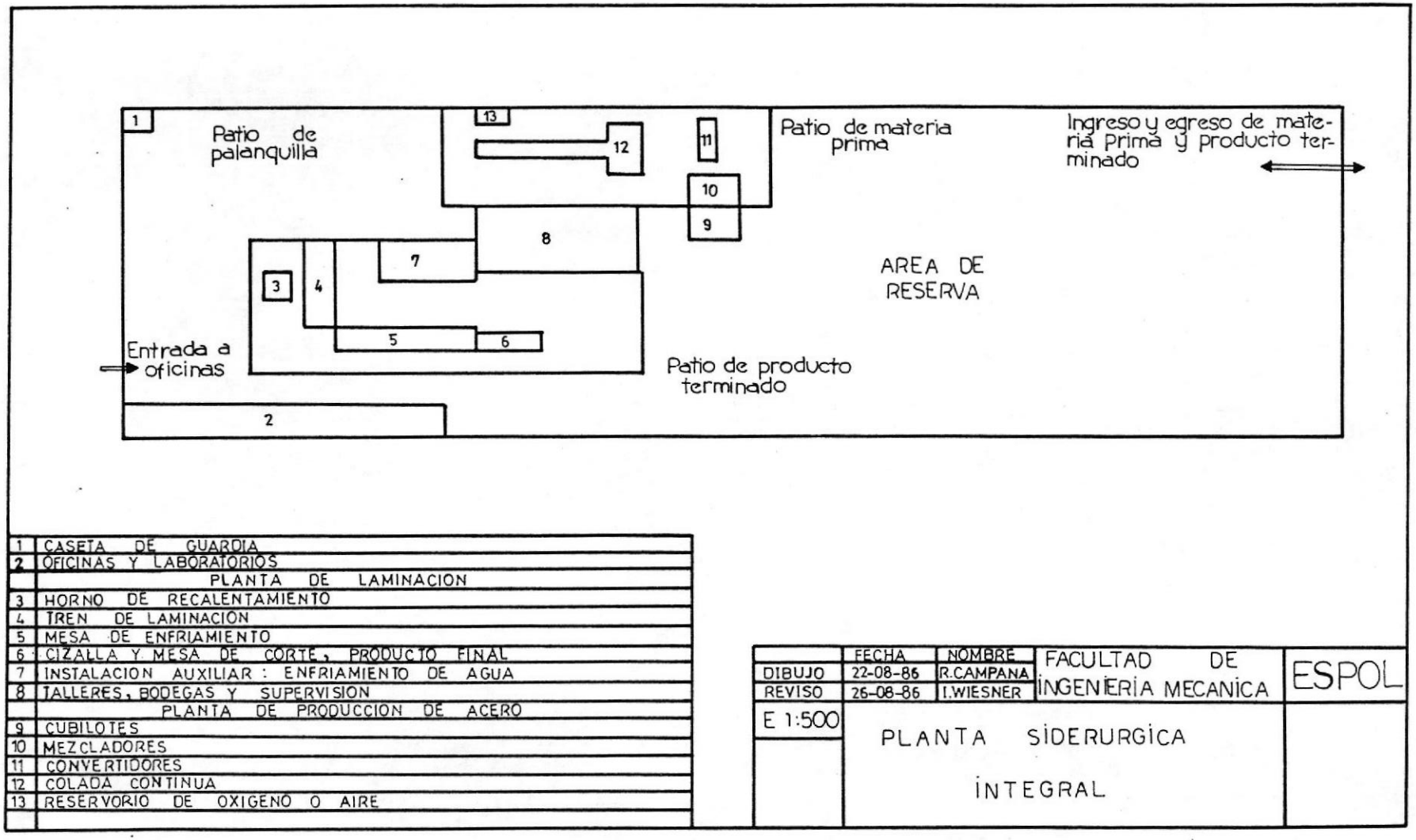
1	CASETA DE GUARDIA
2	OFICINAS Y LABORATORIOS
	PLANTA DE LAMINACION
3	HORNO DE RECALENTAMIENTO
4	TREN DE LAMINACION
5	MESA DE ENFRIAMIENTO
6	CIZALLA Y MESA DE CORTE. PRODUCTO FINAL
7	INSTALACION AUXILIAR : ENFRIAMIENTO DE AGUA
8	TALLERES, BODEGAS Y SUPERVISION

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
DIBUJO	22-08-86	R.CAMPANA		
REVISO	26-08-86	I.WIESNER		
E 1:500	PLANTA SIDERURGICA INTEGRAL			

FIG. 6: Primera fase Planta de laminación

Como complemento del plan anterior se desarrollaría una segunda fase que corresponde a la planta de fundición, cuya distribución se muestra en la figura 7. Está considerada para funcionar a partir del segundo año, con lo cual la planta siderúrgica integrada tendría una capacidad de producción de aproximadamente 5.000 ton/año.

Un aspecto importante de este programa, es que la ingeniería del proyecto sería desarrollada integramente por la ESPOL, aplicando tecnología propia de acuerdo al medio. El presente trabajo experimental de tesis será el punto de inicio, del cual en base a las memorias de las circunstancias presentadas tanto en el diseño como en la fabricación, se tienda en trabajos futuros a la optimización mediante el replanteo y desarrollo de alternativas propias que simplifiquen y hagan rentable el proceso.



1	CASETA DE GUARDIA
2	OFICINAS Y LABORATORIOS
	PLANTA DE LAMINACION
3	HORNO DE RECALENTAMIENTO
4	TREN DE LAMINACION
5	MESA DE ENFRIAMIENTO
6	CIZALLA Y MESA DE CORTE, PRODUCTO FINAL
7	INSTALACION AUXILIAR : ENFRIAMIENTO DE AGUA
8	TALLERES, BODEGAS Y SUPERVISION
	PLANTA DE PRODUCCION DE ACERO
9	CUBILOTES
10	MEZCLADORES
11	CONVERTIDORES
12	COLADA CONTINUA
13	RESERVORIO DE OXIGENO O AIRE

	FECHA	NOMBRE	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	ESPOL
DIBUJO	22-08-86	R.CAMPANA		
REVISO	26-08-86	I.WIESNER		
E 1:500	PLANTA SIDERURGICA INTEGRAL			

FIG.7 : Segunda fase Planta de Fundición / Laminación

C A P I T U L O III

MOLINO EXPERIMENTAL DE LAMINACION

BIBLIOTE

3.1 PARTES CONSTITUTIVAS DE MOLINO EXPERIMENTAL

En el marco del Proyecto BID-EXPOL II, el área de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOL, llevó a cabo un programa de construcción de equipos, dentro del cual se incluyo un molino de laminación experimental para fabricación de barras en caliente.

Las ideas empleadas para el diseño de cada una de sus partes son simples, tanto para la construcción como el funcionamiento de las mismas, con lo cual se abre un camino para que con las pruebas y experimentaciones sustentadas en una base teórica, se logre la optimización del equipo y se posibilite la investigación del proceso mismo, lo que propiciará el

desarrollo de Ingeniería, incorporando conocimientos reales que nos liberen poco a poco de la dependencia tecnológica.

A continuación y con la ayuda de un esquema del conjunto mostrado en la figura 8, se detalla el equipo básico que comprende este molino experimental. Por la función que cumplen los elementos de este equipo se puedan agrupar en 3 unidades:

- motor
- transmisión
- caja de cilindros de laminación.

El motor (figura 8 a) es el elemento encargado de suministrar la potencia de trabajo necesaria para el funcionamiento del molino. Los motores de los laminadores modernos son eléctricos debido a sus mejores características de operación; una alternativa es el uso de motores de combustión interna.

Para este proyecto se utiliza un motor marca MWM de 405 CV Y 1800 RPM, donado por la Empresa Eléctrica de Los Ríos a la ESPOL, por gestiones realizadas por la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Los mecanismos de transmisión son los encargados de llevar el movimiento rotatorio del motor a los

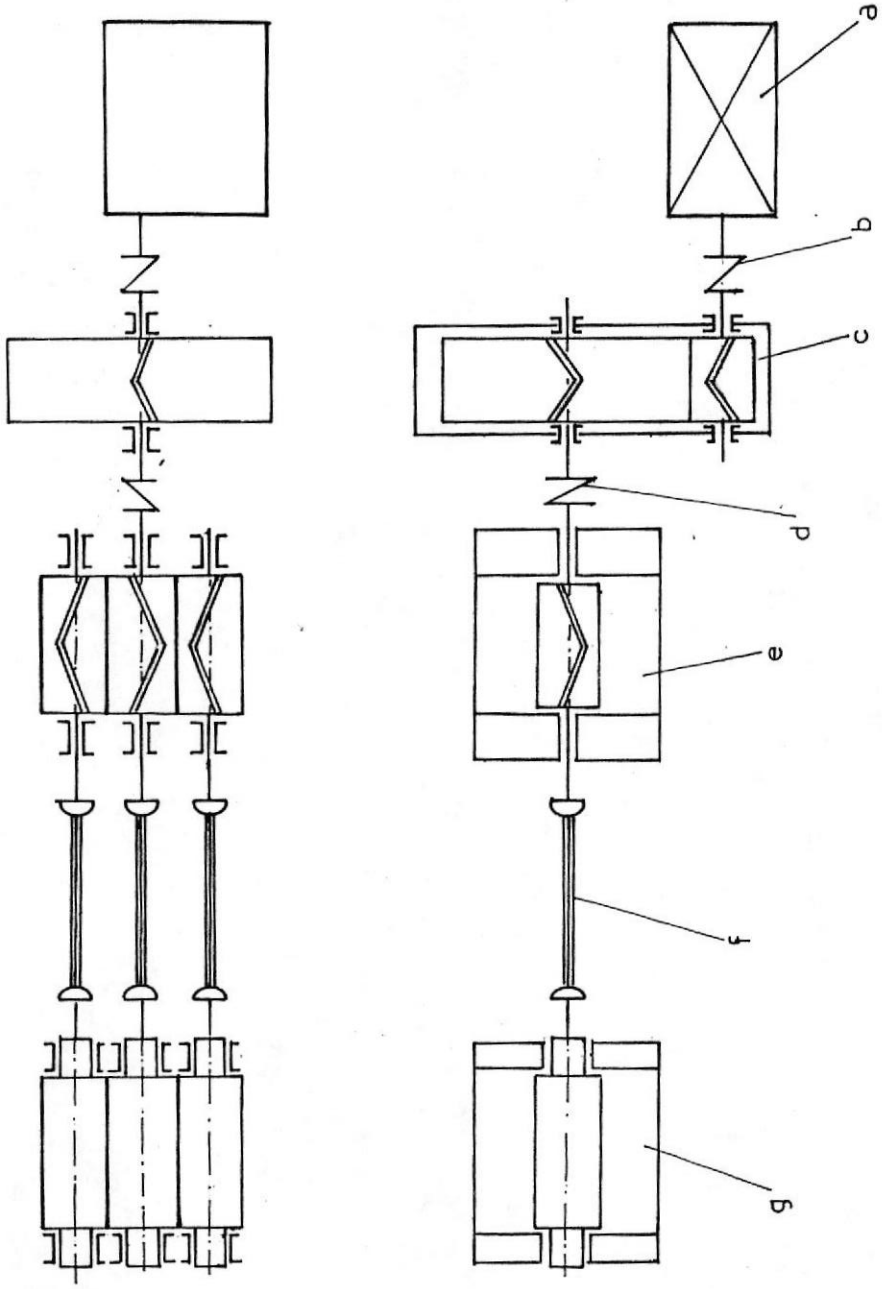


FIG.8: Equipo básico de laminación

cilindros de laminación y son:

La caja reductora (figura 8 c), cuya función es reducir el número de revoluciones de salida del motor (1.800 rpm) a un valor adecuado de revoluciones de los cilindros de laminación (250 rpm). Este sistema es mucho mas eficiente que el sistema de bandas y poleas de reducción, descartandose el uso de un volante de Inercia.

El acoplamiento principal (figura 8 d) que transmite la rotación del eje de salida de la caja reductora de velocidad al eje central de la caja de piñones.

El acoplamiento motor (figura 8 b) definido como un embrague por fricción, transmite la rotación del eje de salida del motor al eje de entrada de la caja reductora.

La caja de piñones (figura 8 e) reparte el movimiento a los tres cilindros, es decir que divide el par motor. Los piñones de forma doble helicoidal se disponen uno sobre otro alineados verticalmente en igual forma que los cilindros de laminación.

Las alargaderas (figura 8 f) cuya unión es del tipo palma, transmiten rotación de cada eje de la caja de

piñones a los respectivos cilindros, permitiendo un cierto ángulo de desplazamiento entre el eje del piñon y el eje del cilindro.

La caja trío de cilindro (figura 8 g) esta compuesta por elementos con ciertas variaciones que dependen del tipo de laminador. Estos elementos son:

El castillete o bastidor cerrado por la parte superior, es la estructura principal sobre la cual descansan los cilindros de laminación y los diferentes mecanismos, además es el encargado de absorver la presión del metal sobre los cilindros.

Los cilindros de laminación, con diseño de seis pases en secuencia ovalo-redondo para producir varilla redonda de 10 mm. de diámetro a partir de una barra cuadrada de 25 mm. de lado, van apoyados sobre cojinetes de madera bálsamo fijados en las ampuestas de hierro fundido.

Para la refrigeración de los cilindros de laminación, como de los cojinetes de madera, se utiliza agua.

Mecanismo de regulación y ajuste del cilindro superior, de accionamiento manual con calibrador rotatorio.

Mecanismo de ajuste central, con plaquitas de regulación.

Mecanismo de regulación y ajuste del cilindro inferior, de tipo manual con desplazamiento horizontal de cuñas de regulación accionadas por husillos de rosca izquierda y derecha.

Sistema de guías de entrada y salida con sus respectivos soportes.

3.2 SELECCION DE PARTES DEL MOLINO Y CALCULOS

La construcción del equipo experimental necesario para investigar y desarrollar el proceso de laminación representa un trabajo de gran magnitud, no solo por su extensión, sino también por su complejidad ya que incluye investigación, diseño, constucción, montaje, pruebas y optimización. Por lo tanto, se estimó conveniente dividirlo en partes que se desarrollen como trabajos individuales, que por el grado de ingeniería en ellos alcanzado merezcan ser presentados como proyectos para tesis de grado.

Es importante entonces señalar que si bien este

trabajo de tesis se refiere al diseño y construcción de una parte del equipo, en ningún momento se pierde de vista los trabajos que enfocan las partes complementarias del mismo y que funcionan como contraparte, con los cuales existe una dependencia mutua.

A continuación se realiza el análisis de cada uno de los elementos seleccionados, tomando los datos de los trabajos de contraparte como base par los cálculos.

3.2.1 IDENTIFICACION DE LOS PARAMETROS BASICOS.

Para el cálculo y diseño de los sistemas inherentes a las partes seleccionadas para este trabajo existe una limitación en los parámetros básicos que son derivados del diseño de los cilindros de laminación, de las caracteristicas operacionales del proceso y de las caracteristicas de funcionamiento del motor.

Estos parámetros, que para el presente caso con datos iniciales, están calculados y definidos en el trabajo de tesis titulado "Consideraciones Metalúrgicas para la Construcción de Cilindros de Laminación" y que

actúa como contraparte del presente trabajo.

Así se tiene que:

- La potencia necesaria para lograr la deformación del material es 405 CV, y que sera proporcionada por el motor marca MWM cuya velocidad de rotación en el eje de salida es 1800 rpm.

- La carga máxima necesaria para deformar la barra y darle la forma deseada, se produce en el primer pase, y su valor es 6.976,11 kg.

- La velocidad de rotación de los cilindros para el proceso de laminación, debe ser 250 rpm. y está calculada en función del diámetro de los cilindros y el tiempo de cada pasada.

- Las dimensiones principales de los cilindros de laminación se muestran en la figura 9, las cuales son importantes para el cálculo y dimensionamiento del castillete, caja de piñones y alargaderas.

- La selección de las dimensiones del cilindro, se realiza teniendo en cuenta el ángulo de

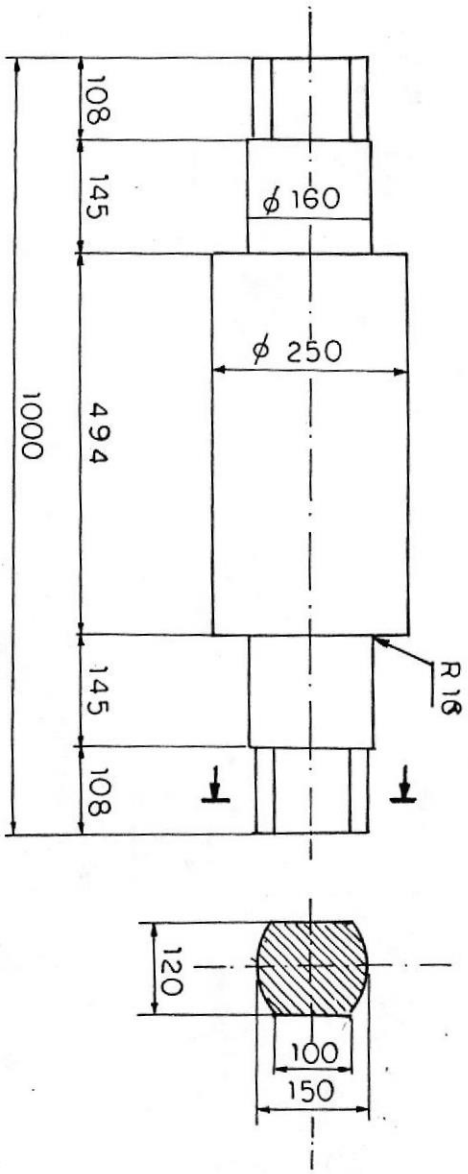


FIG. 9: Dimensiones principales de los cilindros de laminación

laminación admisible y la resistencia de los cilindros a la flexión.

3.2.2 CASTILLETE

Para el diseño del castillete es necesario tener en cuenta que ésta es la estructura que alojará los elementos ejecutantes (cilindros) así como los mecanismos de ajuste, regulación y guíado, de manera que debe absorver la presión que ejerce el metal al ser deformado por los cilindros.

Hay dos tipos de Castilletes: a) cerrado por arriba, y b) abierto por arriba con una tapa desmontable. (figura 10). Se seleccionó para el presente proyecto el castillete cerrado por arriba, ya que forma una estructura sólida que es mas rígida y de menor costo.

En base a las dimensiones de los cilindros se determina primeramente la dimensión de la ventana. La altura se dimensiona dependiendo del desplazamiento vertical requerido por los cilindros durante el proceso de laminación.

Para los castilletes cerrados por la parte

superior, lo ususal es que el ancho de la ventana se construya un poco mayor que el diámetro de los cilindros, esto para facilidad del montaje al realizar mantenimiento, reparacióon o cambio de cilindros.

Sin embargo, se decidió en este caso que el ancho de la ventana fuese menor que el diámetro de la tabla de los cilindros, lo cual si bien complica un poco el montaje de los mismos en el castillete, se reduce el ancho de los postes, de manera que tanto las ampuestas como los cojinetes y cuñas de regulación son de menor tamaño y peso, lo que implica menor costo de materiales y de menor tiempo de fabricación, ambos factores importantes en todo proyecto.

Un primer dimencionamiento de la sección transversal de los verticales y travesaño del poste castillete, se efectúa considerando que la fuerza sobre el cuello del cilindro y en los castilletes con idénticas y la resistencia del cuello es aproximadamente proporcional al cuadrado del diámetro del cuello. De manera que la sección transversal del poste se determina por la relación:

$$A = 0.4 \times d^2 \qquad (3.1)$$

donde:

d = diámetro del cuello del cilindro [mm].

La estructura se construye con planchas de acero SAE 1010 de 25 mm de espesor soldadas entre sí (figura 11), formando una sección cuadrada hueca en los postes (figura 12).

Tanto la estructura del Castillete como la de cada poste son simétricos con respecto a una línea de ejes, se estructuró de esta manera para facilitaren algo los cálculos y posteriormente su fabricación.

Los soportes de cada poste y del conjunto castillete, se construyeron de plancha de acero con los respectivos agujeros para la colocación de los pernos de anclaje. Este detalle es importante en el diseño del castillete ya que por acción de las fuerzas de despegue y los momentos de inclinación sobre los mismos, de manera que dichas placas deben ser capaces de soportarlos.

Los postes se unen por medio de sus placas soportes a la placa principal y se solidarizan entre ambos, por medio de tubos guarda distancia.

Los factores que intervienen decisivamente en el cálculo estructural del castillete son:

- Dimensiones generales de los cilindros laminadores.
- Valor de la carga máxima en el proceso.
- Punto de aplicación de la carga máxima.
- Potencia y velocidad de operación.
- Propiedades mecánicas del acero SAE 1010

El criterio a utilizarse en el cálculo conlleva a delinear un camino presentado de la siguiente forma:

- Análisis del momento de inclinación de las cajas.
- Determinar las fuerzas que actuán sobre los soportes.
- Establecer el Comportamiento y la resistencia de la estructura a los esfuerzos verticales.
- Cálculos de deformación de la estructura.

Bajo este contexto, en el apéndice A se muestra la secuencia de los cálculos.

3.2.3 SISTEMA DE GUIAS DE ENTRADA Y SALIDA

La función principal de las guías es dirigir el metal en la entrega y en la salida de los cilindros, se construyen de plancha de acero cortada y soldada de manera que tengan la forma de un ducto que interiormente se puede definir como una pirámide hueca truncada (figura 13).

Las guías se colocan sobre un travesaño soporte (barrón) que se acopla en los postes por medio de una corredera. Dos aspectos importantes a considerar son: la fijación firme en el soporte y la ubicación correcta ajustada en relación con las pasadas.

Una estimación del esfuerzo aproximado sobre el soporte, se determina en base a las condiciones de flexión plástica de la pieza.

El concepto que se usa en el análisis de los soportes es que la resistencia del mismo se cálcula para los esfuerzos que se producen si

se rompe la pieza.

En cuanto a la guías de entrada y salida, más que el cálculo de la resistencia interesa definir la forma de las mismas, para presentar la menor resistencia posible al flujo del material.

3.2.4 DISPOSITIVOS DE AJUSTE Y ACCIONAMIENTO

Los dispositivos de ajuste y accionamiento son los encargados de posicionar los cilindros de laminación del castillete, de manera que gobiernan el desplazamiento vertical de los mismos.

En general estos dispositivos tienen dos propósitos básicos que son:

1. Ajuste de la distancia entre cilindros para laminación de secciones dadas y reducciones determinadas.

2. El ajuste de la posición de los cilindros en relación con el nivel del camino de rodillos, y en los laminadores contínuos, el

ajuste en relación con los cilindros de otras cajas.

Los mecanismos de ajuste y accionamiento dependen en gran forma del tipo del laminador y la disposición de los cilindros. Para el caso del presente proyecto se necesitan tres posiciones de ajuste:

1) superior 2) inferior 3) central

Los mecanismos de ajuste del cilindro superior dependen de la velocidad, de la elevación y también del número de ajustes por hora.

Existen dos clases de accionamiento: el de tipo manual y el de tipo semiautomático.

En el diseño del equipo experimental de laminación se recurre al uso de accionamientos de tipo manual.

Para el cilindro superior el accionamiento a utilizar, está básicamente definido por el giro de un perno calibrador (husillo vertical) sobre una tuerca fija a la estructura, sus elementos actuantes son: tornillo calibrador, tuerca de

calibración, resorte helicoidal, ampuesta superior, cojinete y varilla soporte cilindro (figura 14).

Para el caso del cilindro inferior el accionamiento vertical se logra por medio del desplazamiento de dos cuñas laterales una de rosca izquierda y otra de rosca derecha, con cuyos movimientos de acercamiento o alejamiento se consigue los movimientos de ascenso y decenso del cilindro. El movimiento de las cuñas está gobernado por el giro del perno regulador (husillo horizontal). Sus elementos actuantes son: la cuña de regulación, ampuesta inferior, cojinetes de madera, perno de regulación y acople perno regulador (figura 15)

Para el caso del cilindro central cuyo posicionamiento con respecto al castillete es siempre el mismo, se requieren plaquitas de ajuste mas bien para suplir el desgaste del cojinete de madera bálsamo.

Para efecto de cálculo, el diámetro del husillo se determina por el esfuerzo máximo posible sobre el cuello del cilindro, sin tener en cuenta el pandeo del husillo debido a la

pequeña relación de longitud a diámetro.

En la tabla III, se muestran los diámetros y pasos de los husillos de empuje de trenes de laminación.

Con respecto al diámetro exterior de la tuerca, esta se selecciona tomando en cuenta que la presión específica en la zona final en contacto con el castillete no debe pasar de 600 Kg/cm. (figura 16).

Con respecto a las cuñas y a las ampuestas, el análisis de fuerzas y la evaluación de las expresiones matemáticas de cálculo se muestran en el apénice A.

En cuanto a los cojinetes de los cilindros, la característica principal de su trabajo, está dada por la carga específica muy elevada, que es varias veces mayor que la admisible en los cojinetes normales para uso general.

Esto se debe al tamaño limitado de los cojinetes y, a las grandes tensiones admisibles en los cuellos de longitud relativamente corta.

TABLA III

Diámetros y pasos de los husillos de empuje de trenes de laminación

Diámetro del husillo de empuje	Paso de la rosca 5 (mm)		
	Primera serie Fino	Primera serie Normal	Primera serie Grande
60	3	8	
70	4	10	
80	4	10	
90	5	12	
100	5	12	
110	5	12	
120	6	16	
140	6	16	
160	8	16	20
180	8	20	24
200	10	20	24
220	10	20	24
250	10	24	32
280	10	24	32
300	10	24	40
320	10	24	40
340	10	24	40
360	10	24	48
380	10	24	48
400	10	24	48
420	10	24	48
450	10	24	48
480	12	24	48
500	12		
530	12		
560	12		
600	16		
630	16		
670	16		

Los cálculos efectuados relacionan las expresiones matemáticas para determinar el valor de presión específica máxima, con la tensión admisible en el cuello del cilindro.

Dentro de los cojinetes de tipo abierto existen dos clases:

- Con inserciones metálicas.
- Con revestimientos no metálicos.

En la tabla IV se muestran las propiedaes básicas de los materiales para cojinetes del tipo abierto.

Para el presente trabajo se seleccionó madera de bálsamo, que para un funcionamiento eficiente, necesita condiciones óptimas de lubricación y refrigeración con agua.

3.2.5 ALARGADERAS

Las alargaderas son las encargadas de transmitir el movimiento de giro desde la caja de piñones a los cilindros de laminación. Las alargaderas mas empleadas son de dos tipos: universales y de trébol.

TABLA IV

Propiedades básicas del Textolita, Lignofol, Lignoston y Bronce

Propiedad	Textolita		Lignofol			Lignoston	Bronce
	En capas	2B	Fragmento	Paralelo	Transversal		
Peso específico	1.3-1.4	1.35-1.40	1.25-1.45	1.35-1.45	1.35-1.45	1.2-1.25	8.8
Resistencia máxima a la compresión (kg/mm²)							
a lo largo de las fibras.....	13.0-13.5	> 11	> 19	15 - 20	13 - 15	10 - 12	45
transversalmente a las fibras .	23.0-24.5	> 10-13	> 10-13			6 - 7	45
Modulo de elasticidad (kg/mm²) ...	500 - 1100						10.000
Conductividad térmica kca/m h °C .	0.2 - 0.3						55
Resistencia térmica °C	140 - 150	125				300	700

Para el proyecto del molino experimental de lamionación se selecciona las de tipo universal, ya que permiten transmitir la rotación a los cilindros con ángulos considerables de hasta 10 grados, entre el eje de la alargadera y los ejes de los cilindros o ejes de los piñones. (figura 17).

La longitud de la alargadera se determina con la expresión:

$$L = h/tg$$

donde:

= Angulo de inclinación permitido.

h = Distancia máxima necesaria.

Para permitir la rectifiación de la tabla del cilindro, el diámetro de la articulacón de la alargadera en el extremo del cilindro, no debe ser mas de 0.8 a 0.95 del diámetro del cilindro.

El tipo de unión mas común en las alargaderas es el tipo palma (figura 18), cuyos elementos son:

- La palma interior,
- La palma exterior,

- Complemento de palma,
- Pasador de articulación,
- Bocín de articulación.

Para los cálculos de resistencia de las alargaderas, se utiliza las relaciones matemáticas resultantes del planteamiento de que la junta de palma recibe el esfuerzo del revestimiento, y se reparte aproximadamente en un triángulo (figura 19). Por lo tanto el esfuerzo resultante P se ubica sobre un brazo de la palma, de manera que en la sección transversal mas peligrosa I-I existirán esfuerzos de torsión y esfuerzos de flexión.

Con respecto a la horquilla de la junta, ésta recibe la presión del revestimiento sobre sus partes salientes.

El esfuerzo se reparte sobre un triángulo en la sección transversal A-A, perpendicular a la palma. (figura 20), por lo tanto la presión resultante estará situada a una distancia b1/3 del eje de la junta de la alargadera.

En el cálculo final, los esfuerzos en la sección I-I de la parte caliente de la

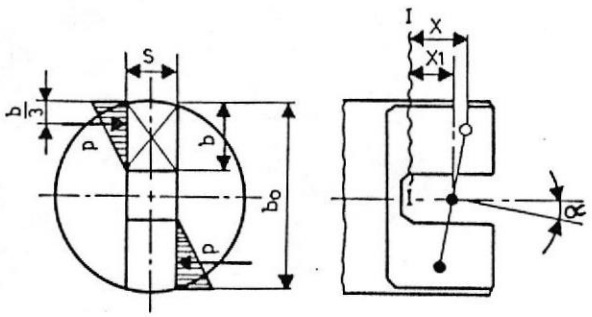


FIG. 19 : Distribución de la carga en la palma

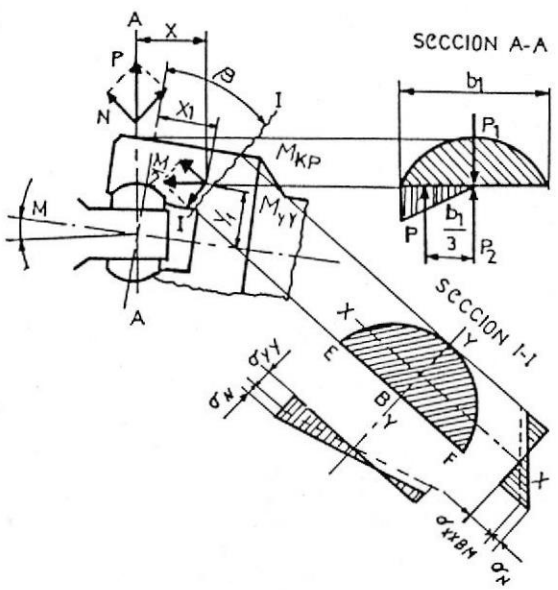


FIG. 20: Distribución de la carga en la horquilla

horquilla se determinarán por:

- El momento flector relacionado al eje de la sección transversal X - X.
- El esfuerzo de tracción.
- El momento flector relacionado a la sección transversal Y - Y.
- El par de torsión.

Los cálculos se muestran en el apéndice B.

3.2.6 CAJA DE PIÑONES

La caja de piñones es la encargada de dividir el para motor y suministrarlo a los cilindros de laminación. De igual forma que la caja de laminación, la caja de piñones también es trío, con los piñones alineados verticalmente. El piñon motor es el que está en el centro y su eje se acopla con el eje de la caja reductora.

Los parámetros de trabajo que recibe el piñon central son:

- Potencia: 405 Cv.
- Velocidad de rotación: 250 rpm.

Dentro de los cálculos a efectuar, un primer

aspecto de preocupación es determinar los efectos de inclinación de la caja de piñones por la acción del momento motor (figura 21), de manera que el primer paso es de conocer el momento de inclinación máxima para el cálculo de la fuerza A que trata de separar la caja de la simentación, y la fuerza B que ejerce presión sobre ella.

Así como el diámetro del cilindro es un indicador de la medida del castillete, el factor determinante es ahora el diámetro primitivo de los piñones. Las dimensiones normalizadas de los piñones se indicó en la tabla V.

Para determinar el diámetro primitivo de los piñones se consideró las condiciones de trabajo mas satisfactorias para las alargaderas por la variación de la distancia entre los ejes de los cilindros.

Los piñones seleccionados son de dientes doble helicoidales con ángulo de hélice de 30° aproximadamente.

Para aumentar la carga de rotura por flexión

TABLA V

PARAMETROS BASICOS DE LOS DIENTES DE LOS ENGRANAJES EN LAS CAJAS DE PIÑONES

Distancia entre ejes	Módulo Normal	Número de dientes	Módulo Normal	Número de dientes	Módulo Normal	Número de dientes
100	4	22	2	44		
125	5	22	2,5	44		
150	6	22	3	44	2	66
175	7	22	3	48	2	72
200	8	22	4	44	2,5	66
225	9	22	4	48	3	66
250	10	22	5	44	3	72
275	10	24	5	48	3,5	66
300	12	22	6	44	4	66
350	14	22	7	44	4	72
400	16	22	8	44	5	66
450	18	22	9	44	6	66
500	20	22	10	44	6	72
550	22	22	10	48	7	66
600	24	22	12	44	8	66
650	26	22	12	48	8	72
700	28	22	14	44	9	66
750	30	22	14	44	10	66
800	30	22	16	44	10	66
850	33	22	16	44	10	72
900	36	22	18	44	12	66
1.000	39	22	20	44	12	72
1.100	42	22	22	44		
1.200	45	22	24	44		
1.300	50	22	26	44		

bajo cargas pesadas, se eligió una combinación de móudulo alto y número de dientes bajo.

La resistencia de los dientes se cálcula considerando flexión transversal y desgaste.

Con respecto a la caja o estructura, la misma se diseña de manera que encierren completamente los mecanismos y provea un soporte robusto para los cojinetes. Se construirá de plancha de acero SAE 1010, dividida en tres secciones horizontales las cuales se acoplan con pernos. Estará provista de mirilla para nivel de aceite, de cavidades para suministro y drenaje del aceite.

Con respecto a los cojinetes se prefiere los de rodillos autoalineantes cuyas dimensiones se obtiene de los catálogos dependiendo de la carga del sistema.

El material para los piñones es Bronce al Aluminio, y su lubricación se efectúa con aceite de viscocidad elevada y por el método de salpicado.

Los cálculos de los diversos elementos se

presentan en el apéndice C.

3.2.7 CAJA REDUCTORA

Debido a las carácterísticas de operación del motor disponible para el proyecto, esto es:

- Potencia: 405 Cv.
- Velocidad de rotación: 1800 rpm

Y a las condiciones de funcionamiento para los cilindros en la caja de laminación:

- Velocidad de rotación: 250 rpm

Es necesario la implementación de una Caja reductora de velocidades, cuya relación de reducción (i) se determina con la expresión:

$$i = \frac{N}{n}$$

donde:

N = número de revoluciones entrada; 1800 rpm

n = número de revoluciones salida; 250 rpm

Reemplazado se tiene:

$$i = 7.2$$

Puesto que el valor de la reducción es elevado para realizarlo en un solo paso, se sugiere el uso de dos escalones: con lo cual las dimensiones de los engranes serán menores.

Debido a que en este trabajo de tesis no se incluye la construcción del reductor de velocidades. El cálculo anterior es solo una referencia que corresponde analisar y desarrolar en el correspondiente trabajo de diseño y construcción que funciona como contraparte de este.

3.3 PROCESO DE CONSTRUCCION

En consideración a la identificación de necesidades basada en el análisis de la demanda insatisfecha de productos laminados descritos anteriormente, se planifica la fabricación de las partes del molino.

Puesto que este equipo experimental forma parte del

programa de construcción de equipos para Metalurgia en el marco del Proyecto BID-ESPOL II, el mismo cuenta con el financiamiento respectivo. En base al criterio de desarrollar tecnología propia, su construcción se efectúa integramente en centros de trabajo de la ESPOL, como son el taller de fundición y el taller mecánico, contando además con el laboratorio de Metalúrgica, el laboratorio de Mecánica de Sólidos y el laboratorio de Metrología, para realizar el control de calidad, tanto de las partes fundidas como de las partes mecanizadas.

Si bien para el proceso de fabricación se consideran cada una de sus partes como elementos individuales en el montaje de las mismas se converge a tres conjuntos que, formando parte del molino experimental de laminación, están perfectamente definidos y diferenciados. Estos son:

- La Caja de piñones que es la encargada de dividir el par motor (figura 22).
- La Caja de laminación (figura 22).
- Las alargaderas que transmiten el par y la velocidad de los piñones a los cilindros de laminación (figura 23).

Es por esto que es necesario organizar y coordinar de la mejor manera el proceso de fabricación, con el fin

de elevar la eficiencia del mismo enfocado a aspecto como:

- Menor costo, basado en una correcta selección de materiales,
- Menor tiempo; por la selección de los procesos adecuados,
- Calidad; en función de un control permanente en cada una de las etapas del mismo.

Para lograr los propósitos mencionados anteriormente, será importante establecer fases y estimar tiempos, lo cual conlleva presentar un esquema de organización de la siguiente manera:

- Planificación del proceso, fase en la cual se hace un enfoque global del proyecto para tener una idea clara del trabajo a desarrollar.

- Elaboración de planos y de codificación referida a la necesidad de que cada pieza tenga un plano especifico, con su respectiva identificación para la elaboración de las respecivas ordenes de trabajo.

- Materiales, para definir claramente la metodología cuanto a las consideraciones tecnicas para la subdivisión en: materia prima, material a mecanizarse y los accesorios mecánicos normalizados que se

utilizan directamente en el Montaje.

3.3.1 PLANIFICACION DEL PROCESO

En un enfoque general al proceso de fabricación se puede advertir que para la construcción de las piezas del equipo de laminación se enfrentarán tres situaciones diferentes, lo que implica variedad de procedimientos relacionados a cada situación, las mismas que se explican así:

- Piezas cuyo proceso de fabricación es bastante prolongado pues se cumple en un mayor número de fases, partiendo de la adquisición de la materia prima la cual es sometida a un proceso de fundición donde bajo parámetros y condiciones técnicas adecuadas sufre una transformación metalúrgica, adquiriendo propiedades físicas, metalúrgicas y mecánicas propias, luego de lo cual se somete al proceso de mecanización donde se logra la forma de la pieza con las dimensiones y el acabado final.

- Piezas que en realiadad son accesorios mecánicos normalizados, los cuales cumplen una

función específica en el ensamble de la máquina. Se utilizan directamente en el montaje sin que sobre ellos se realice proceso alguno de transformación; por lo tanto, la preocupación principal en esta situación es la correcta selección de las mismas de acuerdo al papel que desempeñan y a las condiciones y requerimientos de resistencias de diseño.

En relación al papel que desempeña el Control de Calidad, este se cumple al final del proceso de fundición donde se verifican las propiedades mecánicas y metalúrgicas, y se realiza en los laboratorios de Metalurgia y de Mecánica de Sólidos.

Luego se efectúa otra etapa de control de calidad al final del proceso de mecanizado, donde se verifican las dimensiones finales de las piezas incluyendo tolerancias y acabados de diseño. Este control se realiza en el Laboratorio de Metrología.

Con respecto a los accesorios mecánicos normalizados, se chequean las especificaciones del fabricante así como las dimensiones generales.

Para organizar el proceso de fabricación, determinar las operaciones que sobre cada pieza se deben efectuar y controlar el cumplimiento de cada una de ellas según lo planificado, se implementa la hoja de proceso donde se detalla la secuencia cronológica de las operaciones necesarias para la construcción de cada pieza. En esta hoja consta la identificación con código, descripción, material y cantidad; el tipo de operación, la maquinaria o equipo utilizado, las especificaciones o parámetros del proceso, un recuadro de avances y observaciones adicionales. En la figura 24 se presenta una hoja de proceso tipo, la cual es desarrollada y manejada por el responsable técnico del proyecto sirviendo como un instrumento para información y control por parte del Jefe de Taller, Ingenieros de Proyectos y del Director del Programa.

Para el caso de las piezas a mecanizarse y para el montaje de las partes del equipo experimental de laminación se utiliza la hoja de orden de trabajo del taller mecánico, en lo cual constan las especificaciones precisas que debe considerar el operario tanto para el transcurdo del mecanizado como para las

HOJA DE PROCESO Nº

PARTE :
CODIGO :

CODIGO	DESCRIPCION	MATER.	CANT.

#	PROCESO	MAQUINA	PARAMETR	AVANCE	OBSERVACION.

FIG. 24 : HOJA DE PROCESO

condiciones de acabado final. A esta hoja se adjunta el plano respectivo de la pieza. En la figura 25 se presenta una hoja de orden de trabajo tipo. Su importancia radica en el hecho de que al jefe de taller le sirve para controlar los trabajos en ejecución, así como para el control de tiempos de operación independientemente por proceso y/o por pieza por parte del supervisor.

De igual manera, como parte de la planificación es necesario determinar un área de almacenamiento de las piezas dentro de la bodega, así como las recomendaciones de mantenimiento de las mismas, esto es: limpieza y protección a la corrosión previo al control de calidad y montaje final.

3.3.2 ELABORACION DE PLANOS Y CODIFICACION

Una fase importante en el desarrollo del proyecto es la elaboración de planos, implementados de tal manera que puedan cubrir las necesidades que se presentan en el transcurso del proceso. Por lo tanto se ha estructurado tres tipos de planos orientados de



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

TALLER MECANICO

ORDEN DE TRABAJO Nº.....

OPERARIO: _____

FECHA DE ENTREGA: _____ HORA: _____

FECHA DE RECEPCION: _____ HORA: _____

DESCRIPCION DEL TRABAJO: _____

_____

_____

_____

_____

_____

MATERIAL: _____

OPERACIONES		INICIO	TERMINO	TOTAL

OBSERVACIONES: _____

_____

_____

_____

_____

_____

FIG. 25: HOJA DE ORDEN DE TRABAJO

la siguiente forma:

- Un plano general del conjunto presentado en forma A1, donde se visualiza el equipo a fabricarse donde constan perfectamente definidos los tres subconjuntos: caja de piñones, alargaderas y caja de laminación.

El objetivo de este plano es presentar un enfoque global que forme una idea de la magnitud del proyecto. Además en la planificación es el punto inicial a partir del cual se desglosa y organiza el proceso de fabricación.

- Planos individuales de cada subconjunto presentados en formatos A1 y A2, donde se identifican con la numeración respectiva cada una de las piezas. El objetivo principal de este tipo de planos es indicar el posicionamiento así como visualizar el proceso de ensamble de las piezas.

- Planos de cada pieza presentados en formato A4, donde se indica la forma y las dimensiones con especificaciones del material, tolerancias y acabados.

Este tipo de plano se utilizan exclusivamente para adjuntarse a las órdenes de trabajo en el taller mecánico con el fin de que el operario proceda a su mecanización.

Con respecto a la codificación de las partes, en todo proyecto de construcción de máquinas para un fin determinado como es el caso del presente trabajo, un factor importante para planificar y organizar el proceso de construcción y posteriormente cumplir dicha planificación es el identificar dentro del conjunto total cada una de las piezas así como lograr su inmediata asociación al subconjunto respectivo.

Para tal efecto se adopta un sistema numérico de cinco dígitos.

El primer dígito de izquierda a derecha se refiere al conjunto total, que para este caso corresponde al número asignado para este proyecto dentro del programa de construcción de equipos para Metalurgia en el marco del proyecto BID-ESPOL II.

Dentro de este programa, el molino experimental de laminación tiene asignado como número de proyecto el 6 (seis).

El segundo y tercer dígito de izquierda a derecha, utilizados para identificar los subconjuntos, de la siguiente manera:

01 - Caja de laminación

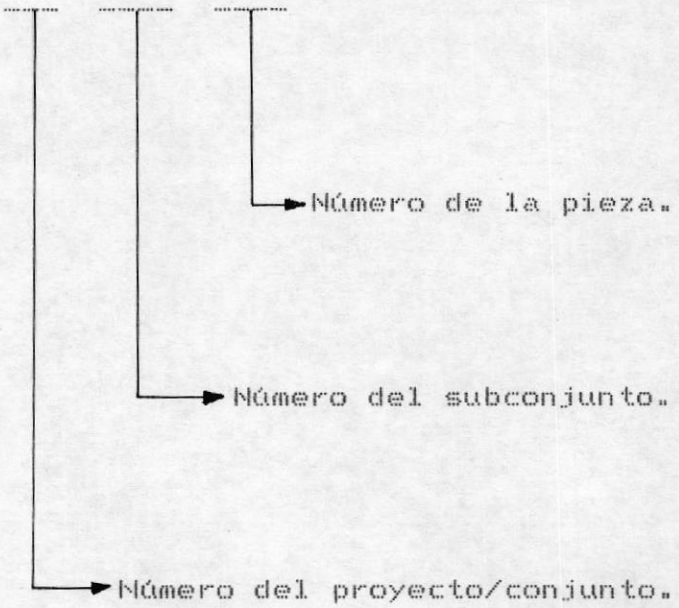
02 - Alargadera

03 - Caja de piñones

El cuarto y quinto dígito de izquierda a derecha, utilizados para identificar individualmente cada una de las piezas que forman parte del equipo.

Un esquema de esta codificación se presenta en la figura 34, la misma que aparece en todos los planos de partes, así como en las hojas de orden de trabajo y en las hojas de proceso.

C O D I G O: # . ## . ##



3.3.3 MATERIALES

El grado de confiabilidad del funcionamiento de una máquina está basado en el diseño en las partes y su proceso de fabricación, en la correcta selección de los materiales y en un adecuado proceso de montaje.

Además de lo expuesto anteriormente se puede resaltar la importancia de la relación de dependencia que existe entre el material utilizado y la construcción de cada pieza.

En el enfoque que se realiza a continuación

acerca del proceso de fabricación del equipo experimental, se señala los criterios utilizados y los pasos seguidos, mencionados como puntos relevantes los siguientes:

- Para la selección de los accesorios mecánicos normalizados intervienen tres factores importantes que son: las propiedades mecánicas requeridas de acuerdo a las condiciones de carga de trabajo que garanticen su funcionamiento eficiente, las cuales se determinan con los cálculos preliminares. Las consideraciones geométricas del conjunto, ya que estas se convierten en una limitante en cuanto a las dimensiones, de manera que obligan a la utilización de piezas pequeñas pero de materiales mas resistentes, este factor es determinante para lograr un adecuado montaje de los mismos.

La función que cada accesorio cumple dentro de las máquina, ya que un mismo accesorio puede utilizarse para distintos fines aunque su rendimiento de acuerdo al uso.

- Para el proceso de fundición, señalar el detalle de las normas seguidas y la metodología

utilizada para la obtención de materiales así como las propiedades mecánicas logradas.

- Para el proceso de mecanización de las piezas, mencionar las especificaciones de construcción, las tolerancias, los acabados superficiales y los ajustes e interferencias para el emsamble.

3.3.3.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS

De la subdivisión que se realiza del cálculo referido al proceso de construcción, la presente sección trata de los principales fundamentales de la toma de decisiones, de los medios analíticos necesarios, y de la teoría que a de emplearse para la selección y aplicación de los accesorios mecánicos normalizados.

Por lo tanto para la toma de decisiones, el primer paso es identificar los factores determinantes de las solicitancias tanto mecánicas como geométricas del diseño.

El siguiente paso es definir la función que cada accesorio cumple dentro de la máquina y las condiciones de trabajo a las que icho elemento estará sometido.

Si bien los factores mencionados anteriormente se definen en base a los cálculos y a las consideraciones efectuadas, existe un factor adicional que depende exclusivamente del fabricante y está directamente relacionado con las normas de estandarización.

Es por ello que una vez realizados los cálculos es necesario recurrir a los catálogos proporcionados por los fabricantes.

Estos catálogos especifican generalmente las normas en base a las cuales se efectuaron las pruebas y ensayos para determinar las propiedades mecánicas.

En los catálogos constan las

dimensiones principales las capacidades de carga, las designaciones, composiciones químicas, y en algunos casos dimensiones secundarias.

3.3.3.2 PROCESO DE FUNDICION

Como parte de la construcción del molino experimental de laminación, se presenta la necesidad de obtener el material por medio del proceso de fundición para algunas de sus piezas.

En adelante se efectúa un relato de los aspectos más importantes del proceso, como son: el equipo utilizado, las condiciones de fusión, colado, moldeo, características y propiedades deseadas, y normas.

Del conjunto de piezas que forman el equipo laminador las que se obtuvieron partiendo de la fundición del material son:

- Los engranes de la caja de piñones.
- Las ampuestas de sujeción de los

cilindros de laminación en los castilletes.

- Las cuñas de regulación del cilindro inferior en los castilletes.
- Los complementos de la unión palma en las alargaderas.

En referencia a los engranes de la caja de piñones, luego del análisis de las diversas alternativas para la selección del material, se descartó la posibilidad de usar acero de bajo carbono, ya que por el tamaño y masa considerables resulta complicado implementar el tratamiento térmico necesario para lograr las propiedades mecánicas requeridas.

También se descartó el uso de acero especiales elaborados por su elevado costo y por la dificultad de adquirilos localmente en las dimensiones de diámetro requerido.

El material seleccionado para la fabricación de los engranes de la caja de piñones es Bronce al Aluminio;

aleación Cu-Al 955 según norma ASTM B1418-52 con designación 9D, que cumple las especificaciones indicadas en las tablas VI y VII.

El procedimiento se realizó en las siguientes etapas:

a) Funsión del metal en el horno basculante con crisol de 100 Kg. de capacidad. La temperatura de funsión es de 1100°C. Un esquema del proceso se presenta en el diagrama de bloque de la figura 26.

b) Colado del material en molde de arena de sílice con Silicato de Sodio (figura 27).

Para las ampuestas de sujeción y para las cuñas de regulación de los cilindros en el castillete de laminación, se selecciona como material la fundición gris, que cumple con la norma ASTM 30, cuyas especificaciones se muestran en la tabla VIII.

TABLA VI

REQUERIMIENTOS QUIMICOS

Clasificación	Bronce Aluminio		
Aleación Cu Al	953	954	955
	Composición en %		
Cobre min	86.2	83.0	78.0
Aluminio	9.0 - 11.0	10-11.5	10 - 11.5
Hierro	0.75 - 1.5	3 - 5.0	3 - 5.0
Manganeso	....	0.5 max	3.5 max
Niquel	....	2.5 max	3 - 5
Total Elem min	99.0	99.5	99.5

TABLA VII

REQUERIMIENTOS MECANICOS

Fundición en Crudo de Colado

Aleaciones Cu-Al	953	954	955
Resist Tensión Ksi Kgf/mm²	65 (45,7)	75 (52,7)	90 (63,3)
Resist. Fuencia Ksi Kgf/mm²	25 (17,6)	30 (21,1)	40 (28,1)
Elongación en 2" (50,8 mm.)	20	12	6
Dureza HB (3000 kg)	110	150	190
	Con Tratamiento Térmico		
Resist Tensión Ksi Kgf/mm²	80 (56,2)	90 (63,3)	110 (77,3)
Resist. Fuencia Ksi Kgf/mm²	40 (28,1)	45 (31,6)	60 (42,2)
Elongación en 2" (50,8 mm.)	12	6	5
Dureza HB (3000 kg)	160	190	200

TABLA VIII

PROPIEDADES DE LA FUNDICION GRIS

Número ASTM	Resistencia a la Tensión KPSI	Resistencia a la Compresión KPSI	Modulo de Rutura al Cortante KPSI	Modulo de Elasticidad MPSI		Limite de fatiga KPSI	Duresa Brinell
				Tensión	Torsión		
20	22	83	20	14	5.6	10	156
25	26	97	32	14.8	6	11.5	174
30	37	109	40	16.4	6.6	14	201
35	36.5	124	48.5	17.2	6.9	15	212
40	42.5	140	57	20	7.8	18.5	235
50	52.5	164	73	22.8	8	21.5	262
60	62.5	187.5	88.5	23.5	8.5	24.5	302

El procedimiento se realizó en las siguientes etapas:

a) Fusión del metal en el cubilote de 400 kg/hora, y como materia prima se utiliza chatarra de hierro, caliza y coke. La temperatura de fusión es de 1600°C.

b) Colado del metal en molde de tierra de moldeo húmeda.

Para los complementos de la unión palma en las alargaderas se selecciona como material de aleación ZA 27, por su excelente combinación de bajo costo, elevadas resistencia mecánica y resistencia al desgaste.

Esta aleación cumple con la norma ASTM B 669-84, cuyas especificaciones se indican en las tablas IX y X.

El procedimiento se realizó en las siguientes etapas:

a) Fusión del metal en el horno con

TABLA IX

ALEACIONES ZA CON POSICION Y PROPIEDADES QUIMICAS

DESIGNACION		ZA - 8	ZA - 12	ZA - 27
Composición Quimicas	Al	8.8	11.5	28
	Cu	1.3	1.25	2.5
	Mg	0.03	0.03	0.02
	Fe	0.10	0.075	0.1
	Tb	0.004	0.004	0.004
	Cd	0.003	0.003	0.003
	Sn	0.002	0.002	0.002
	Zn	Resto	Resto	Resto
Propiedades Fisicas	Densidad Relativa	6.3	6.03	5
	Contracción %	1.1	1.25	1.25
	Rango de Temp. de Solidificación	404/375	432/377	375
	Expanción Térmica (mm/mm/°C)	23.2	24.1	26
	Conductividad Térmica (W/m/°C)	115	116	125.5

TABLA X

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES ZA

DESIGNACION	ZA - 8			ZA - 12			ZA - 27		
PROCESO DE FUNDICION	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Resist. última a la Tracción (MPa)	248 a 276	221 a 255	372	276 a 317	310 a 345	400	400 a 440	421 a 427	421
Resistencia a la Fluencia (MPa)	200	207	290	207	207	317	365	365	365
Resist. a la Compresión (MPa)	200	214	-	228	235	-	331	-	-
Alargamiento en 51 mm. (%)	1-2	1-2	6-10	1-3	1-3	4-7	3-6	1	1-3
Dureza Brinell * (Kg/mm^2)	60 a 90	85 a 90	95 a 110	90 a 105	90 a 105	95 a 115	110 a 120	110 a 120	105 a 125
Resistencia al Cortante (MPa)	-	241	-	255	-	-	290	-	-
Resistencia al Impacto ** (J)	20	-	214	25	-	145	48	-	-
Resistencia al la Fatiga *** (MPa)	-	51.8	-	103.5	-	-	172.5	-	-
Modulo de Young (Gpa)	85.5.	85.5.	-	83.0	83.0	-	75.2	75.2	-

1 En arena.
2 En molde metálico.
3 A Presión
* 500 Kg de carga.
** Probeta de Charpy 10mm, sin muesca.
*** Viga rotatoria 5 x 10 ciclos.

crisol de grafito de ocho puntos. La temperatura de fusión es 500°C.

b) Colado del metal en molde formado por un cilindro y una plancha de acero cubiertos con tierra de moldeo.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
BIBLIOT

3.3.3.3 ESPECIFICACIONES PARA MECANIZADO

Un elemento importante para el desarrollo normal del proceso de construcción de molino experimental de laminación es la hoja de proceso de cada pieza que como ya se ha indicado es una carta técnica donde constan las especificaciones para cada operación de mecanizado, y además establece la ruta de fabricación de cada una de ellas de acuerdo con la planificación previamente establecida.

Por lo tanto, en esta sección mas que describir el proceso de construcción de cada pieza, se trata de explicar con fundamentos técnicos el por qué de la selección de las especificaciones de

mecanización que constan en dichas hojas de proceso.

Dentro del proceso de conformado por arranque de viruta, un parámetro importante a considerarse es la herramienta de corte y mas concretamente el material de cuchilla de corte a utilizarse en las operaciones de las máquinas herramientas. La particularidad de estos materiales es que han de reunir simultáneamente una serie de propiedades muy variadas y a veces contradictorias. Fundamentalmente, han de tener una gran resistencia de desgaste, a la vez que una buena tenacidad, y estas propiedades deben mantenerse aún a elevadas temperaturas ya que en el corte de los metales existe siempre generación de calor. Como alternativas de materiales capaces de mantener estas propiedades se tiene: los aceros al carbono, los aceros aleados, los aceros rápidos y extrarrápidos, los carburos metálicos y algunos productos cerámicos.

Para la mayoría de las operaciones de mecanización desarrolladas en el proceso de fabricación del equipo experimental de laminación, salvo contadas excepciones, se decidió utilizar herramienta de corte de carburos metálicos (Widia), cuyas características se muestran en la tabla XI. Como factores determinantes para la selección, se tomó en cuenta que se trata de cuchillas que conservan su dureza hasta para trabajo de 600°C, y se prestan tanto para trabajo de desbaste con grandes secciones de viruta como también para trabajos de afinado y acabado para los cuales hacen falta grandes velocidades de corte.

Para las cuchillas de "Widia" existe una gama de alternativas que dependen de la operación. Es por ello que para lograr un proceso eficiente, se recurre a la información qur proporciona la tabla XII.

En la fabricación de los elementos

TABLA XI

CUCHILLA DE WIDIA
Para tornos mandrinadoras y acepilladoras

Material a Trabajar	Resistencia y dureza del material a trabajar	Marca WIDIA	ANGULOS a + 1	b	f	a + b
Acero	Hasta 50 kg/mm²	S1 - S2	6°	62°	22°	68°
	50 - 60 kg/mm²	S1 - S2	6°	65°	19°	71°
	60 - 70 kg/mm²	S1 - S2	5°	67°	18°	72°
	70 - 85 kg/mm²	S1 - S2	5°	71°	14°	76°
	85 - 110 kg/mm²	S1 - S2	5°	74°	11°	79°
	110 - 140 kg/mm²	S1 - S2	5°	77°	8°	82°
	140 - 180 kg/mm²	S1 - S2	5°	80°	5°	85°
Acero Moldeado	50 - 70 kg/mm²	S1 - S2	5°	75°	10°	80°
	70 - 100 kg/mm²	S1 - S2	5°	80°	5°	85°
Agua dura 12% Manganeso		S1 - S2	4°	82°	4°	86°
Acero Inoxidable	60 - 70 kg/mm²	S1 - S2	5°	73°	12°	78°
Fundición Gris	Dureza Brinell hasta 200	G1	5°	75°	10°	80°
Fundición Gris	Dureza Brinell de 200-400	H1	4°	77°	9°	81°
Fundición Endurecida	Dureza Shore 75 -90	H1	3°	85°	2°	88°
Hierro Maleable		H1	5°	78°	7°	83°
Bronce		G1	6°	69°	15°	75°
Bronce Fosforoso		G1	5°	77°	8°	82°
Cobre		G1	6°	58°	26°	64°
Latón		G1	6°	70°	14°	76°
Aleación de Aluminio	Blandas	G1	6°	70°	14°	76°
Aleación de Aluminio	Duras	G1	6°	74°	10°	80°
Duraluminio		G1	6°	70°	14°	76°

TABLA XII

TIPOS DE CUCHILLAS DE WIDIA Y APLICACIONES

	MARCA WIDIA	EMPLEO
Para toda clase de aceros	S 1 (antes XX)	Trabajo a altas velocidades de corte con avances hasta de 1 mm por vuelta.
	S 2 (antes X8)	Trabajo a medianas velocidades de corte con avances hasta de 2 mm por vuelta, especialmente al emplear herramientas WIDIA en máquinas-herramientas más antiguas, asi como al efectuar cortes interrumpidos o al trabajar a profundidades de corte variables. Las velocidades de corte son, aproximadamente, un 40% inferiores a las empleadas con la calidad S 1.- La calidad S 2 es especialmente apropiada para el fresado de aceros y acero moldeado.
	S 3 (antes S-58)	Trabajo a bajas y medianas velocidades de corte con avances hasta de 3 mm por vuelta, especialmente para casos de profundidades de corte muy variables o para cortes interrumpidos. Las velocidades de corte son, aproximadamente, un 60% inferiores a las empleadas con la calidad S 1.- La calidad S 3 es especialmente apropiada para el cepillado de acero y acero moldeado.
	F 1 (antes S-246)	Para el acabado finisimo del torneado y taladro de acero; es decir, para trabajar con secciones de viruta muy reducidas y a altas velocidades de corte.

TABLA XII (Continuación)

TIPOS DE CUCHILLAS DE WIDIA Y APLICACIONES

Para otros materiales	G 1 (antes N)	Para trabajar hierro fundido hasta 200 Brinell, cobre, aleaciones de cobre, latón, metales ligeros, resinas sintéticas y materiales paresidos. Para proveer de WIDIA los puntos de tornos, calibres y otras herramientas de medición, asi como piezas de máquinas expuestas a un desgaste fuerte.
	G 2 (antes G)	Para trabajar maderas artificiales y maderas duras, materiales fibrosos, resinas sintéticas prensadas,asi como para herramientas perforantes a golpe.
	G 3 (antes NK)	Para trabajar carbón de electrodos.
	H 1 (antes H)	Para trabajar fundición endurecida en coquilla, hierro fundido de más de 200 Brinell, hierro fundido con partes muy duras en la capa, fundición maleable, vidrio, piedras porcelana, papel duro y metales ligeros aleados con Si.
	H 2 (antes H-167)	Fundición endurecida en coquilla de más de 100 Shore. Para el acabado finisimo del torneado y taladrado de fundición gris de más de 200 Brinell.

mecánicos de una máquina, es importante considerar las condiciones de intercambiabilidad en el conjunto mecánico al cual pertenecen.

Dentro de todo proceso de mecanización existen factores que determinan la intercambiabilidad y definen la calidad del elemento maquinado, estas son:

- Tolerancias: juego e interferencias.
- Grado de acabado.
- Rugosidad.

Por lo tanto, más que describir paso por paso el proceso de fabricación de las piezas del equipo experimental de laminación, se procede a señalar los criterios empleados para determinar los factores antes mencionados.

Para la asignación de tolerancias se utiliza el sistema ISA (International Standard Association), el mismo que asigna valores de tolerancias para medidas comprendidas antre 1 y 500mm. Estos valores se determinan por la fórmula:

$$I = 0.45 \sqrt[3]{D} + [0.001 \times D]$$

donde:

I : unidad de tolerancia, [u]

D ; diámetro, [mm.]

Para determinar el grado de acabado el sistema de órganos ISA considera 16 "calidades de acadado" representada por IT 1, IT 2,.....IT 16. Los grados de precisión están divididos en los siguientes grupos:

- entre 1 y 5 en la construcción de calibres e instrumentos de medida.
- entre 5 y 12 para los acoplamientos mecánicos normales.
- entre 12 y 16 para elementos fundidos o piezas aisladas que no requieran acoplamiento.

Para determinar la amplitud de la tolerancia, se emplean los datos de la tabla XIII, que relaciona el grado de acabado con cada grupo de dimensiones.

TABLA XIII

Amplitud de las tolerancias en función a las dimensiones de la pieza

Grupos de medidas mm	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
de 1:3	1,5	2	3	4	5	7	9	14	25	40	60	90	140	250	400	600
más de 3:6	1,5	2	3	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
" " 6:10	1,5	2	3	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
" " 10:18	1,5	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
" " 18:30	1,5	2	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
" " 30:50	2	3	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
" " 50:80	2	3	5	8	13	19	30	46	75	120	190	300	460	740	1200	1900
" " 80:120	3	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
" " 120:180	4	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
" " 180:250	5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
" " 250:315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
" " 315:400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
" " 400:500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

Un elemento de acople que satisfaga las condiciones de intercambiabilidad está sometida a condiciones de rozamiento, deslizamiento y desgate, por lo tanto es necesario establecer el grado de pulimentación de la superficie.

El criterio utilizado para la selección del valor de rugosidad es el que sugiere el sistema ISA dependiendo de las aplicaciones, el cual se muestra en la tabla XIV.

En el transcurso del proceso de mecanización para lograr los valores previamente seleccionados para las distintas piezas del molino experimental de laminación se utilizaron instrumentos de control de precisión, como es el caso del palpador de carátula (figura 28), cuya precisión es de 0.01 mm.

TABLA XIV
VALORES DE RUGOSIDAD (Selección)

R. (micron)	APLICACIONES
0.0025	Planos de apoyo. Mármoles. Galgas patrón.
0,05	Caras de calibres del taller. Planos y apoyos comparadores.
0,1	Caras de calibres de cursor. Pernos de articulación. Herramientas de precisión. Cojinetes super acabados. Acoplamientos estancos a alta presión en movimiento alternativo. Superficies acopladas en movimiento alternativo, de retensión de líquidos bajo presión. Superficies pulidas de retención sin guarnición.
0,2	Soportes cigueñales y arbol de levas. Bulón de viela. Cuerpo de válvula. Superficies levas. Mandrinado cilindricos bombas hidraúlicas. Cojinetes lapidados. Gorrones turbinas. Acoplamientos estancos movidos a mano. Guías mesas máquina herramientas. Quicios para altas velocidades. Gorrones ejes rotores de turbinas. Reductores etc.
0,4	Ejes acanalados. Cojinetes ejes motores. Diámetro exterior pistones. Diámetros cilindricos. Gorrones de máquinas eléctricas grandes. Acoplamientos ala prensa. Asientos válvulas. Superficies de retención de obturadores de válvulas, válvulas de compuesta, etc. Gorrones de cigüeñales y soportes de ejes. Gorrones de cigüeñales y soportes de ejes. Cojinetes de metal blando. Superficies de partes delizantes, con patines y sus guías.
0,8	Tambores de frenos. Agujeros brochados. Cojinetes de bronce. Partes de precisión. Dientes de engranajes. Cojinetes rectificados. Superficie de retención de bridas sin guarnición. Gorrones de árboles acodados y soportes

TABLA XIV (Continuación)

	de ejes. Cojinetes de metal blanco. Superficies de partes deslizantes, como patines y sus guías.
1,6	Caras especiales de engranajes. Ejes y agujeros de engranajes. Culatas cilindros. Cajas de fundición para engranajes. Caras de los pistones, Superficie de retención de bridas con guarnición metálica.
3	Gorrones y cojinetas para transmisiones a mano. Superficie de acoplamiento de partes fijas desmontables (bridas de acoplamiento, etc.).
6	Superficie de retensión de bridas, con guarnición corriente.

C A P I T U L O IV

CONTROL DE CALIDAD

4.1 PIEZAS DE FUNDICION

Como ya se indicó en la sección (3.3.3.2), para la fabricación de ciertas piezas del equipo experimental de laminación, es necesario obtener el material por medio del proceso de fundición. Estas piezas son:

- Engranes de la caja de piñones: de bronce al aluminio.
- Ampuestas de sujeción de los cilindros: de fundición gris.
- Cuñas de regulación del cilindro inferior: de funcición gris.
- Complementos de la unión palma: de aleación ZA 27.

Para determinar si las propiedades obtenidas en los materiales se ajustan a las necesidades del diseño, con lo cual se garantice un funcionamiento eficiente, y puesto que las partes del equipo experimental están

sometidos a ezfuerzos elevados, debido a las cargas generadas por la deformación del metal entre los cilindros y a condiciones de contacto, deslizamiento e interferencia es necesario realizar el control de calidad respectivo.

El control de calidad del material fundido se limita a las características de dureza y a las de resistencia, mediante ensayos de durOmetría y tracción, realizados en los laboratorios de Metalúrgia y de Mecánica de Sólidos respectivamente.

Para realizar estos ensayos se obtuvieron simultáneamente al proceso de fundición de cada material, muestras para la fabricación de probetas.

MATERIAL: Bronce al Alumino

- Prueba: Durometría
  Probeta: Placa plana de 10mm de espesor.
  Equipo : Durómetro Brinell con una carga de 3000Kg. y bola de acero de 10 mm. (norma ASTM)
  Resultado: Valores de tabla XV.

- Prueba: Ensayo de tracción

Probeta: Probeta de tracción (norma ASTM-E8), figuras 29.

Equipo: VARSATESTER

Parámetros: Velocidad de ensayo = 5mm/min.

Temperatura de ensayo = Ambiente

Norma: ASTM

Resultado: Valores en tabla XVI.

MATERIAL: Fundición gris

- Prueba: Durometría

Probeta: PLaca plana 25 mm. de espesor.

Equipo: Durómetro Brinell con una carga de 3000 Kg. y bola de acero de 10mm (NORMA ASTM)

Resultado: Valores en la tabla XV.

- Prueba: Ensayo: de tracción

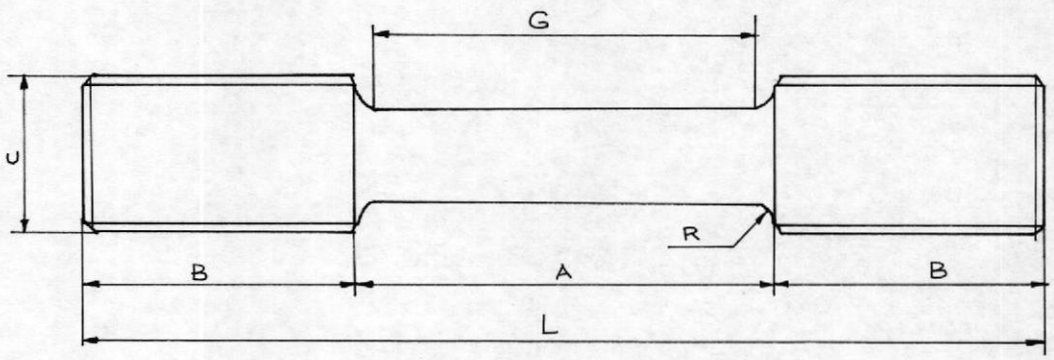
Probeta: Probeta de tracción (NORMA ASTM-F8)

Equipo: VERSATESTER

Parámetros: Velocidad de ensayo = 5 mm./min.

Resultado: Valores en la tabla XVI.

MATERIAL: Aleación ZA-27



G -	Longitud de prueba	50 ± 0.10 mm.
D -	Diámetro	12.5 ± 0.25 mm.
R -	Radio de curvatura	10 mm.
A -	Longitud de la sección reducida	50 mm.
L -	Longitud total aproximada	125 mm.
C -	Diámetro de la sección	20 mm.
B -	Longitud final de la sección	35 mm.

FIG. 29: Probeta para ensayo de tracción.

- Prueba: Durometría

  Probeta: Placa plana de 27mm. espesor

  Equipo: Durómetro Brinell, carga aplicada 500Kg., diámetro de la esfera 10 mm. NORMA ASTM E10-27

  Resultado: Valores en tabla XV.

- Prueba: Ensayo de tracción

  Probeta: Probeta de tracción. NORMA ASTM

  Equipo: VERSATESTER

  Resultado: Valores de tabla XVI.

4.2 MATERIALES SELECCIONADOS

Mencionada anteriormente la importancia de la selección de los materiales para la fabricación de la piezas de una máquina, tenemos que para el molino experimental de laminación además de los materiales fundidos que se analizaron en la sección anterior, es necesario adquirir directamente del comercio materiales encasillados dentro de estos dos grupos.

- Materiales elaborados: los cuales son el producto de un proceso de conformación y que tienen propiedades mecánicas definidas de manera que pasan directamente al proceso de maquinado.

TABLA XV

DUROMETRIA BRONCE AL ALUMINO

NUMERO PRUEBA	MATERIAL	DUREZA HB
1	Bronce al Aluminio	177
2	Bronce al Aluminio	183
1	Fundición Gris	174
2	Fundición Gris	176
1	Aleación ZA 27	125
2	Aleación ZA 27	122

TABLA XVI

RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCION

Probeta N°	Material	Diámetro de la muestra mm	Sección de la Probeta mm²	Longitud inicial mm	Longitud final mm	Límite de fluencia kg/mm²	Resistencia a la tracción	Alargamiento %
1	Bronce al Aluminio	12.60	126.77	50.8	58.00	27.00	57.70	14.10
2	Bronce al Aluminio	12.75	127.08	50.9	56.90	29.00	57.80	12.00
1	Fundición Gris	8.77	60.41	30.00	33.02	20.40	52.50	0.00
2	Fundición Gris	8.90	62.21	30.00	33.24	23.50	46.30	0.80
1	Aleación ZA 27	8.87	61.79	51.00	32.00	36.50	40.00	6.00

Estas propiedades son garantizadas por los fabricantes, y para el desarrollo de este proyecto se decidió que en especial para las barras cilíndricas, barras cuadradas y platinas se utilicen los aceros ASSAB SKF de procedencia sueca, ya que su calidad es garantizada.

Si bien sobre este tipo de materiales no se ejerce ningún control de calidad de laboratorio, una apreciación de la calidad del mismo se realiza en el mecanizado; definida por características como: tipo de viruta, tipo de chispa, comportamiento ante la acción de la cuchilla, coloración, etc.

- Accesorios mecánicos normalizados; son elementos que al igual que el caso anterior son seleccionados de acuerdo a las necesidades del diseño, por lo cual sus propiedades mecánicas y la garantía de una vida útil prolongada está dada por los fabricantes. Sin embargo sobre ellos si se efectúa un control de las dimensiones, tolerancias y acabados superficiales previamente al montaje, de la manera que no entorpezcan el mismo, este proceso se efectúa en el laboratorio de metrología y los instrumentos que se utilizaron son: calibrador vernier, regla de precisión, calibrador de diámetros interiores tipo

compás, calibrador telescópico y micrómetro.

4.3 SOLDADURA

Dentro de los distintos métodos de ensayos no destructivos para efectuar el control de calidad de las uniones soldadas, el más utilizado por sus características favorables tanto para la inspección como por los resultados que arroja, es el ultrasonido, con la técnica de rayo angular.

El procedimiento para este ensayo es:

Selecciona la frecuencia entre valores de 1 ,2.5 o 5 mHz. dependiendo del material y del tipo de discontinuidad esperado. En uniones soldadas se pueden tener porosidades, fisuras, falla de fusión, falla de penetración y escoria.

Para el ensayo se utiliza la cuña angular para dar solamente ondas transversas, cuyo camino de onda se muestra en la figura 30. Una vez conocida la distancia de paso se determina el área sobre la cual se deberá mover el transductor para inspeccionar la soldadura (figura 31).

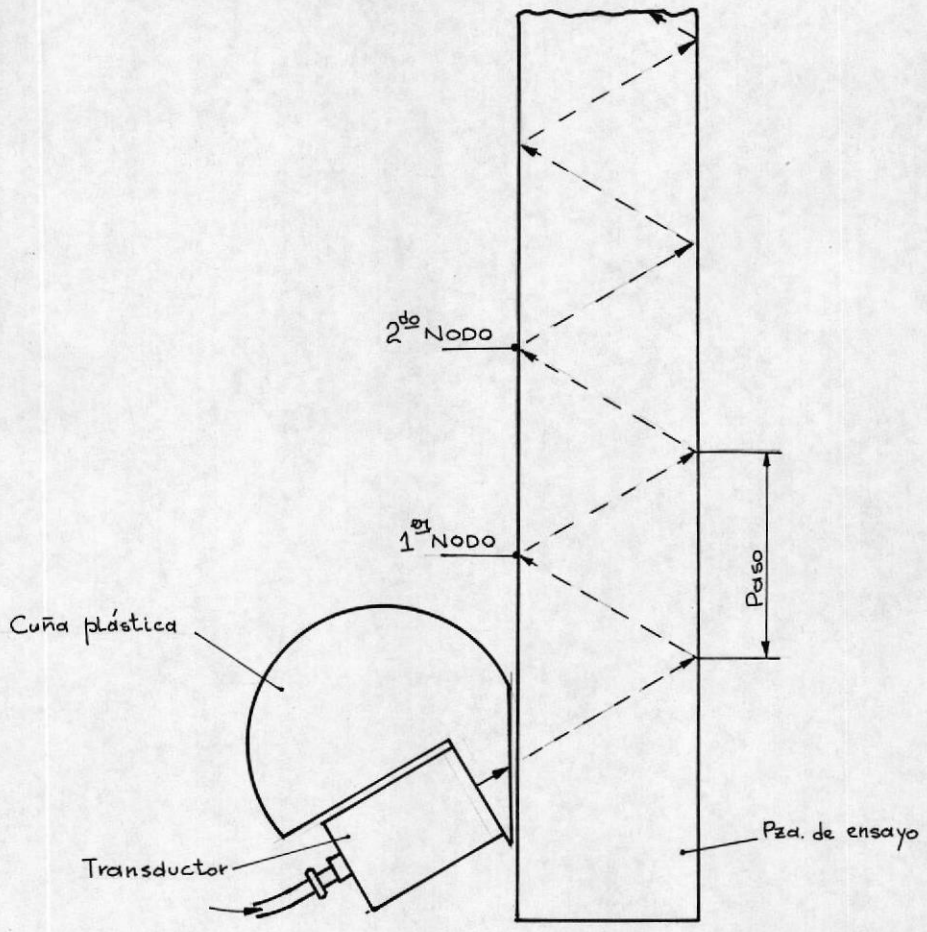


FIG.30: Nodos resultantes del ensayo de rayo angular.

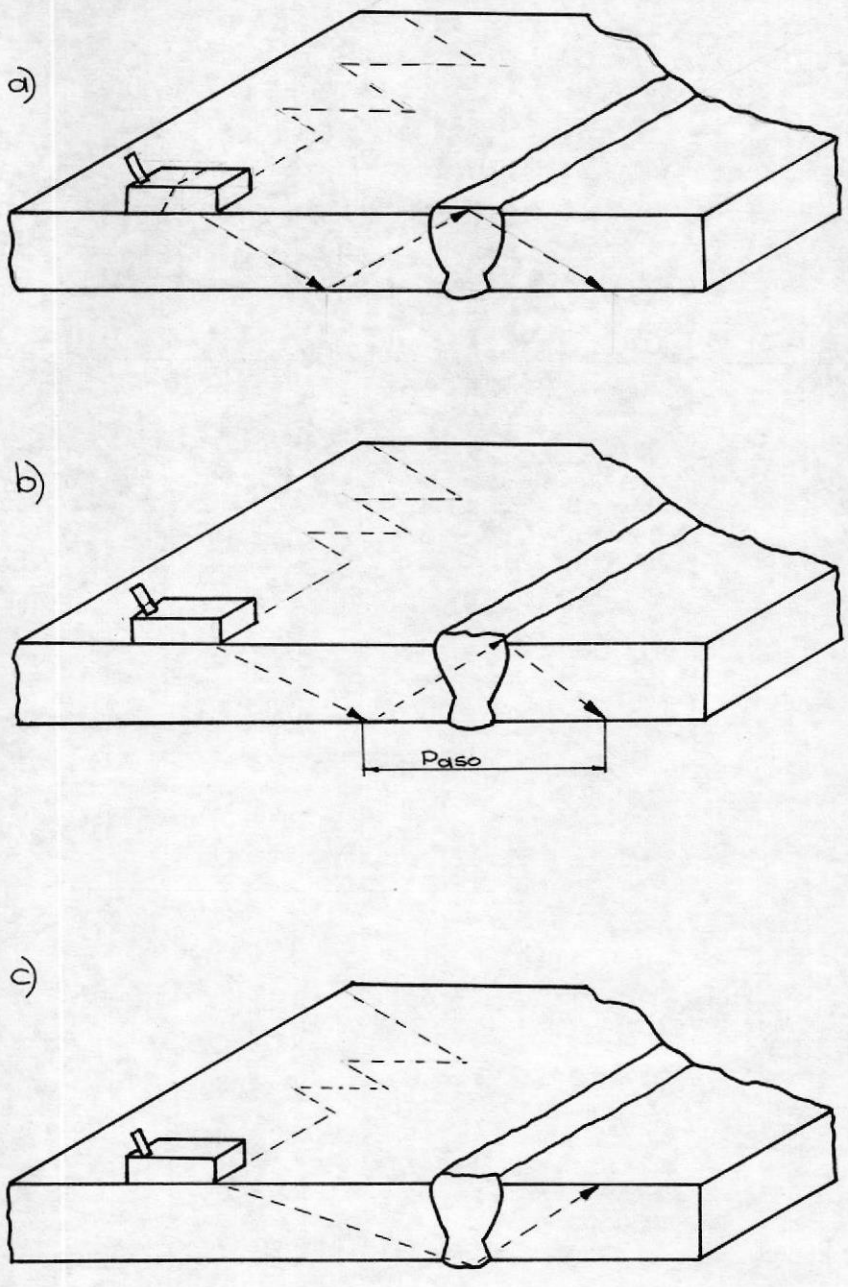


FIG. 31: Procedimiento de tanteo.

En la figura 32 se muestra indicaciones típicas de la unión soldada, donde la soldadura misma aparece en la pantalla del CRT, debido a las diferencias estructurales en el metal base y la zona de funsión.

Las discontinuidades en las juntas de la soldadura, así como fisura y falta de fusión, generalmente se extienden a lo largo de la junta y dan señales especialmente claras cuando el rayo llega a la junta en ángulos rectos. Una vez detectada la discontinuidad se determina su localización. Esto se hace acertadamente con el uso de accesorios, se proporciona: la distancia desde el transductor del defecto, la profundidad del transducto del defecto.

El tipo de discontinuidad en la soldadura puede ser determinado con una interpretación adecuada de la señal en la pantalla.

Fisura y falla de fusión producirán una indicación aguda cuando el rayo llega en ángulos rectos.

Porosidades en forma esférica producen un eco pequeño aunque el rayo llegue en ángulo a la junta de soldadura.

Las metas de escoria producen una indicación

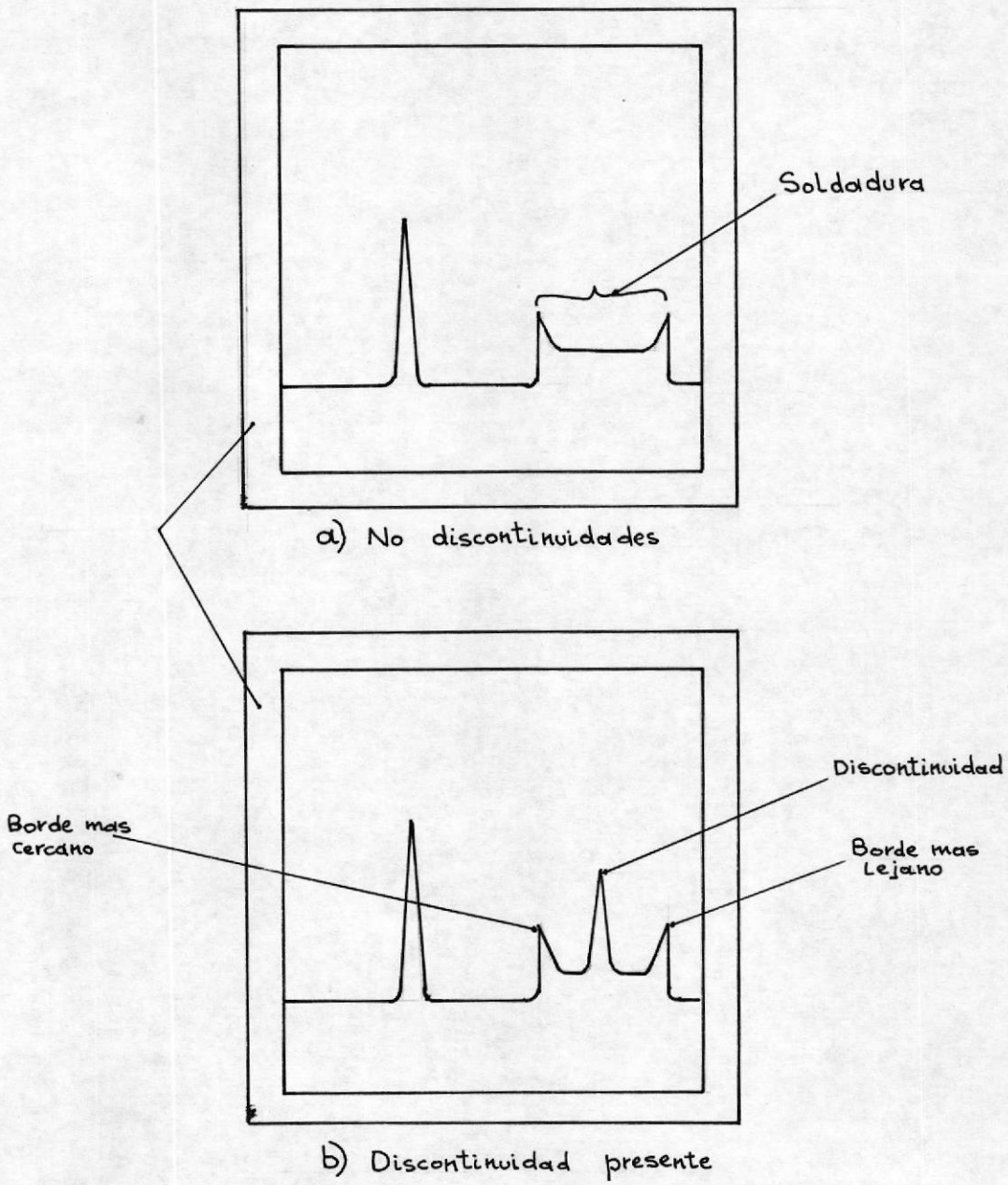


FIG.32: Indicaciones típicas de soldadura.

espaciada que es máxima a ángulos rectos del cordón.

4.4 AJUSTES Y TOLERANCIAS

Una vez concluído el proceso de mecanización de todas las piezas del molino experimental de laminación y previamente al ensamble, es necesario realizar el control de calidad de cada una de ellas. El objetivo es determinar si las dimensiones reales de las piezas se ajustan a las solicitadas en los respectivos planos, chequeando además condiciones de acabado superficial.

El área designada para este control es el Laboratorio de Metrología, y los instrumentos de medición más utilizados fueron:

- Micrómetro graduado en centésimas de milímetro, y utilizado para comprobar diámetros exteriores como es el caso del eje de la caja de piñones.

- Calibre especial para chequear las medidas de los dientes del engrane, como es el caso del dentado helicoidal de los engranes de la caja de piñones.

- Escuadra-transportador UNIVERSAL para medición de

ángulos, como es el caso de las cuñas de regulación.

- Calibrador de carátula para la medición de ángulos, como es el caso de la comprobación del paso del tornillo de rosca trapezoidal, o las dimensiones de los chaveteros.

- Micrómetro telescópico para el chequeo de diámetro interiores.

Una reseña fotográfica de los trabajos ejecutados como control de calidad de las piezas mecanizadas, se muestran el las figuras 33, 34, 35.

C A P I T U L O V

PRUEBAS

Luego del proceso normal de control de calidad en que se comprueba que todas las formas y dimensiones de las piezas cumplen con las especificaciones del diseño, es necesario antes de montajes final, realizar pruebas de subensamble de cada sistema, donde se determinan condiciones de ajuste, holguras, acoples, interferencias y funcionamiento general.

Para realizar este proceso se sigue el siguiente orden:

- Caja de piñones: transmisión y estructura
- Alargaderas: unión tipo palma
- Castilletes: accionamiento, guiado, estructura

La primera prueba es el montaje de los engranes en los ejes. Puesto que en cada eje se acoplan dos engranes con dentado helicoidal, es necesario verificar el perfecto enfrentamiento de las caras laterales, el ajuste interno y el acople de las chavetas. Luego se procede al montaje

de los rodamientos y anillos elástico de sujesión lateral (figura 36).

Posteriormente se prueba la estructura, incluyendo la transmisión. Aquí es necesario comprobar alineamiento, sellado y encaje entre engranes. Se aprovecha además para realizar una prueba de lubricación interna del sistema y filtración en las uniones soldadas (figura 37).

La estructura de la caja de piñones esta formada por cuatro cajas horizontales que se acoplan con pernos, por lo cual es necesario aplicar sellante entre sus uniones.

En el montaje de las alargadera, primero se verifica el deslizamiento del complemento en cada palma, se verifica concentracidad, paralelismo, grado de ajuste e interferencia para lo cual se utiliza azul de prusia para marcar las caras y determinar rayaduras (figura 38).

Para las pruebas del castillere se arranca con el sistema de calibración del cilindro inferior se verifica el tipo de acople entre el cojinete, ampuesta y cuña de regulación (figura 39). Se accionan los pernos de regulación y se comprueba el desplazamiento opuesto de las cuñas.

En el sistema de calibración del cilindro superior se

C A P I T U L O VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Una vez terminado el proceso de construcción de parte del equipo experimental de laminación y en una revisión del mismo, se pueden establecer las siguientes observaciones:

En los engranajes de bronce al Aluminio es donde se realiza el proceso más completo, ya que incluye diseño, selección de material, fundición y mecanizado.

Si bien en las pruebas efectuadas no se puede incluir el funcionamiento del equipo, debido a que el motor destinado para proporcionar la potencia necesaria no fué habilitado, lo realizado sirvió para visualizar problemas de ensamble y permitió efectuar los correctivos pertinentes.

De los problemas suscitados muchos se solucionaron con trabajo adicional de mecanizado, pero otros que mas bien se relacionan con la concepción del diseño, quedan planteados como inquietud para trabajos futuros de tesis

1. Las alargaderas están sobredimensionadas en su longitud, se pueden acortar de manera que aún logrando ángulos considerables de desalineamiento, los efectos de torsión y flexión se minimicen.

2. La ventana en el castillete está subdimensionada, esto dificulta el montaje de los cilindros.

3. El cordón de soldadura en la superficie del castillete donde se desplazan las ampuestas originan estancamiento, sería conveniente rectificar estas caras para permitir un mejor deslizamiento de las ampuestas.

4. Los acoples palma externos no tienen graseros para lubricar la unión, por lo cual esta se hace en forma manual y en el momento en que la máquina esta parada, lo cual no garantiza una buena lubricación.

5. Tiempo de vida restringido para los cojinetes de madera bálsamo esto se puede evitar con un sistema perfecto de refrigeración con agua.

RECOMENDACIONES

1. Incentivar la construcción de las partes complementarias del equipo experimental de laminación, esto es: caja reductora de velocidad, sistema de refrigeración de los cilindros, horno de calentamiento, etc.

2. Implementar mejoras al diseño actual de la máquina.

3. Aplicación de este equipo en clases experimentales para investigar el proceso de laminación.

4. Agotar, recursos para que se financie la reparación del motor que sirve para poner en funcionamiento el equipo.

A P E N D I C E S

A P E N D I C E A

CALCULO DEL CASTILLETE

Para el dimensionamiento de la ventana del poste en el castillete se toman como base las dimensiones de los cilindros y las elevaciones requeridas.

La estructura se diseña con plancha soldada formando una sección transversal cuadrada hueca en el poste ( ).

La sección transversal del poste esta dada por:

$$A = 0.5\ d^2 \qquad (a.1)$$

donde:

A = área de la cara tranversal del poste, mm.

d = diámetro del cuello del cilindro, 145 mm.

Evaluando en (a.1) se tiene:

$$A = 10.512.5 \text{ mm}^2$$

El espesor de pared de la sección cuadrada hueca se determina por:

$$l = l^2 - A \qquad (a.2)$$

$$e = (l - l)/2 \qquad (a.3)$$

donde:

= lado interior de sección transversal hueca, mm.

= lado exterior de sección transversal hueca, 130mm.

= espesor de pared de sección cuadrada hueca, mm.

Evaluando en (a.2) y (a.3) se tiene:

$$e = 25\text{mm} \quad \text{para el poste}$$

La placa inferior esta sometida a flexión causada por la reacción en el cuello del cilindro por la carga máxima, la cual se produce en el primer paso.

El momento flector para una placa rectangular esta dada por:

$$Mmax = 0.119\ Po\ a^2 \qquad (a.4)$$

donde:

Mmax = momento flector máximo, Lb in

Po = carga por unidad de longitud, 1298 lb/in

a = ancho de la placa, 5.12 in

Evaluando en la Ecuación (a.4) se tiene:

$$Mmax = 4049.12 \text{ Lb in}$$

El esfuerzo por flexión está dada por:

$$\sigma max = Mmax\ c/I \qquad (a.5)$$

donde:

σMax = esfuerzo normal por flexión max, Lb/in^2

c = distancia del eje neutro a la superficie de la placa, in

I = momento de inercia de la sección transversal de la placa, in

Para la placa c = e/2, evaluando en (a.5) se tiene:

$$\sigma max = 4745/e^2 \text{ Lb in}^2$$

Aplicando fatiga por esfuerzos fluctuantes

$$Se = Sy/2 \qquad (a.6)$$

Se escogió como material un acero SAE1010, con una resistencia Sy = 2600 Lb/in²

Evaluando en (a.6) se tiene:

$$Se = 13000 \text{ lb/in}^2$$

Los factores de modificación son:

Ka = 1

Kb = 0.85 (flexión, torsión)

Kc = 1 (confiabilidad 50%)

Kd = 1 (no hay efectos por temp.)

Kc = 1 (no hay concentración esfuersos)

Kg = 1 (no hay efectos diversos)

$$S'e = 11050 \text{ Lb/in}^2$$

Por tratarse de esfuerzos fluctuantes, se tiene:

$$\sigma a = \sigma max/2 = 2372.5/e^2 \text{ Lb/in}^2$$

Relacionando el esfuerzo con la resistencia a la fluencia

$$\sigma a = Sé/n \qquad (a.6)$$

Asumiendo N=4 (factor de seguridad) se tiene:

$$11050/4 = 2372,5/e^2$$

de donde se obtiene que:

e = 0.9263 in ---> (23.52 mm) para el tranvesaño

Tanto para postes como para travesaño, se utiliza plancha de acero de 25 mm.

Los postes en el castillere están formados por planchas soldadas constituídas en una estructura.

Las juntas soldadas estan sometidas a la flexión; por lo tanto las formulas a emplearse son:

$$Iu = d^2/6\ (3b + d) \qquad (a.7)$$

$$I = 0.707\ h\ Iu \qquad (a.8)$$

$$\sigma = Mc/I \qquad (a.9)$$

donde:

Iu : es el momento de inercia unitario, in^4

I : es el momento de inercia total, in^4

b : es el lado menor del rectangulo, 5.1181 in

d : lado mayor del rectángulo, 19.618 in

h : garganta de soldadura, 02 in

De manera que evaluando en las ecuaciones (a.7) a (a.8) se tiene:

Ka = 0.65 (de la figura 44)

Kc = 1

Kd = 0.44

Para los electrodos 6013 la resistencia a la fluencia Sy = 50000 lb/in² entonces:

Sé = 0.5 Sy = 25000 Lb/in²

Se = 7.150 Lb/in

Graficando estos valores en un diagrama de fatiga (figura 45), se tiene.

Sa = 7.600 Lb/in

Con lo cual se observa que la resistencia Sa es mayor que el esfuerzo en los cordones.

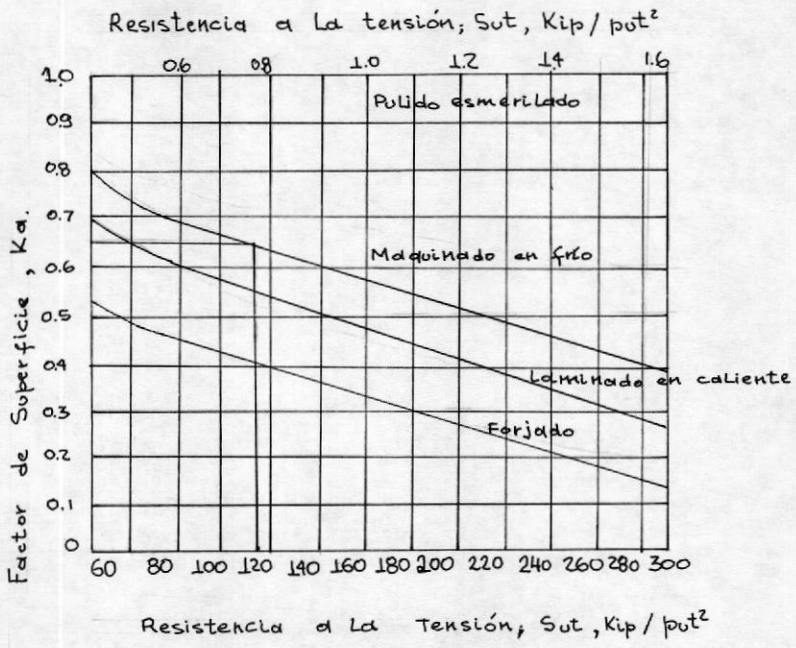


FIG. 44 : Factores de modificación. Ka.

A P E N D I C E B

CALCULO DE LOS DISPOSITIVOS DE AJUSTE Y ACCIONAMIENTO

a) HUSILLOS CALIBRADORES.-

Para el accionamiento de los cilindros en el castillete se adoptó un sistema manual de regulación por medio de tornillos de fuerza.

Para iniciar el cálculo se recurre a la tabla III donde consta los valores de diámetro y pasos de los husillos de empuje relacionados con el diámetro de los cilindros.

El diámetro del husillo se determina por el esfuerzo máximo posible sobre el cuello del cilindro sin tener en cuenta el pandeo, lo cual se define con la relación.

$$d_1 = \sqrt{4P/\pi\ Rd} \qquad (b.1)$$

donde:

d_1 = diámetro interior de la rosca, cm.

P = carga máxima admisible en el cuello del cilindro, Kg.

Rd = tensión admisible del material, Kg/cm²

El valor de la carga max. en el cuello se obtine del diseño de los cilindros y su valor es 5806 kg. El material seleccionado es Acero ASSAB 705 cuyo valor de tensión admisible es Rd=1200 Kg/cm². Evaluando en la formula (b.1) se tiene:

$$d_1 = 3.59 \text{ cm} \quad (36 \text{ mm})$$

De la tabla III, se determina: el paso, p = 14 mm; la profundidad diente 7 mm, diámetro ext de 50mm.

Para el material seleccionado el coeficiente de fricción = 0.08

El diámetro medio se calcula por:

$$dm = (de + di)/2 \qquad (b.2)$$

reemplazando valores en (b.2) se tiene.

$$dm = 43 \text{ mm}$$

Para determinar el avance se utiliza la formula

$$l = np \qquad (b.3)$$

donde:

l = avance, mm

n = tipo de rosca

p = paso, mm

Se diseñó la rosca del doble hilo, evaluando en la formula (b.3 se tiene:

$$l = 28mm$$

Para determinar el momento torsor requerido para girar el perno contra la cara de la ampuesta se utiliza la formula:

$$T = F\ dm\ (1 + \pi\mu dm/\pi\ dm - \mu l)/2 + F\ \mu c\ \ dc/2 \qquad ((b.4)$$

donde:

T = momento torsor de giro de calibradores, Kg. m.

dm = diámetro medio, mm.

$\mu c = \mu$ = coeficiente de fricción.

l = 11 avance, mm.

Remplanzando estos valores en la ecuación b.4 se tiene:

$$T = 20.45 \ \text{Kg. m.}$$

Para el cálculo de la eficiencia se emplea la formula

$$e = Fl / 2\pi T \qquad (b.5)$$

donde:

e = eficiencia total

F = fuerza máxima, kg.

l = avance, mm

T = momento torsor, kg. m.

Evaluando en la ecuación (b.5) se tiene:

$$e = 0.63$$

b) RESORTES.-

Para el cálculo de la fuerza axial que actúa sobre el resorte del sistema de accionamiento y regulación del cilindro superior se recurre al diagrama que se muestra en la figura 45. La misma que relaciona el peso con las fuerzas de reacción en los extremos del resorte.

Para el cálculo del peso se presentan las siguientes

relaciones:

$$V_1 = \pi D_1^2 L / 4 \qquad (b.6)$$

$$V_2 = \pi D_2^2 L / 4 \qquad (b.7)$$

$$V = V_1 + 2V_2 \qquad (b.8)$$

$$W = V \rho \qquad (b.9)$$

donde:

D_1 = diámetro exterior, mm.

D_2 = diámetro interior, mm.

V_1 = volumén exterior, m^3.

V_2 = volumén interior, m^3.

W = peso total, kg.

ρ = densidad, kg/m^3

reemplazando los valores en las ecuaciones (b.6), (b.7), (b.8) y (b.9) se obtiene el valor para el peso:

$$W = 270 \text{ kg.}$$

De las sumas de fuerzas de la figura 45 se tiene que:

$$\Sigma F = 0$$

$$4F = W$$

$$F = W/4 \qquad (b.10)$$

donde:

W = es el peso, kg.

reemplazando los valores en la ecuación (b.10) se obtiene:

$$F = 148.84 \text{ Lb. } (67.5 \text{ Kg.})$$

Para el cálculo de los resortes o muelles del sistema de sujeción del cilindro, se parte de los siguientes datos:

Diámetro exterior del resorte, D = 22 mm.

Diámetro del alambre, d = 4 mm.

El alambre es de acero estirado duro, por lo tanto de la tabla # XVII obtenemos los valores de m = 0.192, a = 136

Para el cálculo de la resistencia a la tensión se utiliza la siguiente ecuación:

$$Sut = A/d^m \qquad (b.11)$$

donde:

S_{ut} = es la resistencia para tracción, Kpsi

d = diámetro del alambre, mm.

reemplazando en la ecuación (b.11) se tiene que:

$$S_t = 193.94 \text{ Kpsi}$$

Tenemos que:

$Sy = 0.75 \; S_{ut} = 0.75 \; (193.94) = 145.456$ Kpsi

$Ssy = 0.577 \; Sy \; / \; 0.577 \; (83.923) = 83.928$ Kpsi

$C = D/d = 0.8661/0.15748 = 5.4997$

$Ks = 1 + 0.5/c = 1 + 0.5/5.4997 = 1.0909$

Para determinar el valor de Fmax se utiliza la siguiente ecuación:

$$Fmax = Ssy \; \pi \; d^3 / 8 \; Ks \; D \qquad (b.12)$$

donde:

Ssy = 83.928 Lb/in.

d = 0.15748 in.

Ks = 1.0909

D = 0.8661

reemplazando estos valores en la ecuación (b.12)

tenemos que:

$$Fmax = 136.23 \text{ Lb.}$$

Puesto que Fmax > F ; este resorte es adecuado.

Nt = 8 espiras

Ambos extremos serrados y aplanados; $N_D = 2$

$N = Nt - N_D = 8 - 2 = 6$

Para el cálculo de la constante del resorte se emplea la siguiente fórmula:

$$K = d^4 \, G / 8 \, D^3 \, N \qquad \text{(b.13)}$$

donde:

d = 0.19685

G = 11.5 x 10

N = 6

D = 0.9055

Evaluando estos datos en la fórmula (b.13) tenemos que:

$$K = 484.05 \text{ Lb/in.}$$

Para el cálculo de la deflexión se utiliza la siguiente formula.

$$Y = F / K \qquad (b.14)$$

donde:

F = 410

K = 484.56

reemplazando estos valores en la formula se tiene que:

$$Y = 0.8461 \text{ in.}$$

Para el cálculo de Lf se utiliza la siguiente formula:

$$Lf = Y + h \qquad (b.15)$$

donde:

Y = 0.8461

H = 1.5748

reemplazando en la ecuación (b.15) se tiene que:

$$Lf = 2.42 \text{ in.} \quad (60 \text{ mm.})$$

Con las relaciones Y/Lf = 0.197 y Lf = 2.49 se ingresa a la figura 44 y se determina que no hay pandeo.

A P E N D I C E C

CALCULO DE LAS ALARGADERA

A) PALMA.-

Para el cálculo de lan tensiones en la unión tipo palma o junta de palma que recibe el esfuerzo en el revestimiento, el cual se reparte aproximadamente en un triángulo como se muestra en la figura 19. Por lo tanto, el esfuerzo resultante P sobre un brazo de la palma estará desviado del centro en la sección transversal.

El primer valor a calcular es el momento transmitido por la alargadera a los cilindros el cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$M = Rs / 2 \qquad (c.1)$$

donde:

Rs = es el momento máximo en el cuello del cilindro. y su valor es 1163781.8

reemplazando en la fórmula (c.1) se tiene que:

$$M = 581890.9 \text{ Kg. mm.}$$

Para este caso el valor de la fuerza P es:

$$P = M / (bo - 2/3\ b) \qquad (c.2)$$

donde:

M = 581890.9 Kg. mm.

bo = 160 mm.

b = 68,565

reemplazando en (c.2) se tiene:

$$P = 5090,9 \text{ Kg.}$$

Para calcular los momentos transmitidos se utiliza la fórmula:

$$Mf = P\ x \qquad (c.3)$$

donde:

P = 5090.9 Kg. mm.

x = 43 mm.

reemplazando estos valores en la fórmula (c.3) se tiene:

$$Mf = 218908.7 \text{ Kg mm}$$

$$Mtor = 5817626 \text{ Kg mm}$$

Para el cálculo de la tensión ordinaria a la fórmula:

$$\sigma = 6 Mfex / bs^2 \qquad (c.4)$$

donde

Mflex = 218908.7

b = 68.565

s = 45.71

reemplazando estos valores en la fórmula (c.4) se tiene:

$$\sigma = 9,1683 \text{ Kg./ mm}^2$$

La tensión unitaria por torsión está dada por la fórmula:

$$Z = Mtor / n\ s^3 \qquad (c.5)$$

donde:

s = es el espesor de la sección de la palma 45.71

n = es el coeficiente para el cálculo de resistencia de la torsión 0.346.

reemplazando estos valores en la fórmula (c.5) se tiene:

$$Z = 1{,}76 \text{ Kg } /mm^2$$

Puede verse que el momento total M transmitido por las alargaderas, tiene como componentes:

$$M = M \cos = 581093.44 \text{ Kg mm}$$

$$M = M \text{ sen} = 30453.81 \text{ Kg mm}$$

b) HORQUILLA.—

De la figura 14 se puede distinguir el esfuerzo de tracción N la cual se define por la fórmula:

$$N = P \text{ sen}(3 + 45) \qquad (c.6)$$

donde:

P = 5455.22

$\alpha = 3°$

$\beta = 6.2°$

reemplazando estos valores en la fórmula (c.6) se tiene que:

$$N = 4054 \text{ Kg mm}^2$$

Por el momento de flexión con relación a los ejes de la sección transversal y-y.:

$$M_{y-y} = M/2 \text{ Sen } 48° \qquad (c.7)$$

reemplazando valores se obtiene:

$$M_{y-y} = 216214,61$$

Para el cálculo del esfuerzo se aplica la fórmula:

$$\sigma_{xx} = M_{xx} / W_{xx} \ldots\ldots\ldots (c.8)$$

donde:

$M_{xx} = 2898126,66$

$W_{xx} = 104897,2$

reemplazando en la fórmula (c.8) se tiene que:

$$\sigma_{xx} = 2.75 \text{ Kg / mm}^2$$

***

Para calcular σ_N se utiliza la fórmula:

$$\sigma_N = N/F \qquad (c.9)$$

donde:

σ_N = es el esfuerzo de tracción, Kg/mm²

N = es la fuerza, 4054 Kg

F = es el área de la sección transversal, 4.417 mm²

reemplazando la fórmula (c.9) se tiene:

$$\sigma_N = 0.91 \text{ Kg/mm}^2$$

Para calcular σ_{yy} se utiliza la fórmula:

$$\sigma_{yy} = M_{yy} / W_{yy} \ldots\ldots\ldots (c.10)$$

donde:

σ_{yy} = es el esfuerzo de flexión, Kg/mm²

M_{yy} = 216214,61 Kg

W_{yy} = 163921,49 mm²

reemplazando estos valores en la fórmula (c.10) se obtiene:

$$\sigma_{yy} = 1.319 \text{ Kg/mm}^2$$

Para calcular τ_B se utiliza la fórmula:

$$\tau_B = M \text{ tors} / W \text{ torsB} \qquad (c.11)$$

donde:

τ_B = Es el esfuerzo torsional, Kg/mm²

M tors = 1946800,51 Kg mm

W torsB = r /2,86 (h/r) (c.12)

donde:

r = 80 mm

h = 75 mm

reemplazando esta fórmula (c.12):

W torsB = 149232,33 mm

reemplazando estos valores en la fórmula (c.11) se tiene:

$$\tau_B = 1.3 \text{ Kg/mm}^2$$

Para obtener los esfuerzos calculados se utilizan las

siguientes fórmulas:

$$\sigma_{calc\ (punto\ B)} = \sqrt{(\sigma_{xx\ int} + \sigma_N)^2 + 3\tau^2_{torsB)}} \qquad (c.13)$$

donde:

$\sigma_{xx\ int} = 2.75$

$\sigma_N = 0.91$

$\tau_{torsB)} = 1.2$

reemplazando estos valores en la fórmula (c.13) se obtiene:

$$\sigma_{calc\ (punto\ B)} = 4.2971\ Kg/mm^2$$

$$\sigma_{calc\ (punto\ E\ ó\ F)} = \sigma_{xx\ int} + \sigma_{yy} + \sigma_N \qquad (c.14)$$

donde:

$\sigma_{xx\ int} = 1.319$

$\sigma_{yy} = 2.75$

$\sigma_N = 0.91$

reemplazando estos valores en la fórmula (c.14) se obtiene:

$$\sigma_{calc\ (punto\ E\ ó\ F)} = 4.979\ Kg/mm^2$$

$$\sigma_{calc} = 35\ M/D\ (D/D-d)^{1.25}\ K \qquad (c.15)$$

donde:

M = es el momento, 5818909 Kg.cm

d = diámetro del agujero de la junta, 90 cm

D = diámetro de la cabeza de la junta, 160 cm

reemplazando estos valores en la fórmula (c.15) se obtiene:

$$\sigma_{calc} = 15.42 \text{ Kg/mm}^2$$

NOTA: * Cálculos realizados con un factor de seguridad igual 5.

** Ver figura 20

A P E N D I C E D

CALCULO DE LOS PIÑONES

MATERIAL: Bronce al Aluminio

Resistencia a la tensión (Sut)	= 90 Kpsi
Resistencia a la fluencia (Syt)	= 58 Kpsi
Dureza brinell (D)	= 200 HB
Enlogación (e)	= 6 %

DATOS:

Potencia (H)	= 400HP
Velocidad angular (n)	= 250 RPM
Módulo (mu)	= 8
Diámetro primitivo (do)	= 240 mm (9.4567 in)
Angulo de presión (ϕn)	= 20°
Angulo de hélice (β)	= 30°
Número de diente (N)	= ?
Paso diametral normal (Pn)	= ?
Velocidad (V)	= ?

a) Cálculo en base al límite de fatiga a flexión del

diente.

Para calcular N se utiliza la fórmula:

$$N = do \cos \beta / mu \qquad (d.1)$$

reemplazando la fórmula (d.1) se obtiene:

$$N = 26 \text{ dientes}$$

Para calcular Pn se utiliza la fórmula:

$$Pn = 25.4/mu \qquad (d.2)$$

reemplazando la fórmula (d.2) se tiene:

$$Pn = 3.275 \text{ in}$$

Para calcular V se utiliza la fórmula:

$$V = \pi \, do \, (n/12) \qquad (d.3)$$

reemplazando la fórmula (d.3) se tiene:

$$V = 619 \text{ ft/min}$$

DATOS: (Cont.)

Factor de superficie (Ka)	= 0.765
Factor de tamaño (Kb)	= 0.87
Factor de confiabilidad (Kc)	= 0.897
Factor de temperatura (Kd)	= 1
Factor de concentración de esfuerzos (Ke)	= 1
Factor de efectos diversos (Kf)	= 1.33
Factor de corrección de sobrecarga (Ko)	= 1.75
Factor de distribución de carga (Km)	= 1.4
Factor geométrico (J)	= 0.432
Componente tangencial (Wt)	= ?
Factor dinámico (Kv)	= ?
Límite de fatiga del diente (Se)	= ?
Factor de seguridad (Ng)	= ?
Factor de seguridad (N)	= ?
Esfuerzo por flexión (σ)	= ?

Para calcular Wt se utiliza la fórmula:

$$Wt = 33000\ (H/V) \qquad (d.4)$$

Reemplazando la fórmula (d.4) se tiene:

$$Wt = 21.324\ Lb.$$

Para calcular Kv se utiliza la fórmula:

$$Kv = \sqrt{78/78 + V} \qquad (d.5)$$

reemplazando la fórmula (d.5) se obtiene:

$$Kv = 0.871$$

Para calcular Se se utiliza:

$$Se = Ka\ Kb\ Kc\ Kd\ Ke\ Kf\ S'e \qquad (d.6)$$

reemplazando la fórmula (d.6) se tiene:

$$Se = 35.73\ Kpsi$$

Para calcular σ se utiliza la fórmula:

$$\sigma = [\ Wt\ Pt\ (10\quad)]/Kv\ J\ F \qquad (d.7)$$

reemplazando la fórmula (d.7) se obtine:

$$\sigma = 15.58\ Kpsi$$

Para calcular η_G se utiliza la fórmula:

$$\eta_G = Se/\sigma \qquad (d.8)$$

reemplazando la fórmula (d.8) se tiene:

$$\eta_G = 2.3$$

Para calcular η se utiliza la fórmula:

$$\eta = G/Ko\ Km \qquad (d.9)$$

reemplazando la fórmula (d.9) se obtine:

$$\eta = 1.32$$

b) Cálculo en base a la resistencia a la fatiga en la superficie de los dientes.

DATOS:

Factor de modificación de vida (Cl) = 1

Factor de confiabilidad (Cr) = 0.8

Relación de dureza (Ch) = 1

Factor de temperatura (Ct) = 1

Resistencia a la fatiga (Sc) = 70 Kpsi

Relación de velocidad (m_G) = 1

Límite de fatiga superficial corregido (Sh) = ?

Paso base normal (PN) = ?

Paso circular normal (pn) = ?

Angulo de presión transversal (ϕt) = ?

Longitud de la línea de acción (Z) = ?

Razón de compartición de carga (m_N) = ?

Relación de velocidad (m_G) = ?

Factor de configuración geométrica (I) = ?

Coeficiente elástico (Cp) = 1750

Factor de velocidad (Cv) = 0.871

Carga transmitida permisible (Wt,p) = ?

Para calcular Sh se tuiliza la fórmula:

$$Sh = [(Cl\ Ch)/(Ct\ Cr)]\ Sc \qquad (d.10)$$

reemplazando la fórmula (d.10) se obtiene que:

$$Sh = 87.5\ Kpsi$$

Para calcular pn se utiliza la fórmula:

$$pn = \pi/PN \qquad (d.11)$$

reemplazando la fórmula (d.11) se tiene:

$$pn = 0.9894$$

Para calcular PN se utiliza la fórmula:

$$PN = pn \cos \phi n \qquad (d/12)$$

reemplazando la fórmula (d.12) se tiene:

$$PN = 0.9298$$

Para calcular ϕt se utiliza la fórmula:

$$\phi t = Tg^{-1} (Tg\ \phi u/\cos \beta) \qquad (d.13)$$

reemplazando la fórmula (d.13) se tiene:

$$\phi t = 22.7958$$

Para calcular Z se utiliza la fórmula:

$$Z = do \; Sen \; \phi t \qquad (d.14)$$

reemplazando la fórmula (d.14) se obtiene:

$$Z = 3.6646$$

Para calcular η_N se utiliza la fórmula:

$$\eta_N = PN/0.95 \; Z \qquad (d.15)$$

reemplazando la fórmula (d.15) se tiene:

$$\eta_N = 0.2671$$

Para calcular I se utiliza la fórmula:

$$I = Sen \; \phi t \; (Cos \; \phi t) \eta_G / 2 \; \eta_n (\eta_{G+1}) \qquad (d.16)$$

reemplazando la fórmula (d.16) se tiene:

$$I = 0.3344$$

Para calcular Wt,p se utiliza la fórmula:

$$Wt_{,}p = (Sh/Cp)^{2} Cv\ F\ dp\ I \qquad (d.17)$$

reemplazando la fórmula (d.17) se tiene que:

$$Wt_{,}p = 68.859.5\ Lb$$

Para calcular η_G se utiliza la fórmula:

$$\eta_G = Wt_{,}p / Wt \qquad (d.18)$$

reemplazando la fórmula (d.18) se obtiene:

$$\eta_G = 3_{,}23$$

Para calcular η se utiliza la fórmula:

$$\eta = \eta_G / Ko\ Km \qquad (d.19)$$

reemplazando la fórmula (d.19) se obtiene:

$$\eta = 1.85$$

CALCULO DE EJES

Para el cálculo del eje se parte de los datos iniciales que se presentan a continuación:

Fuerza tangencial (Wt)	= 21324.72 Lb
Angulo de presión normal (ϕn)	= 20°
Angulo de presión tangencial (ϕt)	= 22.79°
Angulo de hélice (β_o)	= 30°
Diámetro primitivo (dp)	= 240.2 mm
Peso del piñon (W')	= 63.47 Kg
Ancho del diente (F')	= 12 in

a) Con estos datos iniciales se realizan los diagramas de fuerza cortantes de momentos flectores y momentos máximos, los mismos que aparecen en la figura 45

Cálculos:

Para el cálculo de la fuerza radial en el piñón se emplear las fórmulas:

$$Wr = Wt \ tg \ \phi t \qquad (d.20)$$

Evaluando los datos iniciales en la fórmula (d.20)

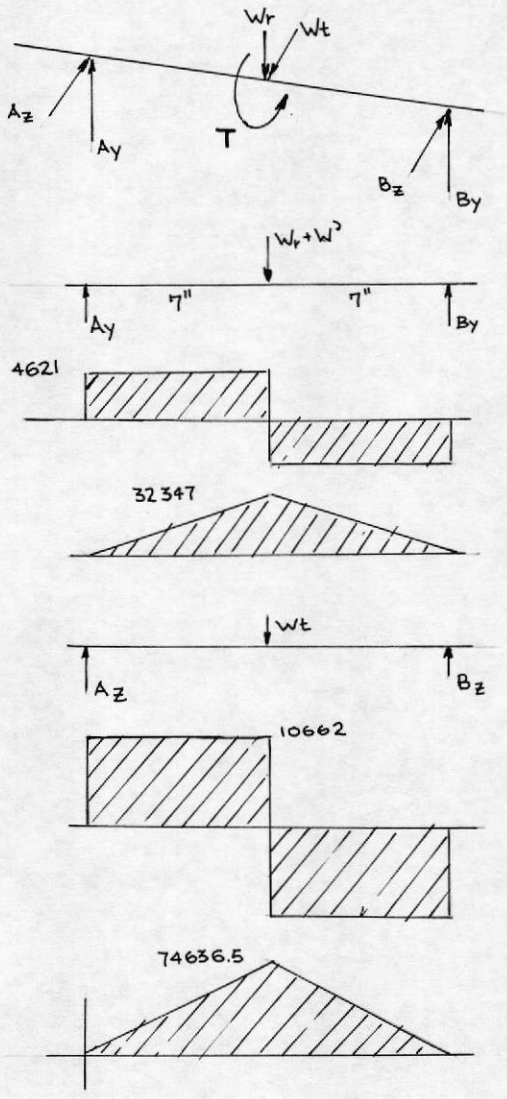


FIG. 45: Diagramas de Fuerza cortante y Momento flector.

$$Wr = 8962.24 \text{ Lb}$$

Para el cálculo de la fuerza axial se emplea la fórmula:

$$Wa = Wt \text{ tg } \beta \qquad (d.21)$$

Evaluando los datos iniciales en (d.21) se tiene:

$$Wa = 12.311.83 \text{ Lb}$$

Para el cálculo de la fuerza W se utiliza la fórmula:

$$W = Wt / \text{Cos } \phi n \quad \text{Cos } \beta_o \qquad (d.22)$$

Evaluando los datos iniciales en (d.22) se tiene:

$$W = 26.204 \text{ Lb}$$

Para el cálculo del torque se emplea la fórmula:

$$T = Wt \, rp \qquad (d.23)$$

Evaluando los datos iniciales en (d.23) se obtiene:

$$T = 100818 \text{ Lb in}$$

Análisis del diagrama de fuerzas y momentos (fig. 45)

$$My = 0$$

$$Ay = By = (Wr + W')/2$$

$$Ay = By = (8962.24 + 280)/2$$

$$Ay = By = 4621.12 \text{ Lb}$$

$$\Sigma Mz = 0$$

$$\therefore Az = Bz = Wt/2$$

$$Az = Bz = 21324.72/2 = 10662.36 \text{ Lb}$$

Momentos máximos:

$$My = 32347.84 \text{ Lb in}$$

$$Mz = 74636.5 \text{ Lb in}$$

$$Mr = \sqrt{(3247.84)^2 + (74636.5)^2}$$

$$Mr = 81344.88 \text{ Lb}$$

Material del eje:

Acero de transmisión U-ST 37-2K + SH, propiedades:

Sut = 370 N/mm² -> 53.7 Kpsi

Sy = 235 N/mm² -> 34.112 Kpsi

e = 25%

$$Se = Ka\ Kb\ Kc\ Kd\ Ke\ Kf\ (S'e) \qquad (d.24)$$

donde:

S'e = 0.5 Sut = 0.5 (58.7) => S'e = 26.85 Kpsi

Ka = 0.7 Factor de superficie

Kb = 0.7475 Factor de tamaño.

Kc = 0.868 Factor de confiabilidad

Kd = 1 Factor de Temperatura

Ke = 1

Kf = 1.33

Evaluando estos datos en la fórmula (d.24) se obtiene:

Se = 18.31 Kpsi

Aplicando SODERBERG, con factor de seguridad n = 2

$$d = \{(32\ n)/\pi\ [(T/Sy)^2 + (M/Se)^2\ ]^{1/2}\}^{1/3} \qquad (d.25)$$

Evaluando la fórmula (d.25) se tiene:

$$d = 4.77 \text{ in } (120 \text{ mm})$$

Aplicando CARGAS ESTATICAS

$$\eta = (\pi d^3 \quad sy) / 32(M^2 + T^2)^{1/2} \qquad (d.26)$$

Evaluando la fórmula (d.26) se tiene:

$$\eta = 2.80$$

Aplicando FATIGA

$$\eta = (\pi \quad d^3 \; Sy) / 32 \; M \qquad (d.27)$$

Evaluando la fórmula (d.27) se obtiene:

$$\eta = 2.40$$

CALCULO DE CHAVETA

Para el cálculo de las chavetas se selecciona como material el acero ASSAB 760 cuyas propiedades son:

Resistencia de la fluencia (Sy) = 33 Kg/mm² (46.9 kpsi)

Barra cuadrada de t = 18 mm (lado)

η = 3 (no hay información en la carta)

Datos del eje:

Material acero CEAX cuyas características son:

Resistencia a la fluencia = 49.79 Kpsi

Diámetro exterior = 100 mm

Velocidad de rotación = 250 RPM

Potencia motríz H = 400 hp

Cálculo:

El tor que se determina con la siguiente fórmula:

$$T = 63.000\ H/N \qquad (d.28)$$

reemplazando los datos en la fórmula (d.28) se tiene:

$$T = 100.800 \quad Lb\ in$$

Para determinar la fuerza de corte en la chaveta se aplica la fórmula:

$$F = T/re \qquad (d.29)$$

Evaluando los datos en la fórmula (d.29) se tiene:

$$F = 51.206.5 \text{ Lb}$$

Para calcular la resistencia de fluencia al corte se aplica la fórmula:

$$Ssy = 0.577 (Sy) \qquad (d.30)$$

reemplazando los valores (d.38) se tiene:

$$Ssy = 27.087.3 \text{ Psy}$$

Para determinar la longitud de la chaveta se aplica la fórmula:

$$l = 2(n F)/(t Ssy) \qquad (d.31)$$

reemplazndo los valores en (d.31) se tiene:

$$l = 8 \text{ in} \quad (203 \text{ mm})$$

Utilizando la resistencia a la fluencia, la longitud de la chaveta se puede determinar por la fórmula:

$$l = (2\ n\ F)/(t\ Sy) \qquad \text{(d.32)}$$

evaluando la formula (d.32) se obtiene:

$$l = 9.23\ \text{in}\ \ (234.57\ \text{mm})$$

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

1. J. E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica, (Mexico: McGraw-Hill de México, 1977), pp. 231-754.

2. Tselikov A. I. y Smirnov V. V., Trenes de Laminación, (traducción al español, Ediciones URMO, 1.972), pp. 43-221.

3. J. E. Shigley y J.J. Uicker, Jr., Teoría de Máquinas y Mecanismos, (Mexico: McGraw-Hill de México, 1983), pp. 320-426.

4. B. Seely, M. S. y J. O. Smith, A. M., Curso Superior De Resistencia de Materiales, (Buenos Aires: Editorial Nigar, 1967), pp. 140-236.

5. L.S. Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Volumenes I, II (2a. ed. en español México, 1984).

6. Euler de Araujo Jivio, Bronce de Alumino; Boletín da Associacáo Brasileira de Metais, pp. 313-320.

7. Avner Sidney H., Instroducción a la Metalurgia Física (Ediciones del Castillo, S.A. Madrid, 1966), pp. 206-210.

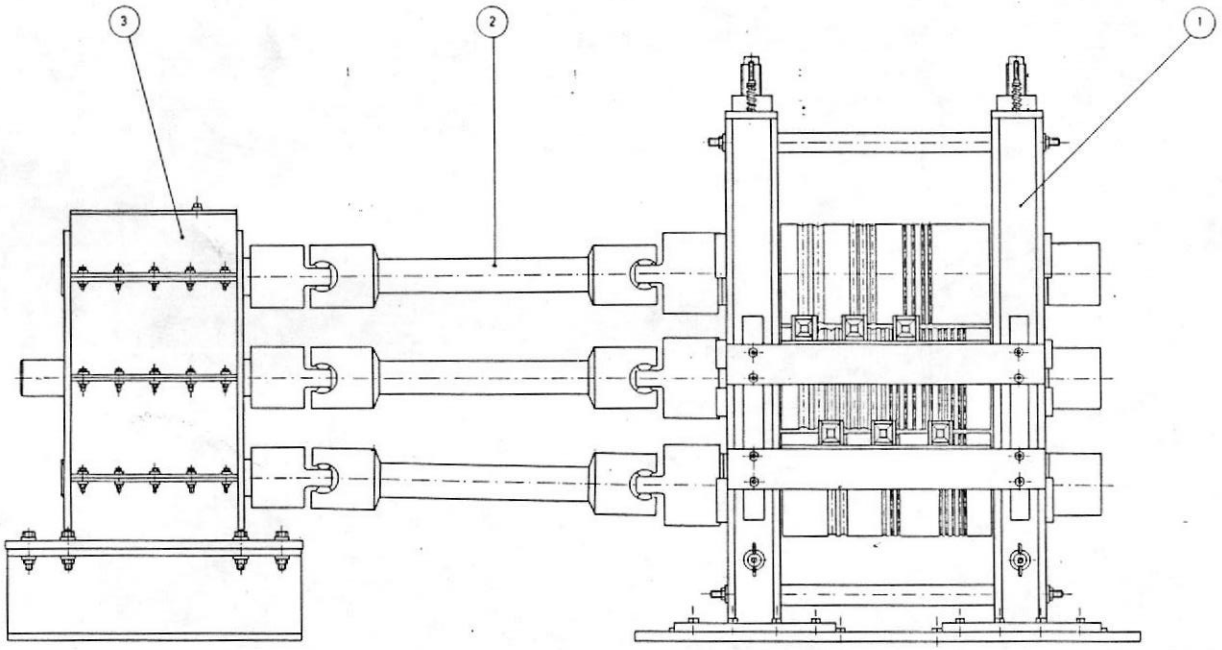
8. Carahuana G., F. González Carpenter y J. J. Regidor, Mejoras en las Características Mecánicas de los Cupro-Aluminios Bifasicos, pp. 127-136.

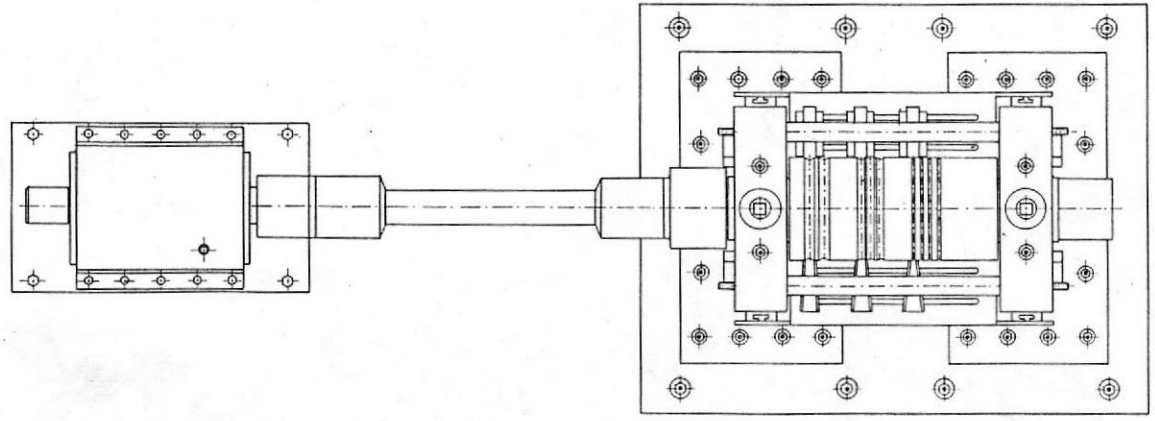
9. A. L. Casillas, Máquinas: Cálculos de Taller, (23. ed., Madrid: Ediciones Máquinas, 1958), pp. 220-345.

10. ILAFA, (Instituto Latinoamericano de Hierro y Acero) Enero de 1976.

11. ILAFA, (Instituto Latinoamericano de Hierro y Acero) Febrero de 1977.

12. Mario Rossy, Mutilajes Mecánicos (3ra. edición, editorial HOEPLI, Barcelona 1.971), pp. 189-288.





N	DENOMINACION	Plano N	Material	Cant.	OBSERVACION
3	Caja de Piñonas	6.03.00		1	
2	Alargadera	6.02.00		3	
1	Castillete	6.01.00		1	

PROYECTO BID ESPOL II
Construcción de Equipos para Facultad de Ing. Mecánica Area de Metalurgia

ESPOL

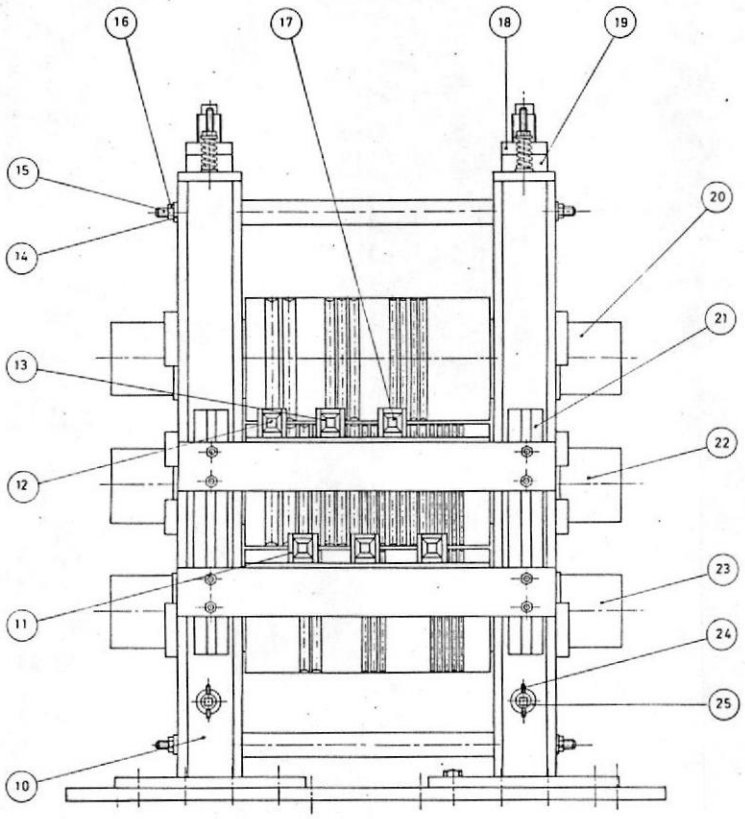
	FECHA	NOMBRE	RESPONSABILIDAD TECNICA
DIBUJO	22-04-96	L. Zeaguirre	Egdo. R. Campana
REVISO	25-04-96	R. Campana	Ing M. Heiguera Ing H. Aguirre

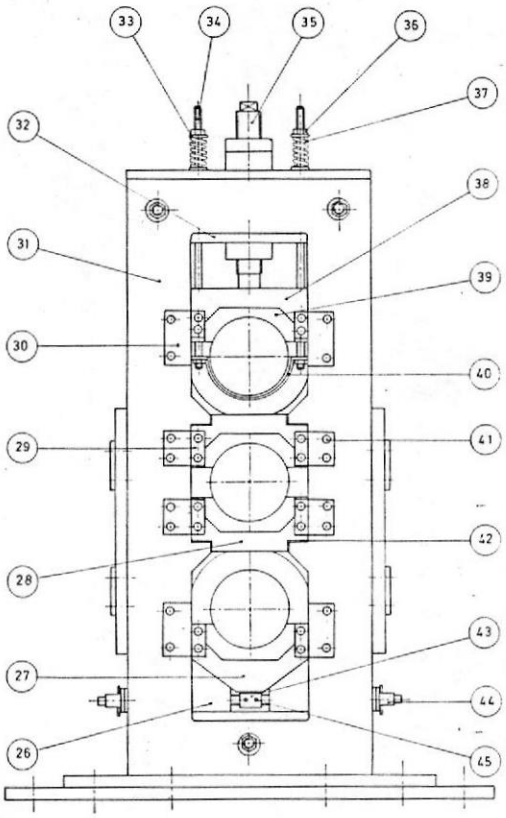
INGENIERO DE PROYECTO
Ing. I. Wiesner
Ing. H. Ortiz

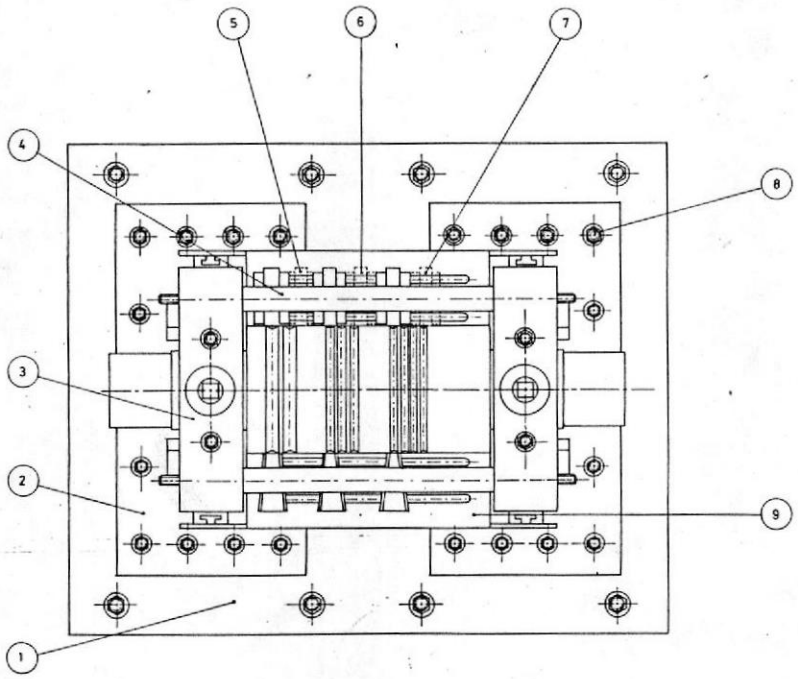
ESCALA 1:6

MOLINO EXPERIMENTAL DE LAMINACION

DIBUJO Nº 6.00.00







N	DENOMINACION	Plano N	Material	Cant.	OBSERVACION
45	Pasador de acople		A.N.	4	ø 4 x 33 mm
44	Perno regulador	6.01.44	G43370	4	
43	Acople perno regulador	6.01.43	G43370	2	
42	Cuña de ajuste	6.01.42	G10100	8	"
41	Perno allen		A.N.	64	M8 x 30
40	Soporte de rodillo	6.01.40	G10100	2	platina 30 x 5 mm
39	Cojinete	6.01.39	A.N.	8	
38	Ampuesta superior	6.01.38	Hierro gris	2	Pieza fundida
37	Resorte helicoidal	6.01.37	A.N.	4	
36	Tuerca		A.N.	8	M 16
35	Tornillo calibrador	6.01.35	G43370	2	
34	Varilla soporte rodillo	6.01.34	G43370	4	
33	Arandela		A.N.	8	ø 17 mm
32	Cubierta interna Poste	6.01.32	G10100	4	espesor 20 mm
31	Lateral de Poste	6.01.31	G10100	4	espesor 20 mm
30	Seguro externo	6.01.30	G10100	16	espesor 24 mm
29	Seguro interno	6.01.29	G10100	16	espesor 24 mm
28	Ampuesta central	6.01.28	Hierro gris	4	Pieza fundida
27	Ampuesta interior	6.01.27	Hierro gris	2	Pieza fundida
26	Cuña de regulación	6.01.26	Hierro gris	4	Pieza fundida
25	Anillo de sujeción		A.N.	4	ø 6 mm
24	Pasador de anillo		A.N.	4	ø 5 x 35 mm
23	Cilindro inferior	6.01.23	Hierro nodular	1	Pieza fundida
22	Cilindro central	6.01.22	Hierro nodular	1	Pieza fundida
21	Corredera	6.01.21	G10100	4	espesor 20 mm
20	Cilindro superior	6.01.20	Hierro nodular	1	Pieza fundida
19	Tuerca de calibración	6.01.19	G10450	4	
18	Contratuerca de calibración	6.01.18	G10450	2	
17	Guía entrada 5° Paso	6.01.17	G10100	1	espesor 19 mm
16	Tuerca		A.N.	12	M 20
15	Eje distanciador	6.01.15	G43370	3	
14	Arandela		A.N.	6	ø 21 mm
13	Guía entrada 3er Paso	6.01.13	G10100	1	espesor 19 mm
12	Guía entrada 1er Paso	6.01.12	G10100	1	espesor 19 mm
11	Guía de salida	6.01.11	G10100	6	espesor 19 mm
10	Frontal de Poste	6.01.10	G10100	4	espesor 20 mm
9	Soporte de Guías	6.01.09	G10100	4	espesor 19 mm
8	Perno hexagonal		A.N.	24	
7	Guía entrada 6° Paso	6.01.07	G10100	1	espesor 19 mm
6	Guía entrada 4° Paso	6.01.06	G10100	1	espesor 19 mm
5	Guía entrada 2° Paso	6.01.05	G10100	1	—
4	Tubo distanciador	6.01.04	G10240	3	
3	Cubierta externa poste	6.01.03	G10100	2	espesor 20 mm
2	Base de Poste	6.01.02	G10100	2	espesor 25 mm
1	Base Castillete	6.02.01	G10100	1	espesor 32 mm

PROYECTO BID ESPOL II
Construcción de Equipos para Facultad de Ing. Mecánica Area de Metalurgia

ESPOL

	FECHA	NOMBRE
DIBUJO	30-06-87	F. Bravo
REVISO	01-05-89	J. Izaguirre

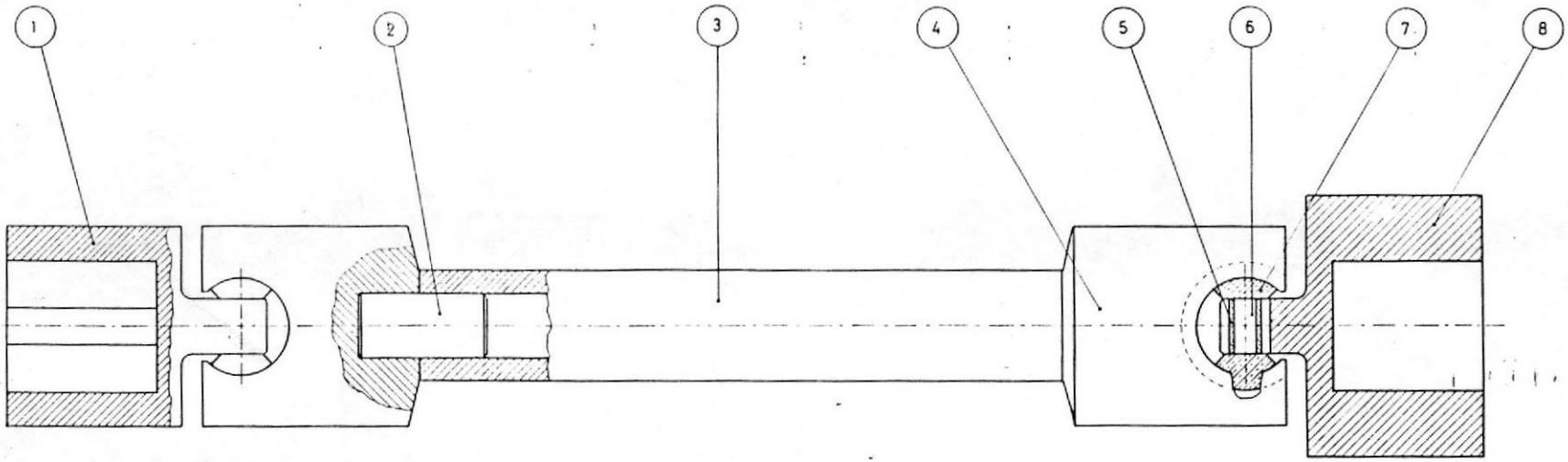
RESPONSABILIDAD TECNICA
Egdo. R. Campana
Ing. M. Helguero - Ing. H. Aguirre

INGENIERO DE PROYECTO
Ing. I. Wiesner
Ing. H. Ortiz

ESCALA 1:5

CASTILLETE

DIBUJO N° 6.01.00



N	DENOMINACION	Plano N	Material	Cant.	OBSERVACION
8	Palma exterior Cilindros	6.02.08	G 10450	1	
7	Complemento de Palma	6.02.07	ZA-27	4	
6	Pasador de articulación	6.02.06	AISI 3215	2	
5	Bocín de articulación	6.02.05	Bronce fosforico	2	
4	Palma interior	6.02.04	G 10450	2	
3	Eje de alargadera	6.02.03	G 1035	1	
2	Pin guía de eje	6.02.02	G 4340	2	
1	Palma exterior Piñones	6.02.01	G 10450	1	

PROYECTO BID ESPOL II
Construcción de Equipos para Facultad de Ing. Mecánica Area de Metalurgia

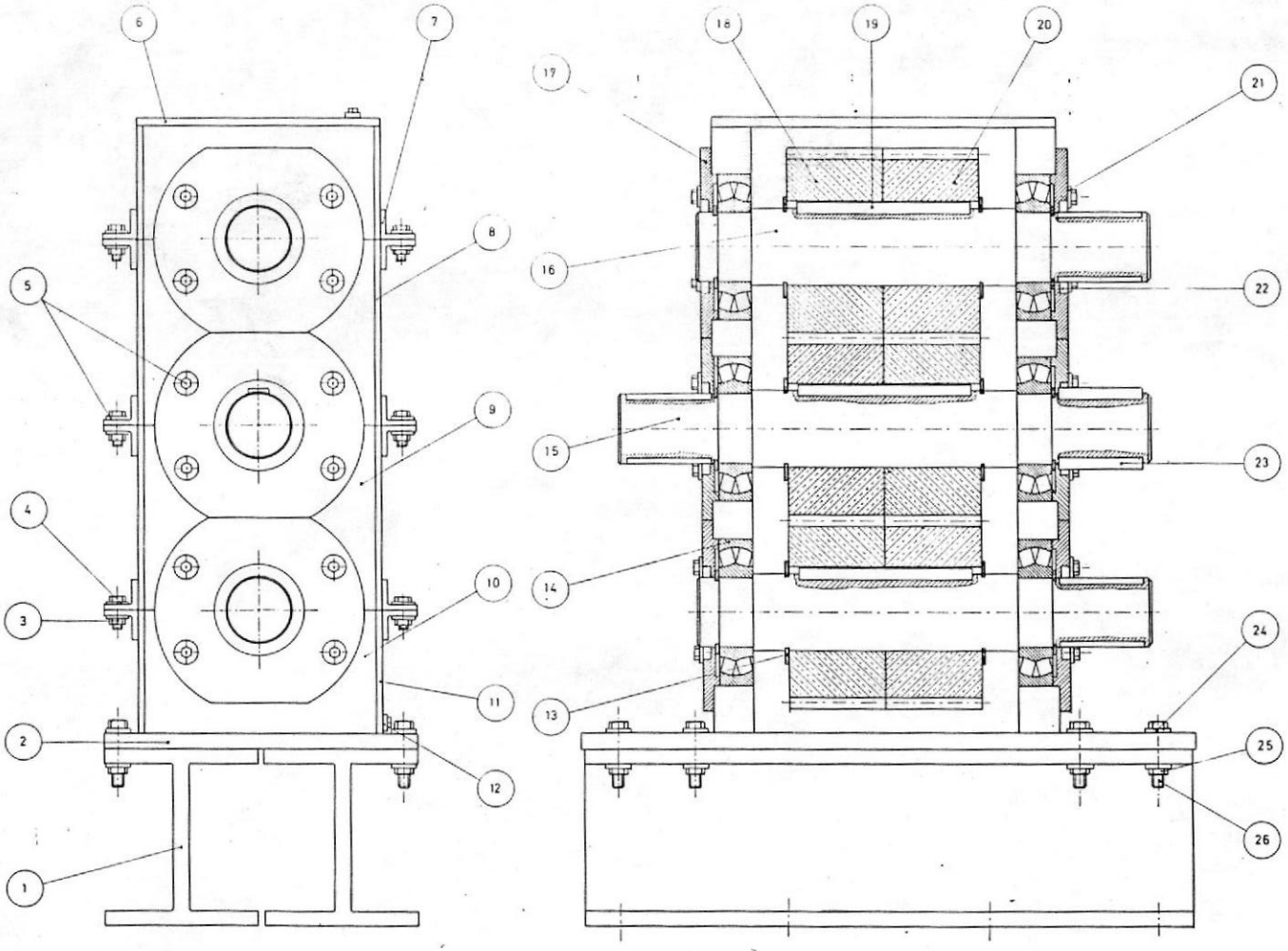
ESPOL

	FECHA	NOMBRE	RESPONSABILIDAD TECNICA	INGENIERO DE PROYECTO
DIBUJO	18-04-89	J. Izaguirre	Egdo. R. Campana	Ing. I. Wiesner
REVISO	05-05-89	R. Campana	Ing. M. Helguero - Ing. H. Aguirre	Ing. H. Ortiz

ESCALA 1:2.5

ALARGADERA

DIBUJO N° 6.02.00



N	DENOMINACION	Plano N	Material	Cant.	OBSERVACION
26	Perno hexagonal		A.N.	16	M 22 x 55
25	Tuerca hexagonal		A.N.	32	M 22
24	Anillo plano		A.N.	32	ø 23 mm
23	Chaveta pequeña	6.03.23	G1045	8	
22	Retenedor		A.N.	6	
21	Anillo elástico exterior		A.N.	6	
20	Piñón helicoidal derecho	6.03.20	Br - Al	3	
19	Chaveta grande	6.03.19	G1045	3	
18	Piñón helicoidal izquierdo	6.03.18	Br-Al	3	
17	Tapa de rodamiento	6.03.17	G10100	6	
16	Eje superior / inferior	6.03.16	G4340	2	
15	Eje central	6.03.15	G4340	1	
14	Rodamiento		A.N.	6	
13	Anillo elástico interior		A.N.	6	
12	Tapón roscado	6.03.12	A.N.	2	M 20
11	Lateral superior / inferior	6.03.11	G10100	4	espesor 10 mm
10	Frontal superior / inferior	6.03.10	G10100	4	espesor 50 mm
9	Frontal intermedio	6.03.09	G10100	4	espesor 50 mm
8	Lateral intermedio	6.03.08	G10100	4	espesor 10 mm
7	Angulo de acople	6.03.07	G10100	12	∡ 50 x 9 mm
6	Cubierta de caja	6.03.06	G10100	1	espesor 10
5	Perno hexagonal		A.N.	54	M 12 x 45
4	Anillo de presión		A.N.	54	ø 13 mm
3	Tuerca hexagonal		A.N.	30	M 12
2	Base de caja	6.03.02	G10100	1	espesor 25 mm
1	Viga base	6.03.01	G10100	2	espesor 20 mm

PROYECTO BID ESPOL II
Construcción de Equipos para Facultad de Ing. Mecánica Area de Metalurgia

ESPOL

	FECHA	NOMBRE	RESPONSABILIDAD TECNICA	INGENIERO DE PROYECTO
DIBUJO	20-04-82	J. Izaguirre	Egdo. R. Campana	Ing. T. Wiesner
REVISO	05-05-82	R. Campana	Ing. M. Helguero - Ing. H. Aguirre	Ing. H. Ortiz

ESCALA		DIBUJO Nº
1:3	CAJA DE PIÑONES	6.03.00