

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**DISEÑO DE UNA CORTADORA DE LADRILLOS
HUECOS DE DIMENSIONES : 10 X 12 X 25 CM.
PARA UNA CAPACIDAD DE 45 CORTES POR
MINUTO.**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECANICO

EDWIN ASENCION ABREGU LEANDRO

PROMOCION : 1984-2

LIMA - PERU

1,991

PROLOGO

Este trabajo titulado : "DISEÑO DE UNA CORTADORA DE LADRILLOS HUECOS DE DIMENSIONES : 10 x 12 x 25 cm. PARA UNA CAPACIDAD DE 45 CORTES POR MINUTO", ha sido desarrollado tomando como base las experiencias teóricas y prácticas logradas por las diversas entidades, tales como

Las Instituciones fabriles, Institutos de investigación, firmas de comercialización de equipos para la fabricación de ladrillos, la oficina BONIFICA de la Cooperación Técnica Peruana-Italiana, de autores que se han dedicado al estudio de la arcilla y sus aplicaciones, de personas que de alguna manera están vinculadas con el tema y, también, con la confrontación personal de la teoría in situ, discusiones muy especiales fueron realizadas en la ladrillera Huachipa, para quienes dejo constancia de mi agradecimiento por las facilidades prestadas.

En el Capítulo 2, se ha expuesto el tema de la arcilla como materia prima empleada para la fabricación de ladrillos de albañilería, así mismo, se presenta una descripción sucinta del proceso tecnológico para su elaboración.

El Capítulo 3, ha sido dedicado esencialmente al tema del diseño de la cortadora, se efectúa el análisis cinemático del corte, el dimensionamiento de la cadena, el dimensionamiento del

cortador, el análisis dinámico del corte y la potencia de accionamiento del cortador.

En el Capítulo 4, se determina el costo estimado de la cortadora de ladrillos; comparando su costo de fabricación con respecto a una máquina importada.

Quiero expresar mi especial gratitud al Ingeniero Carlos Arguedas Rivera, por su valiosa orientación en el desarrollo de la presente obra, así mismo, al Ingeniero Miguel Saenz Lizarzaburu, ex-Primer Vice-Rector de la Universidad Nacional de Ingeniería asesor de la presente Tesis, también al Ing. O. Fernando Vidal Tolentino, Ing. Ronald Cueva Pacheco, Ing. Luis Moreno Figueroa, Ing. Carlos Vega y al Arq. Roberto Saracino experto que representa al Gobierno Italiano, por parte de la Cooperación Técnica Peruana-Italiana, quien se desempeña también, como docente en la Universidad de Milán en Italia.

Y, así mismo, expreso mi reconocimiento a las personas e instituciones que me asistieron en la realización de este trabajo.

INDICE

CAPITULO 1 : INTRODUCCION	1
CAPITULO 2 : FUNDAMENTOS TEORICOS Y TECNICOS	3
2.1 Materia Prima	3
2.1.1 La Arcilla	3
2.1.1.1 Clasificación de las Arcillas	3
2.1.1.2 Componentes de la Arcilla	8
2.1.1.2.1 Componentes más Importantes de las Arcillas	9
2.1.2 Propiedades de las Arcillas para la Fabricación de Ladrillos	11
2.1.2.1 Relación entre la Estructura y las Propiedades	17
2.1.3 Parámetros del Estado y Características Estructurales de los Materiales de Construcción	19
2.1.3.1 Parámetros del Estado	19
2.1.3.2 Características Estructurales	23
2.1.4 El PH y la Aptitud de Moldeo de las Tierras	24
2.1.5 Regulación del PH	25
2.1.6 Acción del PH en la Temperatura de Cocción	26
2.1.7 Acción del PH sobre el Color	26
2.1.8 Acción del Carbonato de Sodio y la Curva de Neutralización	27
2.2 Métodos para la Fabricación de Ladrillos	31

	Pág.
2.2.1 Método Manual	31
2.2.2 Método Mecánico	31
2.3 Diagramas de Flujo en la Fabricación de Ladrillos	32
2.3.1 Diagrama de Flujo para la Fabricación Artesanal de Ladrillos	32
2.3.2 Diagrama de Flujo para la Fabricación de Ladrillos por Extrusión	33
2.4 Proceso de Fabricación General	34
2.4.1 Extracción y Almacenamiento	34
2.4.2 Preparación de la Mezcla	36
2.4.2.1 Remoción de la Materia Prima	39
2.4.2.2 Empobrecimiento de la Arcilla	39
2.4.2.3 Desmenuzado de la Arcilla	40
2.4.2.4 Laminado de la Arcilla	40
2.4.2.5 Amasado	41
2.4.3 Moldeado	41
2.4.3.1 Método del Lodo Rígido	42
2.4.3.2 Método del Lodo Blando	44
2.4.3.3 Método del Preensoarrastre	45
2.4.4 Secado	46
2.4.5 Quemado	46
2.5 Proceso de Fabricación Seguido por el Método de Extrusión	48
2.5.1 El Método de Extrusión	48
2.6 Resumen de los Procesos de Fabricación de Ladrillos	49
2.7 El Ladrillo	50

	Pág.
2.7.1	Definición 50
2.7.2	Características del Buen Ladrillo 50
2.7.3	Clases de Ladrillos Para Construcción 51
2.7.3.1	Ladrillos Macizos 51
2.7.3.2	Ladrillos Huecos 51
2.7.4	Propiedades Mecánicas 53
2.8	Definición de Parámetros Para el Cálculo y Diseño de la Cortadora 53
2.8.1	Introducción 53
2.8.2	Principios Básicos de Funcionamiento de la Cortadora 54
2.8.3	Parámetros Para el Cálculo y Diseño de la Cortadora 54
2.8.3.1	Tipo de Ladrillo a Cortar 55
2.8.3.2	Capacidad de Corte 55
2.8.3.3	Longitud de Corte 55
2.8.3.4	Tipo de Cortadora a Usar 56
2.8.3.4.1	Cortadora Mecánica 56
2.8.3.4.1.1	Cortadora de Ladrillos Huecos 57
2.8.3.4.1.1.1	Cortadoras Rotativas 57
2.8.3.4.1.1.2	Cortadoras Reciprocantes 58
2.8.3.4.1.1.3	Cortadora de Varios Hilos 60
2.8.3.4.1.2	Cortadoras de Ladrillos Macizos 61
2.8.3.4.1.2.1	La Cortadora Múltiple 61
2.8.3.4.2	Cortadoras Oleo-Hidráulicas 61
2.8.3.4.2.1	La Cortadora Múltiple de Barra Parada 61
2.8.3.4.3	Cortadoras Electrónicas 63

	Pág.	
2.8.3.5	Fuerza de Corte	64
CAPITULO 3 : DISEÑO DE LA CORTADORA PROPUESTA		65
3.1	Análisis Cinemático del Corte	65
3.1.1	Análisis Cinemático del Corte de la Masa	65
3.1.1.1	Cálculo de la Velocidad del Ladrillo (V_1)	66
3.1.2	Determinación de la Velocidad del Alambre Cortador (V_2) y la Velocidad de Corte (V_c)	66
3.1.2.1	Representación Vectorial de los Efectos Cinemáticos del Corte	67
3.1.2.2	Determinación de la Velocidad Absoluta del Alambre Cortador (V_2)	
3.1.2.3	Determinación de la Velocidad de Corte (V_c)	69
3.1.3	Determinación de las Revoluciones por Minuto de los Piñones	70
3.1.3.1	Determinación del Número de Dientes del Piñón	70
3.1.3.2	Determinación de la Geometría del Piñón	71
3.1.3.3	Cálculo de las RPM (n) del Piñón	71
3.1.4	Cálculo del Tiempo de Corte (t_c) de un Ladrillo de 10 cm. de Altura (h)	72
3.2	Dimensionamiento de la Cadena	73
3.2.1	Determinación de la Longitud de la Cadena (L_c)	73
3.2.1.1	Procedimiento	73
3.2.1.2	Cálculo del Tiempo Cíclico de Corte (t_{cc})	73
3.2.1.3	Cálculo de la Longitud Equivalente Recorrida por la Cadena para el Tiempo Cíclico de Corte (1.33 seg.)	74

	Pág.	
3.2.1.4	Cálculo del Número de Pasos de la Cadena (N_p)	76
3.3	Análisis Dinámico del Corte	77
3.3.1	Proceso de Cortado	77
3.3.2	Disposición del Alambre Cortador	78
3.3.3	Selección del Alambre Cortador	78
3.3.3.1	Características del Alambre	79
3.3.4	Determinación de la Fuerza de Corte (F_c)	79
3.3.4.1	Procedimiento	79
3.3.4.2	Representación del Corte	80
3.3.4.3	Diagrama de Cuerpo Libre del Alambre Cortador	81
3.3.4.4	Cálculo de la Fuerza de Corte Necesario (F_c)	82
3.3.4.4.1	Cálculo de la Fuerza de Avance del Alambre	82
3.3.5	Determinación de la Potencia de Corte	84
3.4	Dimensionamiento del Cortador	85
3.4.1	Introducción	85
3.4.2	Dimensionamiento de las Varillas Conectoras	86
3.4.3	Determinación de la Posición de Mínima Altura del Cortador (h_1)	90
3.4.4	Determinación del Descenso de Altura del Cortador (Δh_1)	91
3.4.5	Determinación de la Posición de Máxima Altura del Cortador (h_2)	91
3.4.6	Determinación del Incremento de Altura (Δh_2)	92
3.5	Cálculo de la Potencia de Accionamiento de la Cortadora	94
3.5.1	Introducción	94

	Pág.	
3.5.2	Cálculo de la Potencia de Alimentación de la Cortadora .	94
3.6	Cálculo de la Potencia del Motor	96
3.6.1	Introducción	96
3.6.2	Cálculo de la Potencia Motriz	96
3.6.3	Selección del Motor	97
3.7	Cálculo de la Transmisión por Engranajes	97
3.7.1	Introducción	97
3.7.2	Cálculo de la Potencia que puede dar como Máximo la Transmisión	98
3.7.2.1	Cálculo de la Relación de Transmisión (m_g)	98
3.7.2.2	Número de Dientes del Piñón (Z_1) y Engranaje (Z_2)	98
3.7.2.3	Relación de Transmisión Real (m_{g_r})	99
3.7.2.4	Revoluciones por Minuto Real del Contraeje Principal	99
3.7.2.5	Cálculo de la Distancia entre Centros (C)	99
3.7.2.6	Cálculo de los Diámetros de Paso del Piñón (D_p) y del Engranaje (D_g)	99
3.7.2.7	Cálculo del Ancho del Diente (F)	100
3.7.2.8	Cálculo de la Velocidad Tangencial (V_t)	100
3.7.2.9	Cálculo de la Potencia a Transmitir por Fatiga Superficial	100
3.7.3	Cálculo de las Cargas en el Piñón y Rueda Dentada	102
3.7.3.1	Cálculo de las Fuerzas que Actúan Sobre el Engranaje	104

3.7.3.1.1	Cálculo de la Fuerza Tangencial (W_t), Fuerza Radial (W_r) y Fuerza Total (F_t)	104
3.7.3.1.2	Cálculo de las Fuerzas en los Ejes X e Y en el Centro del Engranaje	104
3.7.3.2	Cálculo de las Fuerzas que Actúan Sobre el Piñón	106
3.7.3.2.1	Cálculo de las Fuerzas : Tangencial (W_t), Radial (W_r) y Total (F_t)	106
3.7.3.2.2	Cálculo de las Fuerzas en los Ejes X-Y en el Centro del Piñón	106
3.7.3.2.3	Cálculo del Torque Actuante en el Piñón (T_L)	107
3.8	Cálculo de Ejes	108
3.8.1	Introducción	108
3.8.2	Cálculo del Eje Motriz	108
3.8.2.1	Diagrama de Cargas del Eje Motriz	109
3.8.2.1.1	Diagrama de Cargas en el Plano Z-Y para el Eje Motriz	109
3.8.2.1.2	Diagrama de Cargas en el Plano Z-X para el Eje Motriz	110
3.8.2.2	Cálculo de las Deflexiones del Eje Motriz	111
3.8.2.2.1	Deflexiones en el Plano Z-Y	111
3.8.2.2.2	Deflexiones en el Plano Z-X	113
3.8.2.2.3	Cálculo de la Desviación Resultante en el Eje Motriz	114
3.8.2.3	Cálculo del Factor de Seguridad	116
3.8.2.4	Cálculo del Esfuerzo Cortante Permisible	119
3.8.3	Cálculo del Contraeje Principal	121

3.8.3.1	Cargas en las Catalinas Alojadas en el Contraeje Principal	121
3.8.3.2	Diagrama de Cargas en el Contraeje Principal	122
3.8.3.2.1	Diagrama de Cargas en el Plano Z-Y para el Contraeje Principal	124
3.8.3.2.2	Diagrama de Cargas en el Plano Z-X para el Contraeje Principal	125
3.8.3.3	Cálculo de las Deflexiones del Contraeje Principal	126
3.8.3.3.1	Deflexiones en el Plano Z-Y	126
3.8.3.3.2	Deflexiones en el Plano X-Z	128
3.8.3.3.3	Cálculo de la Desviación Resultante en el Contraeje Principal	131
3.8.3.4	Cálculo del Factor de Seguridad	132
3.8.3.5	Cálculo del Esfuerzo Cortante Permisible	132
3.8.4	Cálculo del Contraeje Secundario	134
3.8.4.1	Cargas en las Catalinas Alojadas en el Contraeje Secundario	134
3.8.4.2	Diagrama de Cargas en el Contraeje Secundario	137
3.8.4.2.1	Diagrama de Cargas en el Plano Y-Z para el Contraeje Secundario	138
3.8.4.2.2	Diagrama de Cargas para el Plano X-Z para el Contraeje Secundario	139
3.8.4.3	Cálculo de las Deflexiones del Contraeje Secundario	140
3.8.4.3.1	Deflexiones en el Plano Z-Y	140

3.8.4.3.2	Deflexiones en el Plano Z-X	142
3.8.4.4	Cálculo de la Desviación Resultante en el Contraeje Secundario	145
3.8.5	Cálculo del Eje Intermedio Izquierdo	145
3.8.5.1	Cargas en las Catalinas Alojadas en el Eje Intermedio Izquierdo	146
3.8.5.2	Diagrama de Cargas en el Eje Intermedio Izquier- do	148
3.8.5.2.1	Diagrama de Cargas para la Posición (1)	148
3.8.5.2.2	Diagrama de Cargas para la Posición (2)	151
3.8.5.2.3	Diagrama de Cargas para la Posición (3)	154
3.8.5.3	Determinación de la Posición Crítica	157
3.8.5.4	Deflexiones para la Posición, Crítica, (2)	157
3.8.5.4.1	Deflexiones en el Plano Z-Y	157
3.8.5.4.2	Deflexiones en el Plano Z-X	159
3.8.5.4.3	Cálculo de la Desviación Resultante en el Eje Intermedio Izquierdo	161
3.8.6	Cálculo del Eje Intermedio Derecho	162
3.8.7	Cálculo del Eje Superior	162
3.8.7.1	Cargas en las Catalinas	162
3.8.7.2	Diagrama de Cargas en el Eje Superior	
3.8.7.2.1	Diagrama de Cargas en el Plano Z-Y para el Eje Superior	165
3.8.7.3	Cálculo de las Deflexiones del Eje Superior	166
3.8.7.3.1	Deflexiones en el Plano Z-Y	166

	Pág.
CAPITULO 4 : ESTUDIO ECONOMICO	169
4.1 Determinación del Costo de la Máquina	169
4.1.1 Costo de los Componentes Comerciales	170
4.1.2 Costo de los Componentes no Comerciales	171
4.1.3 Costo de la Máquina	172
CONCLUSIONES	173
BIBLIOGRAFIA	175
APENDICE	
PLANOS	

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El cortado de una masa cerámica para fabricación de ladrillos es una operación que consiste en la separación física de la masa compactada y moldeada por el proceso de extrusión, que es expulsada por la boquilla de la matriz de la unidad de extrusión. Esta operación se aplica a los ladrillos verdes. Es decir, cuando la masa, aún, está húmeda.

La operación de cortado es aplicable tanto a los ladrillos huecos y sólidos, pero mayormente a los ladrillos huecos como lo muestra la experiencia industrial de las diversas ladrilleras de nuestro medio, donde para el cortado de las columnas de arcilla compactada es esencial y por ende, también, indispensable el uso de una máquina para cortar ladrillos en estos medios de producción continua.

En la industria cerámica además de ladrillos se cortan: tejas, mosaicos, tubos de concreto, etc., pero, en la presente Tesis sólo se tratará acerca del diseño de una cortadora de ladrillos huecos para una capacidad de 45 cortes por minuto de dimensiones : 10 x 12 x 25 cm.

La cortadora propuesta ha sido diseñada con la finalidad de proveer, en un futuro próximo, de máquinas cortadoras a las extrusoras que existen en el país que no cuentan con este accesorio.

En resumen, al cortar las columnas de arcilla compactada se obtienen productos similares al ladrillo pandereta que es producido en la mayoría de ladrilleras mecanizadas de nuestro medio.

En el diseño de la cortadora, los cálculos efectuados están basados en los datos proporcionados por los productores de maquinarias que intervienen en la elaboración de ladrillos, tales como :

Seveco, Verdés, Morando, Icam y, también por datos operativos, extraídos de la Ladrillera Huachipa.

CAPITULO 2

FUNDAMENTOS TEORICOS Y TECNICOS

2.1 Materia Prima

En la fabricación de ladrillos de albañilería, la arcilla pura, superior al 30%, es el componente principal de la mezcla.

La mezcla debe poseer plasticidad, capacidad aglutinante y de eliminación de agua.

2.1.1 La Arcilla

La arcilla es un material terroso de grano fino que resulta de la descomposición de rocas silicosas, aluminosas y principalmente feldespáticas provenientes de los sedimentos geológicos. Generalmente las arcillas se encuentran mezcladas con arena, óxido de hierro, carbonato de calcio, magnesio, etc. que modifican sus propiedades.

2.1.1.1 Clasificación de las Arcillas

Las arcillas pueden clasificarse de la si-

guiente manera :

1ro.- POR LA INFLUENCIA DE LA IMPUREZA SOBRE LA PLASTICIDAD.

Siendo :

a) ARCILLA GRASA O GREDA.- Que se caracteriza por tener mayor contenido de sílice y alúmina. Son aptas para el moldeo debido a su plasticidad pero, presentan elevada contracción durante el proceso de secado en la fabricación de ladrillos. Se encuentran en las canteras y zonas muy lluviosas. Se presentan en terrones de 1.5 a 203 mm. cuando están secas, son fáciles de desmenuzarse y, casi no tienen impurezas, por lo que es ideal emplearlo en cerámica.

b) ARCILLA MAGRA O CENICERO.- Que se caracteriza por su mayor contenido de arena, absorbe el agua con facilidad. Son de difícil moldeo pero, de secado rápido, la contracción durante el secado es mínima. Igualmente se encuentran en las canteras, en las quebradas y planicies. Se presentan con aspecto de polvos, de coloración blanco gris, por la presencia considerable de alúmina y óxido de calcio.

2do. POR LA FORMA.

La arcilla se presenta en tres formas principales, todas

las cuales tienen composición química similar, pero características físicas diferentes. Estas formas son :

a) ARCILLAS SUPERFICIALES.- Estas son encontradas en la superficie de la tierra. Pueden extraerse de las formaciones sedimentarias.

b) ARCILLAS ESQUISITOSAS.- Son aquellas que fueron sometidos a presiones altas hasta volverse relativamente duras.

c) ARCILLAS REFRACTARIAS.- Son aquellas que se encuentran a niveles mas profundos que los dos tipos anteriores. Usualmente poseen más uniformidad en sus cualidades físicas y químicas. Su característica más importante es la capacidad de soportar altas temperaturas.

3ro.- POR LA COMPOSICION BASICA.

Esta clasificación comprende :

a) ARCILLAS CALCAREAS.- Contienen alrededor de 15% de carbonato de calcio. Al ser quemados adquieren coloración amarillenta.

b) ARCILLAS NO CALCAREAS.- Están compuestos por silicato de alúmina, feldespato y óxido de fierro, donde el óxido de hierro contenido varía entre 2 y 10%. Esta arcilla puede ser quemado y pulida, el color depende del contenido de óxido de fierro, pudiendo adquirir coloración rojo o

salmón.

4o.- POR SU ORIGEN.

Esto es de acuerdo a su ocurrencia en la corteza terrestre, por acción del intemperismo físico, químico y biológico.

a) ARCILLAS DE ORIGEN HIDROTHERMAL.- Ocurren como halos de los cuerpos o vetas de metales que forman sulfuros, sulfosales, etc. de dimensiones variables. Estas arcillas son el producto de la interacción de fluidos hidrotermales compuestos de agua, gases, complejos metálicos, etc. que actúan sobre los silicatos formadores de rocas que constituyen las vetas de los yacimientos mineralizados.

b) ARCILLAS DE ORIGEN SUPERGENO.- Estas arcillas se forman por la alteración de las rocas que están sometidas al intemperismo donde por acción de la hidrólisis se liberan los metales alcalinos y alcalinos térreos acompañados de un proceso de pérdida de silicio lo cual hace que contengan menos sílice que las rocas.

5to.- EN BASE A LAS CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ARCILLAS.

Se tiene la siguiente clasificación :

a) AMORFA.- Todo aquel tipo de arcilla sin forma regular

que no arroja un patrón de difracción de rayos X ni tetraedros de silicio; los iones metálicos en coordinación octaedral se encuentran distribuidos al azar.

b) CRISTALINA.- Todo aquel tipo de arcilla que se caracteriza principalmente por su homogeneidad y por la propiedad de tomar espontáneamente una forma geométrica. Obedecen a la ley de Bragg, cuando un flujo de rayos X monocromáticos incide sobre una muestra de arcilla permitiendo la determinación de las distancias interplanares y los índices de Miller; pueden ser :

i. DE DOS CAPAS.

- Equidimensionales.- Grupo de la caolinita (caolinita, dickita, nacrita).
- Alargadas.- Halloysitas.

ii. DE TRES CAPAS.

- Red expansible.

- * Equidimensional.

- . Montmorillonita
- . Vermiculita

- * Alargado.

- . Nontronita
- . Saponita
- . Hectorita

- Red no expansible.

* Illnitas.

iii. DE CAPAS MIXTAS

* Atapulgita.

* Sepiolita.

* Palygorskita.

2.1.1.2 Componente de la Arcilla.

La composición de la arcilla es importante para los fines de diseño; construcción de maquinarias, equipos que se emplean en la fabricación de ladrillos y para el procesamiento de otras arcillas similares.

Los componentes de algunos tipos de arcilla es como se muestra a continuación :

a) PARA LA ARCILLA INDUSTRIAL.- Entre los constituyentes de la arcilla principal se encuentran :

Arcilla pura	47%
Alúmina	39%
Agua	14%

b) PARA LAS ARCILLAS NO INDUSTRIALES.- Las arcillas de este tipo son : grasa, magra, superficiales, esquisitosas, refractarias, calcáreas, no calcáreas, hidrotermales, supérgenas, amorfas y cristalinas.

En la tabla 1 se dan ejemplos comparativos de composición de las arcillas tipo magra, grasa, greda y cenicero.

2.1.1.2.1 Componentes mas Importantes de las Arcillas

La sílice y los silicatos son los componentes de las arcillas mas importantes.

a) Sílice (SiO₂).- Este material, a la presión atmosférica y bajo condiciones de equilibrio presenta tres formas alotrópicas a medida que se enfría el sílice líquido; siendo estas formas

1ro. La cristobalita.- Cuando se enfría el sílice líquido desde 1710 a 1470 °C.

2do. La tridimita.- Cuando se enfría el sílice líquido desde 1470 a 870 °C, y

3ro. El cuarzo.- Cuando se enfría el sílice líquido por debajo de 870 °C.

La transformación $\beta \rightleftharpoons \alpha$ del cuarzo es rápida y puede destruir un lote de ladrillos de sílice si no se la controla, debido a que las celdas unitarias de las formas cristalinas son bastantes complejas.

La sílice se emplea en hornos de ladrillo refractario donde hay altas temperaturas. Con agregado de un 2% de Ca(OH)₂ se forma un líquido que cementa los granos du-

rante el calentamiento y también cataliza la transformación de parte del cuarzo en una mezcla de cristobalita y tridimita.

b) Alúmina (Al_2O_3).- La alúmina se usa extensamente como refractario, debido a su alto punto de fusión, se emplea como elemento conformador y se sinteriza a altas temperaturas para producir: ladrillos, tubos y crisoles.

c) Magnesia (MgO).- Obtenida calentando la dolomita que es un carbonato de Magnesio y Calcio $(Mg,Ca)CO_3$, eliminando el CO_2 .

Da lugar al refractario dolomita.

La ventaja de este refractario es que presenta una escoria rica en CO_2 . Si las paredes del horno o cazo se hacen de SiO_2 , el CaO hace de fundente para formar un vidrio de bajo punto de fusión.

2.1.2 Propiedades de las Arcillas para la Fabricación de Ladrillos

La bondad de una arcilla en calidad de materia prima para la fabricación de ladrillos depende básicamente de las siguientes propiedades

- Plasticidad
- Capacidad aglutinante
- Capacidad de absorción y cesión de agua
- Contracción en el secado y cocido

- Comportamiento ante el calor.

A.- PLASTICIDAD.- La arcilla amasada con cierta cantidad de agua, forma la pasta arcillosa que posee coherencia y plasticidad. Al mojar la arcilla seca, se percibe un olor característico de tierra mojada y el desprendimiento de calor. Las moléculas de agua (dipolos) penetran entre las partículas lenticulares de caolinita y las acuñan (fig. 2.1) provocando el hinchamiento de la arcilla. Las capas finas de agua entre las partículas estratiformes de minerales arcillosos condicionan las propiedades características de la pasta arcillosa, por eso la arcilla amasada con agua proporciona una pasta plástica bien moldeable.

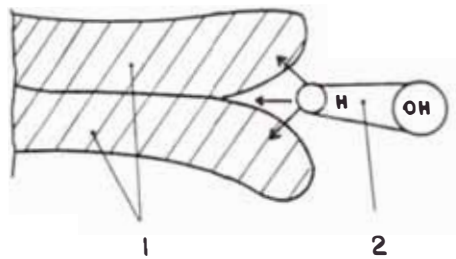


Fig. 2.1. Esquema de la acción acuñadora que ejerce el agua absorbida. (Ref. M.J. Rogovoy).
(1) Partículas arcillosas aglutinadas con cargas negativas a los costados.
(2) Moléculas de agua dipolar.

La plasticidad es la propiedad de la arcilla en estado húmedo, de tomar bajo el efecto de una acción exterior la forma deseable sin que aparezcan interrupciones ni grietas. Durante el secado y cochura se conserva la forma adquirida inicialmente. Son indicadores de la presencia de plasticidad : si cuando arrollada la pasta en un cilindro y, curvada en forma de anillo, no se producen grietas, también, cuando estirada una tira, se deja notar visiblemente una reducción de sección antes de producirse la rotura por tracción.

La pasta arcillosa representa un sistema plastoviscoso, se caracteriza la plasticidad mediante el índice físico de plasticidad ϕ (s^{-1}), que representa la relación entre la tensión límite de cizallamiento τ_0 y la viscosidad plástica n :

$$\phi = \frac{\tau_0}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

El cuerpo no será plástico si $\phi = 0$. Esto es posible en dos casos

- 1) Cuando el sistema es fluido y $\tau_0 = 0$, o bien :
- 2) Cuando el cuerpo es frágil y $n \rightarrow \infty$. Las curvas que representa el índice en función de la humedad de la arcilla permite establecer la humedad óptima, correspondiente a la manifestación de la máxima plasticidad.

El Índice técnico de plasticidad se evalúa por el número de plasticidad.

$$PI = W_f - W_e \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

donde W_f y W_e son las humedades correspondientes a los límites de fluidez y de extensión de un cordón de arcilla en % (fig. 2.2).

Para producir artículos cerámicos de construcción se utilizan, por lo común, arcillas de plasticidad moderada, cuyo número de plasticidad está comprendido entre 7 y 15. Las arcillas de poca plasticidad que tienen número de plasticidad menor que 7, se moldean mal, mientras que las arcillas con número de plasticidad mayor que 15 se agrietan durante el secado y necesitan desgrasamiento.

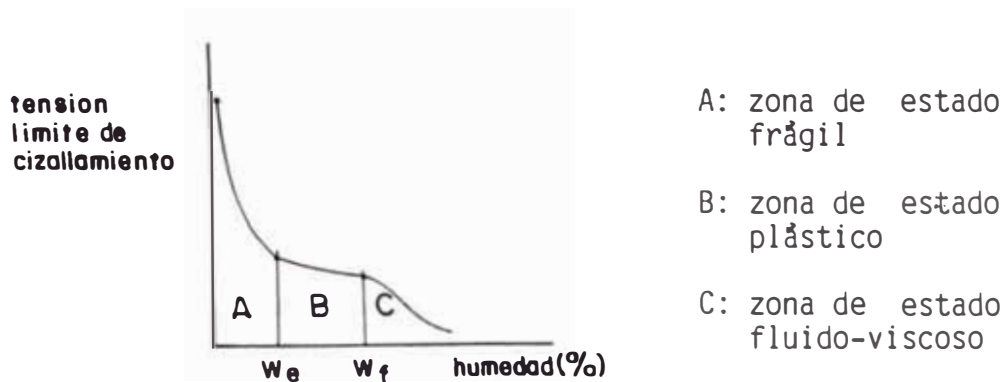


Fig. 2.2. Variación de las propiedades deformativas de la arcilla en función de su humedad. (Ref. M. I. Rogovoy)

B) CAPACIDAD AGLUTINANTE.- Se manifiesta en la posibilidad de cohesión de materiales no plásticos como arena, chamota, etc., después del secado da un artículo con bastante resistencia mecánica. La arcilla admite entremezclado en su masa cierta cantidad de material pulverulenta más o menos granulosa.

La capacidad aglomerante de los morteros arcillosos de construcción se utiliza durante el levantamiento de hornos y chimeneas.

Las arcillas grasas se caracterizan por que poseen una intensa plasticidad junto a una notable capacidad aglutinante.

C) CAPACIDAD DE ABSORCIÓN Y CESIÓN DE AGUA.- Está determinada por la mayor o menor facilidad de humectación que produce el esponjamiento de las partículas de arcilla.

Una particularidad de la pasta de arcilla es su capacidad de endurecerse al secarla al aire. La resistencia mecánica de la arcilla secada viene condicionada por la acción de las fuerzas de Vander Walls y la cementación de granos de minerales por los iones de impurezas. Las fuerzas de presión capilar atraen las partículas de arcilla impidiendo su corrosión en el aire.

Durante la saturación de agua desaparecen los meniscos, cesa la acción de las fuerzas capilares, las partículas se

desplazan libremente en el exceso de agua y la arcilla se empapa. Las arcillas magras secan antes y mejor que las grasas.

D) CONTRACCION EN EL SECADO Y COCIDO.- La contracción consiste en que se reducen las dimensiones lineales y el volumen de las piezas moldeadas de arcilla durante su secado (contracción térmica). La contracción se expresa en porcentaje del tamaño inicial del artículo. Los espacios porosos intermedios se reducen. Las arcillas grasas se contraen mas que las magras a causa de su mayor contenido en partículas esponjables con el agua. Estos procesos reducen los espacios porosos intermedios. La contracción está acompañada de la evaporación del agua contenida hasta que las partículas de arcilla no pueden cohesionarse entre sí. El agua evaporada recibe el nombre de agua de contracción, para distinguirla del agua que se desprende después de la cocción; una vez perdida esta agua, la arcilla no vuelve nunca a adquirir su condición plástica. La contracción aérea transcurre en el proceso de evaporación del agua a partir de la materia bruta, como consecuencia de la disminución del espesor de las capas acuosas alrededor de las partículas de arcilla, aparecen en los poros de la materia bruta de los meniscos y de fuerzas de presión capilar, tendientes a acercar las partículas.

Al final del secado aumenta el papel desempeñado por los fenómenos osmóticos de atracción intermolecular que

intensifica la retracción aérea. Para diferentes arcillas la retracción aérea lineal oscila entre 2-3 y 10-12 % en función del contenido de las fracciones finas.

E) COMPORTAMIENTO ANTE EL CALOR.- El comportamiento de la arcilla al calor depende del mayor o menor contenido de fundentes tales como ácido silícico, cal, óxido de hierro, magnesia y álcalis, del que depende un mayor o menor reablandamiento de la arcilla. Reablandamiento que, pasando por el estado vitrificado, puede llegar a la fusión. Las arcillas pobres en fundentes requieren más calor de cocción que las ricas.

2.1.2.1 Relación entre la Estructura y las Propiedades

La estructura del material se estudia en tres niveles :

- A) La macroestructura del mismo, o sea la composición que se ve a simple vista.
- B) Su microestructura, es decir, la composición que se ve en un microscopio óptico.
- C) La estructura interna de la sustancia que componen el material a nivel moléculo-iónico, estudiada recurriendo a los métodos del análisis por rayos X, de la microscopía electrónica, etc.

La macroestructura de los materiales de cons-

trucción puede ser de los siguientes tipos : de conglomerado, celular, de poros finos, fibrosa, estratificada, de granos mullidos (polverulenta).

Los conglomerados artificiales es un amplio grupo que reúne los hormigones de diferentes tipos, una serie de materiales cerámicos y otros.

La estructura celular se caracteriza por la presencia de macroporos inherentes a los hormigones alveolares y celulares, así como a los plásticos celulares.

La estructura de poros finos es inherente, por ejemplo, a los materiales cerámicos, cuya porosidad se obtiene aplicando los procedimientos de íntimo amasado con agua e introduciendo adiciones que se queman durante la cocción.

La microestructura de las sustancias que integran el material puede ser cristalina o amorfa.

La estructura interna de las sustancias que integran el material determinan la resistencia mecánica, dureza, el carácter refractario y otras propiedades importantes del material.

El material de construcción se caracteriza por las composiciones químicas, mineralógicas y de fase.

La composición química de los materiales de cons-

trucción permite tener una idea acerca de una serie de propiedades del material, tales como : la resistencia al fuego, estabilidad biológica, las características mecánicas y otras características técnicas. La composición química de muchos aglomerantes inorgánicos (cemento, cal, etc.) y de los materiales de piedra resulta cómodo expresarla mediante la cantidad de óxidos (en %) que éstos contienen. Los óxidos ácidos y básicos están vinculados químicamente entre si y forman minerales que son los que definen muchas propiedades del material.

La composición mineralógica muestra cuales minerales y en que cantidad se contiene al aglomerante. La composición de fase del material y la transición de fase agua, contenida en sus poros, ejercen influencia sobre todas las propiedades y el comportamiento del material durante la explotación. En el material se pueden destacar las sustancias sólidas que forman las paredes del poro, es decir, la "carcasa" del material y los poros llenos de aire y agua.

2.1.3 Parámetros del Estado y Características Estructurales de los Materiales de Construcción

2.1.3.1 Parámetros del Estado

La densidad ρ (gr/cm³, kg/m³), es la masa de la unidad de volumen de un material absolutamente

compacto. Si la masa del material es m y su volumen absoluto en estado compacto V_a , entonces :

$$\rho = m / V_a \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

La densidad relativa expresa la razón entre la densidad del material y la densidad del agua (es una magnitud adimensional).

Los materiales de construcción, con pocas excepciones (metales, vidrio, monominerales), son porosos. El volumen del material poroso en estado natural (es decir junto con poros encerrados en él) V_n se compone del volumen de la sustancia sólida V_a y el volumen de poros V_p (fig. 2.3).

$$V_n = V_a + V_p \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

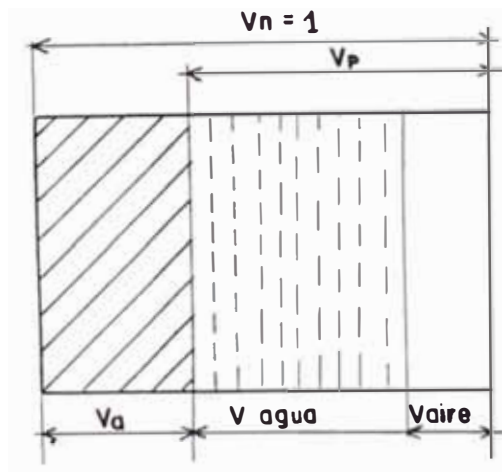


Fig. 2.3. Esquema de las partes integrantes de un material poroso. (Ref. M.I. Rogovoy).

- V_a : Volumen absoluto
- V_n : Volumen en estado natural (con poros)
- V_{agua} : Volumen del agua
- V_{aire} : Volumen del aire
- V_p : Volumen de los poros

Para medir con exactitud el volumen de los poros se utiliza el Helio licuado, tomando en consideración su superfluidez y la capacidad de penetrar en poros finos. Conociendo el volumen de los poros encerrados en él, se halla el volumen ocupado por la sustancia $V_a = V_n - V_p$ y se calcula la densidad según la fórmula (2.3).

El método típico para determinar la densidad y porosidad de los materiales (de hormigón, ladrillo, etc.) prevé la trituración de la prueba previamente secada hasta reducirla a polvo que pasa a través de un tamiz con orificios de 0.25 mm. El volumen absoluto V_a de una muestra m del polvo se mide por medio de un picnómetro. Se adopta igual al volumen del líquido desalojado por el polvo. La densidad se calcula según la fórmula (2.3).

La masa volumétrica γ (gr/cm³. kg/m³), es la masa de la unidad de volumen del material en estado natural (el volumen V_n se determina junto con los poros) :

$$\gamma = m / V_n \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

Los valores de la masa volumétrica del material dado en estado seco y húmedo están vinculados mediante la relación.

$$\gamma = \gamma_h (1 + w_m) \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

donde w_m es la cantidad agua en el material, en fracciones de su masa.

La masa volumétrica de los materiales porosos siempre es menor que su densidad. En la tabla 2 se muestra algunas propiedades.

TABLA Nº 2

PROPIEDADES PRINCIPALES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION

(EN ESTADO SECADO AL ATRE)

DENOMINACION DEL MATERIAL	DENSIDAD (gr/cm ³)	MASA VOLUMETRICAMENTE CA (g/cm ³)	POROSIDAD (%)	CONDUCTIBILIDAD TERMICA (W/m °C)
HORMIGON :				
pesado	2.6	2.4	10.0	1.16
ligero	2.6	1.0	61.5	0.35
celular	2.6	0.5	81.0	0.20
LADRILLO :				
corriente	2.65	1.8	32.0	0.80
hueco	2.65	1.3	51.0	0.55
PIEDRAS NATURALES :				
granito	2.70	2.67	1.4	2.8
toba volcánica	2.70	1.40	52.0	0.5
VIDRIO :				
de ventana	2.65	2.65	0.0	0.58
celular	2.65	0.30	88.0	0.11
MATERIALES POLIMEROS :				
Material compuesto:				
plástico a base de fibra de vidrio	2.00	2.00	0.0	0.5
Polímero				
resina de urea-formaldehido				
(polímero esponjoso)	1.20	0.015	98.0	0.03
pino	1.53	0.500	67.0	0.17
tabla de fibras	1.50	0.200	86.0	0.06

(Ref. M.J.Rogovoy)

2.1.3.2 Características Estructurales

La estructura de un material poroso se caracteriza por la porosidad general, abierta y cerrada por la distribución de los poros a tenor de sus radios, por el radio medio de los poros y por la superficie interna específica de los poros.

La porosidad P es el grado en que el volumen del material es ocupado por los poros.

La porosidad se expresa en fracciones del volumen del material, considerándolo por 1, 5 en % de volumen.

El método experimental (directo) para determinar la porosidad se funda en la sustitución del espacio poroso en el material por helio licuado o por otro medio.

El método experimental matemático para determinar la porosidad utiliza los valores de la densidad y masa volumétrica del material secado (ρ y γ), hallados por vía experimental y que forman parte de la fórmula para calcular la porosidad.

$$p = (1 - \gamma / \rho) \times 100 \quad \dots\dots(2.7)$$

La porosidad de los materiales de construcción oscila dentro de amplios límites de 0 a 98% (tabla 2).

El coeficiente de densidad K_{den} es el grado en que

el volumen del material queda ocupado por la sustancia sólida.

$$K_{den} = \gamma / \rho \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

La suma de $P + K_{den} = 1$ (ó 100%), es decir el material seco puede representarse como sustituto por un armazón sólido que garantiza su resistencia mecánica y los poros de aire.

2.1.4 El PH y la Aptitud de Moldeo de las Tierras

La moldeabilidad y otras propiedades de las arcillas empleadas en la fabricación de ladrillos y tejas se mejoran regulando el valor de su PH.

La experiencia muestra que el valor de PH de las arcillas es bien variable y se sitúa prácticamente entre 3 y 9. La gran mayoría de las arcillas cerámicas tienen entre 4 y 6, a excepción de aquellos que son saturadas de carbonato o bicarbonato.

Estas diferencias se explican fácilmente si se consideran :

1. Que las materias primas están constituidas de minerales o de mezcla de minerales diferentes : kaolinita, montmorillonita, etc. que tienen iones ácidos diferentes.
2. Sobre todo que los ácidos de las arcillas son más o

menos saturados para diferentes cationes.

3. Las arcillas contienen sales solubles como : $SO_4 Ca$, $SO_4 Mg$, piritas, etc. También materiales orgánicos en forma de lignita, ácido húmico, materiales carbonificados.

4. El PH de las arcillas está condicionado por la naturaleza y por las impurezas que lo constituyen.

5. Las arcillas con PH entre 8 a 9 contienen gran proporción de sales solubles básicas, notablemente de carbonatos, bicarbonatos o silicatos de enlaces polivalentes, con presencia posible de limonita.

6. Las arcillas naturales son en realidad constituyentes de arcillas más o menos químicamente neutros.

2.1.5 Regulación del PH

Una buena regulación de PH permite el extrusado de productos, agujereados perfectos, sin arrancamiento de tabiques, produciéndose generalmente un secado perfecto, mejorando la impermeabilidad.

Para la regulación del PH se puede recurrir a los hidróxidos de sodio, potasio o amoníaco. La cantidad de producto a agregar corresponde a la neutralización del ácido arcílico.

En la curva de neutralización aparecen varios puntos de

inflexión, importando naturalmente el último punto que se sitúa sobre la zona básica. Si la cantidad de sal soluble es débil, un tratamiento de carbonato puede bastar, si esta cantidad es apreciable se debe tratar la arcilla con carbonato de bario, sin el cual el sulfato de sodio formado a expensas de las sales ($\text{SO}_4\text{Ca} + \text{SO}_4\text{Mg}$) podría provocar una floculación nefasta. Los ensayos muestran que el tratamiento que ofrece en general los mejores resultados es aquel en el cual el PH de las arcillas ácidas se lleva entre 6 y 8.5 y el de las arcillas neutras o básicas entre 7 y 10.5.

2.1.6 Acción del PH en la Temperatura de Cocción

Con la regulación adecuada del PH, la temperatura de cocción puede ser reducida, aproximadamente, hasta en 10%. Por que debido a la acción del PH se logra textura mas compacta, menos porosidad, mayor resistencia a la compresión y flexión del producto final obtenido.

2.1.7 Acción del PH Sobre el Color

Generalmente se logra mejor color y es posible obtener productos rojos con las arcillas calcáreas que se cuecen ordinariamente y son de color amarillo claro. Los agregados de carbonato de bario adicionados para evitar las efervescencias desplazan el calcio y el magnesio en forma de carbonatos insolubles e inofensivos, pueden ser suprimidas.



Fig. 2.4
Arcilla sin
tratar
(Ref. Jouenne)

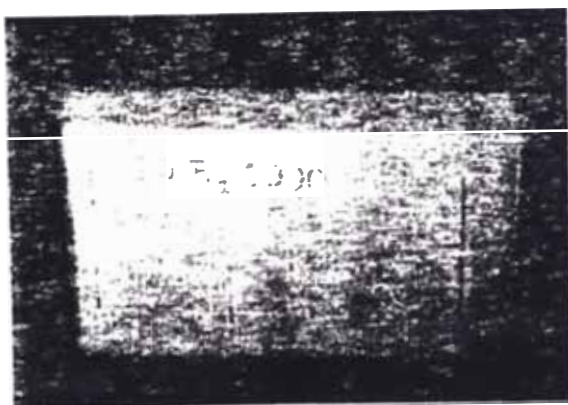


Fig. 2.5
Arcilla tratada
con CO_3Na_2
(Ref. Jouenne)

2.1.8 Acción del Carbonato de Sodio y la Curva de Neutralización

El carbonato de sodio estando ya disuelto en la arcilla reacciona mejor y su acción es más eficaz que si se le agrega seco a la tierra. (Fig. 2.6 y 2.7).

En la Fig. 2.6 se observa que la neutralización es rápida de 0 a 0.3% de carbonato, más lenta con agregado de 0.6%. Después no se observa variación del PH en función de la cantidad de carbonato agregado. El estirado de la tierra

sola conduce a la formación de aristas. (Fig. 2.4).

Y el agregado de 0.6% de CO_3Na_2 la suprime totalmente. (Fig. 2.5).

Requeriéndose, por lo tanto, menor cantidad de agua para el moldeo y disminuyendo la contracción para el secado.

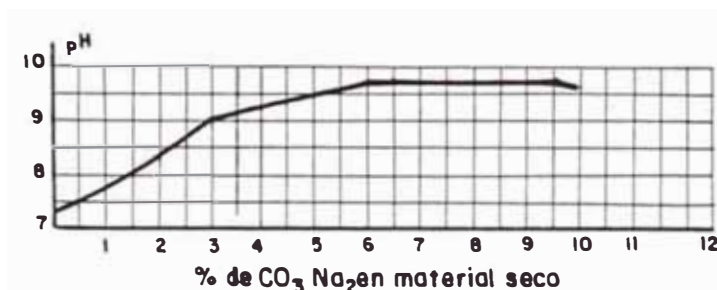


Fig. 2.6. Curva de Neutralización para la tierra fresca A. (Ref. Jouenne)

La tierra B es ligeramente más básica y la curva de neutralización (Fig. 2.7) muestra la saturación para un agregado de 0.5% de CO_3Na_2 porque la pendiente deviene en seguida muy débil. La tierra sola presenta aristas que son evitadas por el agregado de 0.5% de carbonato de calcio. Aún en ese momento la cantidad de agua de moldeo ha disminuido, pero la contracción durante el lapso de secado no varía. La porosidad en crudo es notablemente disminuída pasando de 29.1 a 26.4%, lo que indica una mejor dispersión de

la arcilla en medio de los granos de arena. Los resultados obtenidos después de la cocción son idénticos con respecto de A, y la porosidad mínima para una misma temperatura de cocción se debió a una mejor acción de los elementos fundentes de la arcilla. La resistencia a la rotura pasa de 650 kg/cm² para la tierra sola cocida a 1100°C, hasta 780 kg/cm² para la tierra tratada cocida a la misma temperatura.

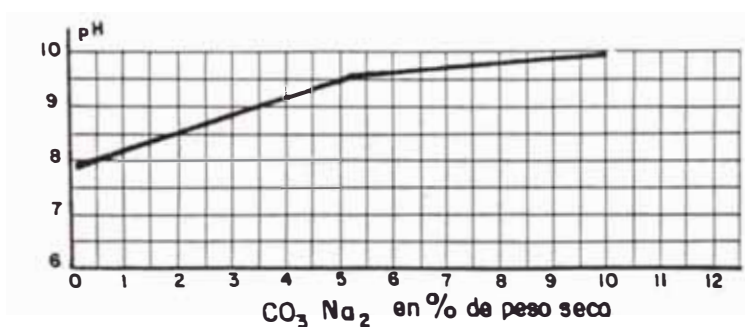


Fig. 2.7

Curva de Neutralización
para la tierra fresca B
(Ref. Jouenne)

A continuación en la Tabla Nº 3 se muestra la comparación de dos tipos de tierra. La tierra A contiene poca sílice, pero la arena que contiene se presenta en granos gruesos, lo que le confiere una mala plasticidad.

TABLA Nº 3

SEGUN JOUENNE SE MUESTRAN LOS SIGUIENTES RESULTADOS.

RESULTADOS EN CRUDO :

	TIERRA A		TIERRA B	
	BRUTO	NEUTRALIZADO	BRUTO	NEUTRALIZADO
HUMEDAD DE MOLDES	22.27	20.50	26.60	23.50
CONTRACCION AL SECADO	5.90	4.80	7.0	7.0

RESULTADOS DESPUES DE LA COCCION :

TEMPERATURA DE COCCION (°C)	PERDIDA AL FUEGO			
	TIERRA A		TIERRA B	
	BRUTO	NEUTRALIZADO	BRUTO	NEUTRALIZADO
1000	4.70	4.69	13.38	10.01
1050	4.83	4.79	12.44	9.04
1100	4.78	4.84	7.70	3.93
1150	4.89	4.88	5.75	2.38

TEMPERATURA DE COCCION (°C)	POROSIDAD			
	TIERRA A		TIERRA B	
	BRUTO	NEUTRALIZADO	BRUTO	NEUTRALIZADO
1000	4.00	4.52	17.07	16.07
1050	4.07	4.59	16.67	14.47
1100	4.18	4.63	11.36	9.87
1150	4.27	4.74	1.59	1.34

2.2 Métodos Para la Fabricación de Ladrillos

Los métodos empleados para la fabricación de ladrillos son :

2.2.1 Método Manual

Actualmente es aplicado para la fabricación de ladrillos macizos.

El 90% de los ladrillos peruanos King-Kong se fabrican siguiendo este método.

2.2.2 Método Mecánico

Este método implica el empleo de maquinarias según el proceso a seguir para el moldeo. Son de dos tipos :

A) PRENSADO.- Este método corresponde al perfeccionamiento del método manual.

La arcilla tratada y semiseca, es moldeada por la aplicación de la presión, obteniéndose geometrías definidas.

Este método es aplicable a los ladrillos caravista y a los refractarios.

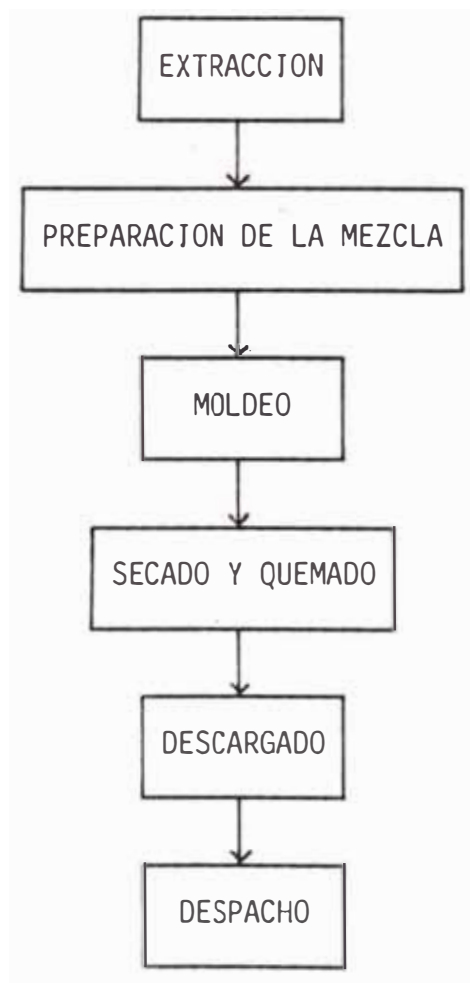
B) EXTRUSION.- Este es el método más usado en la industria. La máquina empleada se denomina Extrusora, y consta de un eje con paletas que transporta a la masa de

arcilla en forma continua, haciendo salir por la boquilla de la matriz en la forma deseada : sólido o hueco.

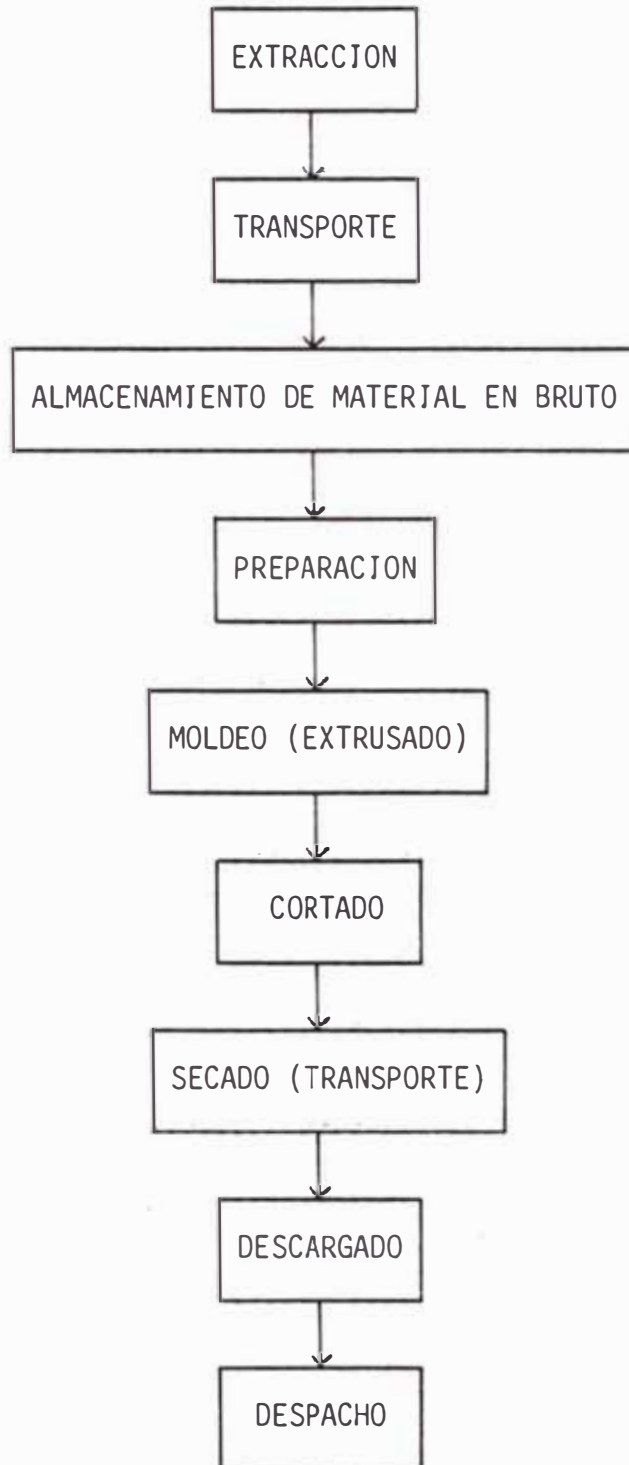
El material sale con la suficiente consistencia que le permite soportar su propio peso y es cortado por medio de un alambre de acero.

2.3 Diagramas de Flujo en la Fabricación de Ladrillos

2.3.1 Diagrama de Flujo Para la Fabricación Artesanal de Ladrillos



2.3.2 Diagrama de Flujo Para Fabricación de Ladrillos Por Extrusión



2.4 Proceso de Fabricación General

El proceso de fabricación tiene 6 fases.

- (1) Minería o extracción minera y almacenamiento de material bruto,
- (2) Preparación del material bruto.
- (3) Moldeado de unidades.
- (4) Secado.
- (5) Quemado y enfriado.
- (6) Conducción y almacenamiento de los productos terminados.

2.4.1 Extracción y Almacenamiento

La mayoría de las arcillas son extraídas de los hoyos abiertos, aunque algunas arcillas son obtenidas por la explotación de las minas subterráneas. Estas son transportadas a depósitos de almacenamiento por carriles o rieles. La fig. 2.8 muestra un tren minero descargando a una estación vertidero en el fondo desde donde un transportador conduce la arcilla al almacén. La mezcla de arcilla posee mínimas variaciones de las propiedades físicas y químicas durante la fase de almacenamiento. Después del almacenamiento la arcilla en terrones grandes se somete a un chancado preliminar almacenado. La Fig. 2.9 muestra la arcilla en la vía de chancado.

Esta fase de extracción depende de factores como:

- capacidad de la planta.
- naturaleza del yacimiento.
- profundidad de trabajo.
- estrato del material.
- distancia entre yacimiento-planta.
- sistema de transporte.

Mediante el almacenamiento de la arcilla en la planta se logra el abastecimiento apropiado.

El almacenamiento proporciona las siguientes ventajas :

- Eliminación de interrupciones y paralizaciones por falta de materia prima.
- Homogenización del material por aereación.

2.4.2 Preparación de la Mezcla

Desde los depósitos de almacenamiento. La arcilla pasa por la chancadora, la cual la reduce a partes relativamente pequeñas (50 mm y más pequeños) y las piedras son removidas. La Fig. 2.10 muestra una chancadora reversible que conduce al material arcilloso a molidoras donde éstas son convertidas a tierras muy finas y completamente mezcladas, controlada desde un tablero. La chancadora conduce a la arcilla ha-

cia la molidora (Fig. 2.11). En la Fig. 2.12, se muestra criba vibratoria por la cual pasan solamente materiales bastante finos. Las partículas toscas son devueltas a las molidoras para su proceso posterior (Fig. 2.13), mientras el material fino es elevado al almacenamiento.

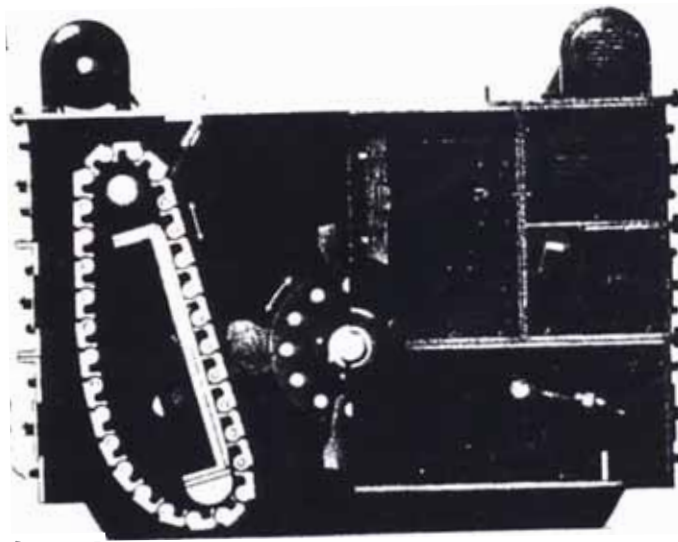


Fig. 2.10
Chancadora reversible de arcilla
(Ref. Richard Blinn)

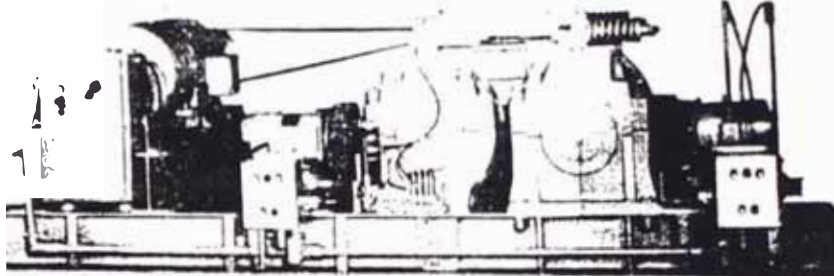


Fig. 2.13
Molino de rodillos
(Ref. Richard Blinn)

La preparación de la arcilla consta de los siguientes pasos

- remoción de la materia prima.
- empobrecimiento de la arcilla.
- laminado de la arcilla.
- amasado.

2.4.2.1 Remoción de la Materia Prima

Se realiza con la finalidad de eliminar los materiales extraños que traen las arcillas al ser extraídas del yacimiento.

2.4.2.2 Empobrecimiento de la Arcilla

Se realiza con el propósito de lograr la homo-

genización de la arcilla, dejándolo a la intemperie durante algunos días.

2.4.2.3 Desmenuzado de la Arcilla

Se realiza con la finalidad de facilitar el trabajo durante las etapas siguientes del proceso de fabricación del ladrillo.

Los trozos de arcilla son reducidos a partículas pequeñas.

Las maquinarias empleadas para esta operación son :

- Molinos de bolas.
- Molinos de martillos.
- Desmenuzadoras de cuchillas.

"Cada tipo de máquina tiene una utilización característica".

2.4.2.4 Laminado de la Arcilla

Esta operación se realiza después del desmenuzamiento de la arcilla.

La arcilla pasa por un laminador formado por dos cilindros que giran en sentidos opuestos.

La arcilla, que pasa entre los dos cilindros,

es aplastada.

La luz entre los cilindros puede variar según la calidad de la mezcla y el tipo de ladrillo a fabricar.

2.4.2.5 Amasado

Es la operación consistente en la correcta adición de agua sobre la arcilla, para lograr una mezcla uniforme y plástica.

El amasado tiene como objetivo lograr el porcentaje de humedad, plasticidad y consistencia que la mezcla requiere en la extrusora.

El amasado es un proceso continuo.

La maquinaria empleada para esta operación, es la amasadora. La amasadora más usada es la de doble eje. Cada eje provisto de cuchillas, giran en sentidos contrarios.

Las cuchillas cortan la arcilla y están inclinadas de tal forma que impulsan el barro, contenido en el cuerpo de la amasadora, hacia afuera.

2.4.3 Moldeado

El primer paso en el proceso de moldeado es el

atemperado de la mezcla de arcilla con agua en un molino. La cantidad de agua usada depende del método empleado para la formación de los ladrillos. Hay tres métodos usados :

- (1) Método del lodo rígido.
- (2) Método del lodo blando.
- (3) Método del prenoarrastre.

2.4.3.1 Método del Lodo Rígido

El agua solamente es usada para producir plasticidad, usualmente desde 12 a 15% por peso de arcilla. La arcilla plástica va a través de una máquina desaireadora para expulsar bolsas y burbujas de aire. Este método facilita el trabajo e incrementa los esfuerzos. Un molino de arcilla seca amasada es mostrando en la Fig. 2.14.

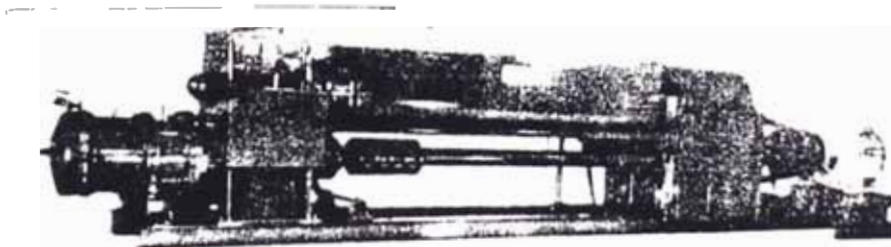


Fig. 2.14
Extrusor - matriz
(Ref. Richard Blinn)

La arcilla es entonces forzada a salir atravesando una matriz, produciéndose una columna continua de arcilla de forma y tamaño deseado. La cabeza de la matriz es mostrada en la Fig. 2.14. La columna pasa a través de una cortadora automática la cual corta las unidades a las longitudes apropiadas (Fig. 2.15).

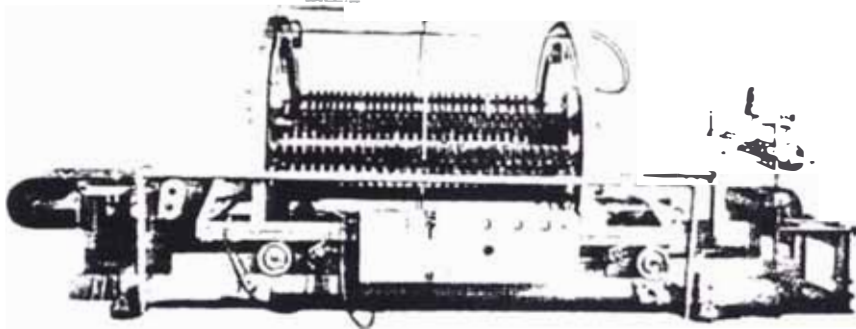


Fig. 2.15
Cortadora de ladrillos
(Ref. Richard Blinn)

Las unidades son conducidas mediante fajas transportadoras a un área de inspección donde las buenas unidades son descargadas a unos carriles de conducción para el secado y las unidades imperfectas son devueltas a la amasadora.

Muchos ladrillos y toda teja estructural de arcilla son fabricados por el proceso del lodo rígido.

2.4.3.2 Método del Lodo Blando

Es usado para fabricar ladrillos únicamente y, es empleado con arcillas las cuales tienen también mucha agua natural para el proceso del lodo rígido. Se usa de 20 a 30% de agua atemperada, y el ladrillo es conformado en moldes. Este es el método de producción más antiguo. Los moldes son lubricados con arena o agua. La Fig. 2.16 muestra una máquina para mezclado de arcilla por el método del lodo blando.

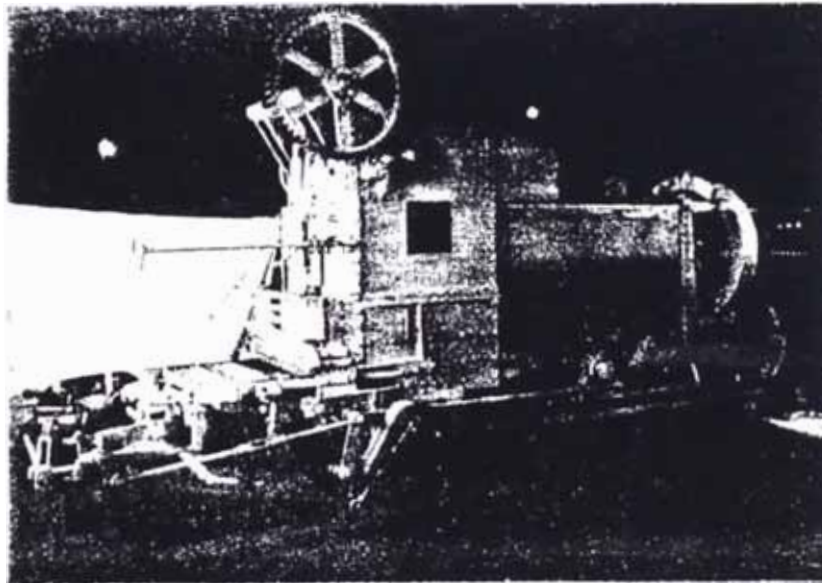


Fig. 2.16
Máquina para prensado en húmedo
(Ref. Richard Blinn)

2.4.3.3 Método del Preensoarrastre

Requiere un mínimo de agua atemperada, la máxima cantidad de agua requerida por unidad de peso de arcilla es alrededor del 10%. La mezcla relativamente seca es alimentada a la máquina de modo que forma los ladrillos en las matrices de acero a altas presiones (Fig. 2.17).



Fig. 2.17

Máquina para prensado en seco
(Ref. Richard Blinn)

2.4.4 Secado

Cuando las unidades compactadas provienen de las máquinas de moldeo contienen entre 7 y 30% de humedad, estas están distanciados en el horno del secador. El secado causa contracción, las cuales deben tomarse en cuenta para cuando el ladrillo esté empezando a formar el producto final al tamaño deseado.

La temperatura del horno de secado está dentro del rango de 37°C a 204°C y, el tiempo de secado varía desde 24 horas hasta 48 horas dependiendo del tipo de arcilla. El calor es usualmente proveído por los gases provenientes del horno de quemado. En todos los casos la humedad es fácilmente regulada evitando también la rápida contracción, causante de roturas. Cuando los ladrillos están enlozados (envidriados), es usualmente un hecho el fin del período del secado. Para el enlozado puede ser aplicado fuego bastante débil antes que el ladrillo sea quemado. La cerámica enlozada así mismo consta de una capa rociada de una mezcla de ingredientes de mineral sobre una o más superficies del ladrillo. El enlozado se derrite y se funde en el ladrillo produciendo una capa bastante deseada en los ladrillos de color.

2.4.5 Quemado

El quemado es un paso muy importante en la fabricación

del ladrillo. El tiempo requerido varía entre 40 a 150 horas, dependiendo del tipo de horno, del tipo de arcilla, del tipo de enlozado siendo estas algunas y otras variables. Entre los principales hornos usados actualmente se encuentran los hornos de túnel y los hornos periódicos. En los hornos túnel, el ladrillo seco pasa a través de una gradiente de temperatura en carros especiales. En los hornos periódicos la temperatura está variando periódicamente subiendo y bajando por etapas hasta que se complete el quemado.

El ladrillo debe ser colocado en el carro del horno o en el horno del modelo descrito de modo que permita la libre circulación de los gases calientes de quemado.

El combustible puede ser gas natural, petróleo o carbón.

El quemado puede ser dividido en seis fases generales formación de vapor de agua, deshidratación, oxidación, vitrificación, relampagueo, y enfriamiento. La temperatura varía bastante, dependiendo del tipo de material, cada paso ocurre en una zona de temperatura definida.

El vapor de agua (vapor de agua libre) toma temperaturas por encima de 205°C; la deshidratación entre 150-285°C; la oxidación entre 540 - 985°C y la vitrificación desde 875 a 1320°C.

Próximo al fin del proceso de quemado el ladrillo debe ser relampagueado por inyección de gases calientes o emisión de partículas al rojo vivo de carbón quemado durante un tiempo apropiado, o desde las zonas de localización. Cuando se quema combustible extra se forman manchas y variaciones en el color por todas las partes del conjunto de ladrillos expuestos.

El enfriamiento, toma de 48 a 72 horas, dependiendo del tipo de horno; que debe ser cuidadosamente controlado por tener el período de enfriamiento un directo efecto sobre el color, porque el enfriamiento rápido, también, causa rotura del ladrillo.

2.5 Proceso de Fabricación Seguido por el Método de Extrusión

2.5.1 El Método de Extrusión

Por ser este el método más empleado en la fabricación de ladrillos, especialmente de ladrillos huecos, los procesos fundamentales son :

- Preparación de la mezcla.
- Amasado.
- Moldeo.
- Cortado.
- Secado.
- Quemado.

2.6 Resumen de los Procesos de Fabricación de Ladrillos

Para producir una pieza de material cerámico, tal como un ladrillo, es necesario prensar o formar la pieza de un polvo o pasta y luego hornearla para sinterizar todos los granos y eliminar la humedad. Después del moldeo, para la obtención del ladrillo se puede optar por cualquiera de los siguientes procesos : plástico en barro, barro conformado, polvo seco prensado y fluido viscoso.

A) La transformación plástica en húmedo se efectúa por métodos diversos. En uno de los casos se taquea un refractario húmedo en un molde y luego se lo extruye para que salga el producto con una geometría determinada.

B) Prensado en polvo seco.- Esto se consigue rellenando un troquel en polvo y prensándolo. Generalmente el polvo contiene algún lubricante, tal como ácido esteárico o cera. La pieza fresca se somete al horneado y a medida que se calienta se elimina el agua y los ligantes volátiles, los fundentes de bajo punto de fusión se diluyen y se unen al material refractario y, la sinterización de los granos refractarios se lleva a cabo de 700 a 2000°C. Su aplicación es especialmente importante en el campo cerámico, debido a que el alto punto de fusión del material muchas veces hace imposible que éste se funda de modo que una los granos. La sinterización proporciona la solución puesto que la difusión del material hace que se establezca una verdadera unión entre los granos.

Cabe señalar también que las especificaciones de los ladrillos son sencillas, puesto que comprenden únicamente resistencia a la compresión que va desde 140 a 600 kg/cm² dependiendo del grado y tolerancia de las dimensiones.

2.7 El Ladrillo

2.7.1 Definición

El ladrillo es un bloque de arcilla, hueco o macizo, de forma paralelepédica, debidamente amasado, moldeado, compactado y sometido a cochura conveniente.

2.7.2 Característica del Buen Ladrillo

Todo buen ladrillo debe reunir las siguientes condiciones :

- a) Presentar granos compactos y resistencia para que no se desmorone fácilmente. Los que presenten fisuras no deben usarse.
- b) Ofrecer un sonido metálico cuando se le golpea. Los que producen sonido sordo son de mala calidad.
- c) Coloración uniforme; los ladrillos rojos son mejores que los amarillos.
- d) Aspecto luciente y sin caliches.
- e) Cochura adecuada; los poco cocidos o blandos se des-

moronan fácilmente como los demasiado cocidos.

f) En la fractura producida intencionalmente mediante golpeteo los ladrillos no deben presentar trozos blancusinos o crudos. La rotura debe mostrar granos uniformes, no deben ser porosos.

g) La absorción de agua no debe exceder del 7% de su peso.

2.7.3 Clases de Ladrillos Para Construcción

Los ladrillos para construcción se clasifican en :

- macizos; y
- huecos.

2.7.3.1 Ladrillos Macizos

Son aquellos cuya masa es continúa y sin perforaciones. Se da su uso generalizado en la construcción de muros. Como ejemplo se da el King-Kong.

2.7.3.2 Ladrillos Huecos

Son aquellos que presentan celdas interiores, que forman las discontinuidades o huecos, permitiendo reducir su peso. Como ejemplo se da el ladrillo pandereta.

En la tabla N°6 se muestran algunas características de forma de los ladrillos más conocidos. Ref. normas Itintec.

TABLA N° 6

DIMENSIONES Y PESOS DE LOS LADRILLOS SECOS

TIPO	DENOMINACION	DIMENSIONES (cm)	PESO UNITARIO (Kg)
MACIZOS	CORRIENTE	24 X 12 X 6	3.10
	ALTO	24 X 12 X 9	4.30
	KING-KONG	24 X 12 X 10	7.50
	LADRILLON	25 X 16 X 12	7.60
HUECOS	PANDERETA	24 X 12 X 10	2.45
		25 X 12 X 10	2.56
	DE DOS HUECOS	30 X 20 X 6	3.80
		40 X 20 X 12	7.15
	DE 3 HUECOS	25 X 14 X 6	10.20
		40 X 30 X 12	12.00
	DE 4 HUECOS	40 X 20 X 20	12.00
		45 X 40 X 12	14.00
	DE 6 HUECOS	25 X 12 X 10	3.10
		40 X 30 X 20	20.50

NOTA.- En las ciudades de Arequipa y Piura se emplean además de los ladrillos macizos corrientes, otros de menor altura denominados "ladrillos chicos" de dimensiones 24 x 12 x 14 y 24 x 12 x 4 cm.

2.7.4 Propiedades Mecánicas

La resistencia de los ladrillos es siempre mucho mayor que el de los morteros con los cuales siempre se asienta. La resistencia a la compresión es de 240 kg/cm^2 , la cual puede llegar al doble en los ladrillos macizos prensados, convenientemente quemados.

DENSIDAD.- La densidad de los ladrillos "para empaque" en general varía entre 1.6 y 2.5 gr/cm^3 . Usualmente se acepta una densidad de 2 gr/cm^3 .

2.8 Definición de Parámetros Para el Cálculo y Diseño de la Cortadora

2.8.1 Introducción

En los procesos de fabricación por extrusión seguidos en la mayoría de las ladrilleras, para la elaboración de ladrillos, el uso de la cortadora es indispensable, porque se obtiene una columna continua de arcilla, que se conoce como ladrillo verde.

La masa extrusada sale longitudinalmente por la boquilla de la matriz, completamente compactada y en forma continua requiriendo ser cortado a dimensiones generalmente normalizadas.

2.8.2 Principios Básicos de Funcionamiento de la Cortadora

Para la producción de cortes rectos durante el funcionamiento simultáneo de la extrusora y de la cortadora, es necesario que la velocidad de traslación horizontal del alambre cortador sea igual que la velocidad de la masa de arcilla extrusada.

La arcilla luego de ser extrusada, llamada columna de arcilla, es expulsada a través de la boquilla del extrusor, deslizándose sobre rodillos montados en una consola. Mediante la aplicación de una transmisión por engranajes, un motor eléctrico acciona a un contraeje en el que se encuentran montados dos catalinas que mueven a un par de cadenas, dispuestas en planos paralelos, que portan un alambre cortador.

2.8.3 Parámetros Para el Cálculo y Diseño de la Cortadora

Luego del proceso de extrusión se requiere cortar la columna de arcilla a dimensiones preferentemente normalizadas teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de ladrillo a cortar.
- Capacidad de corte.
- Longitud de corte.
- Tipo de cortadora a usar.
- Fuerza de corte.

2.8.3.1 Tipo de Ladrillo a Cortar

Considerando el proceso de extrusión seguido por la mayoría de las ladrilleras mecanizadas, el producto a cortar es del tipo denominado "LADRILLO HUECO"; dado que por este método se obtienen columnas de arcilla compactadas cuya sección transversal tiene agujeros, generados por la forma de la matriz.

2.8.3.2 Capacidad de Corte

Tomando como referencia la cantidad de ladrillos cortados por minuto, luego del proceso de extrusado, se ha visto conveniente diseñar la máquina cortadora para igual capacidad de corte correspondiente a 45 ladrillos por minuto, con el propósito de que si se construye la cortadora, ésta, puede ser utilizada en el futuro por las diversas ladrilleras de nuestro medio.

2.8.3.3 Longitud de Corte

Tomando como referencia el ladrillo tipo pandereta por ser éste el de producción más común en la mayoría de las ladrilleras. Siendo sus medidas 10 x 12 x 25 cm. correspondiendo su longitud de corte : 25 cm. y su sección de corte : 10 x 12 cm.

2.8.3.4 Tipo de Cortadora a Usar

En las ladrilleras que siguen el proceso de extrusión los tipos de máquinas cortadoras empleadas son

- Mecánicas.
- Oleo-hidráulicas.
- Electrónicas.

Teniendo conocimiento del principio de funcionamiento de otras máquinas cortadoras para el mismo uso, en el presente trabajo, se ha creído conveniente optar por el diseño de una máquina cortadora del tipo mecánico accionada por cadenas. Se trata de conjugar la tecnología con el costo, seguridad de funcionamiento, perfección de corte, sencillez de manejo y fácil mantenimiento; para lo cual se trata, en lo posible, el empleo de insumos nacionales.

2.8.3.4.1 Cortadora Mecánica

Entre estos tipos de máquinas se tienen :

- Cortadora de ladrillos huecos.
- Cortadora de ladrillos macizos.

2.8.3.4.1.1 Cortadora de Ladrillos Huecos

Estos tipos de máquinas se emplean mayormente para cortar los ladrillos verdes, producidos mediante el proceso de extrusión; entre ellos tenemos

- Cortadoras rotativas.
- Cortadoras reciprocantes.
- Cortadoras de varios hilos.

2.8.3.4.1.1.1 Cortadoras Rotativas

Estos tipos de cortadoras están accionadas por cadenas, dispuestas en planos paralelos, en un par de eslabones paralelos, de ambas cadenas, se monta un hilo cortador, el cual rota solidariamente con las cadenas que son accionadas por catalinas que están montados sobre un contraeje que es accionado por un motor eléctrico.

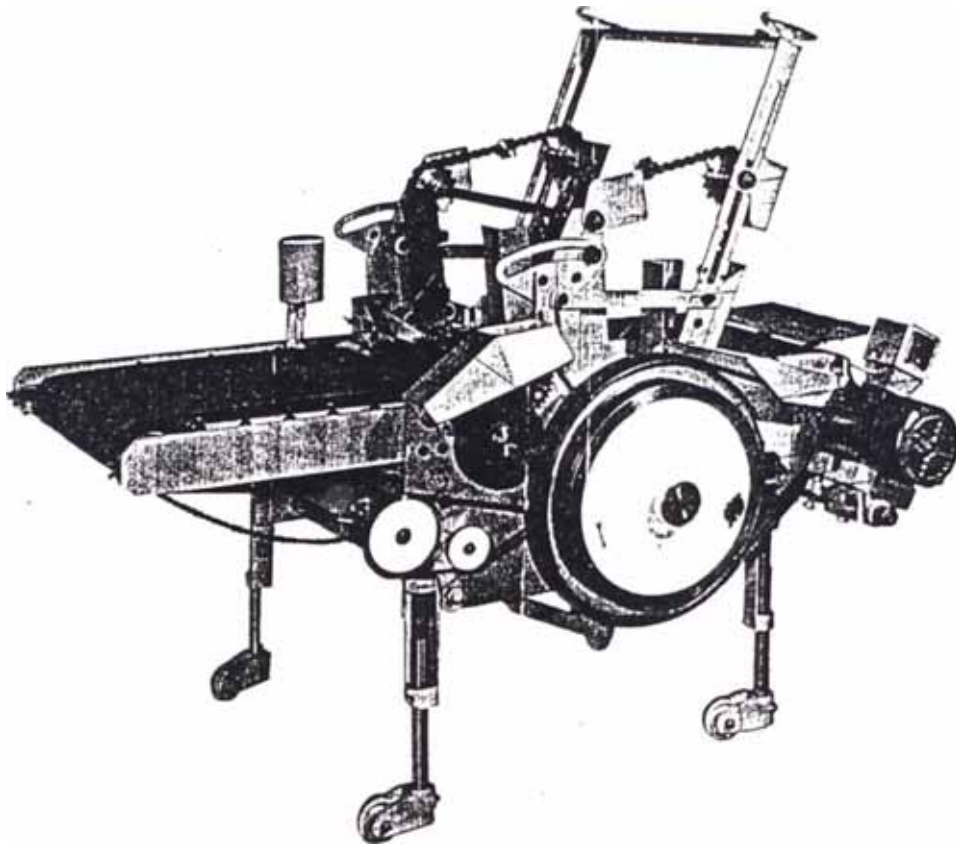


Fig. 2.18
Cortadora rotativa
(Ref. Seveco)

2.8.3.4.1.1.2 Cortadoras Reciprocantes

El principio de funcionamiento de estas máquinas está basado en la simulación del corte como si la barra de arcilla extrusada estuviera estático, evitándose, así, los cortes biselados.

Estos tipos de cortadoras tienen una leva acanalada frontal cuyo seguidor, que está fijado a un carro móvil, se desplaza horizontalmente con igual velocidad que el carro móvil y la masa extrusada que avanza entre él, evitándose el movimiento relativo del carro móvil respecto a la columna de arcilla. Se fija el alambre cortador en unos parantes que atraviesan por los costados laterales del carro móvil, cuyas articulaciones son accionadas por otra leva que controla la carrera vertical.

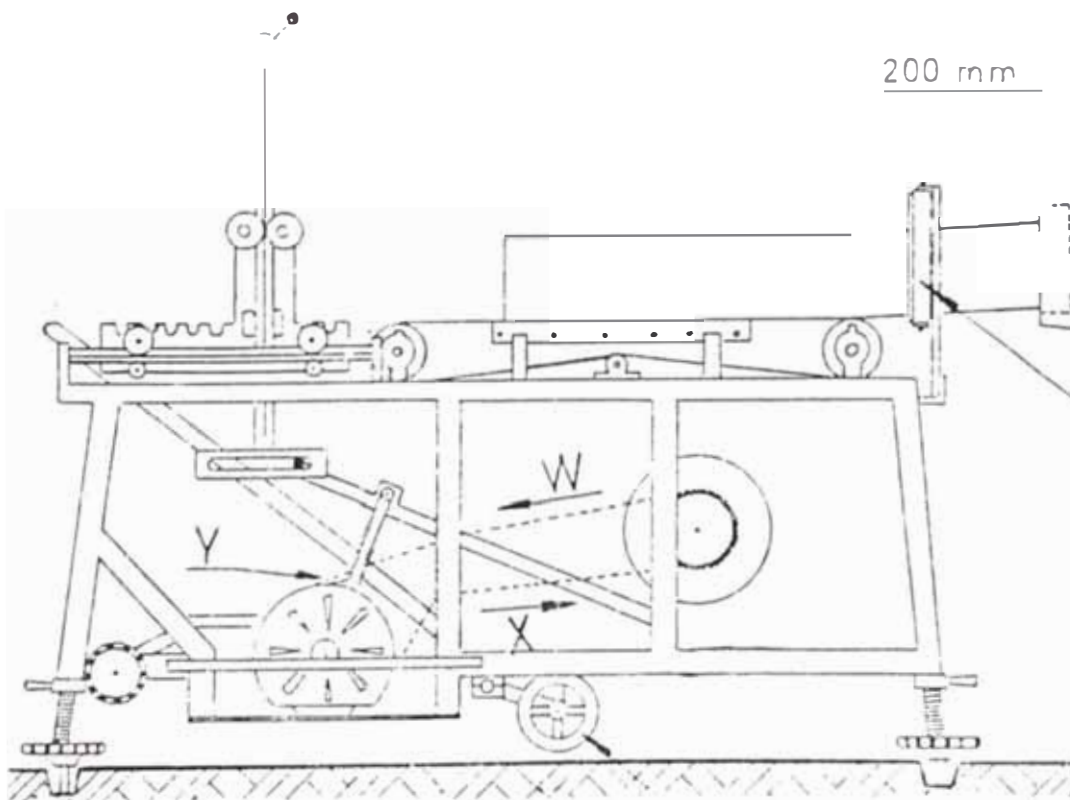


Fig. 2.19
Cortadora reciprocante
Ref. APIAC

2.8.3.4.1.1.3 Cortadora de Varios Hilos

Estos tipos de máquinas que son llamadas también cortadoras multihilos tienen varios alambres cortadores que permiten obtener varios ladrillos a la vez al cortar la columna de arcilla extrusada.

Estas cortadoras son ideales para grandes producciones, permitiendo asimismo hacer recortes, con lo que se obtiene mayor precisión.

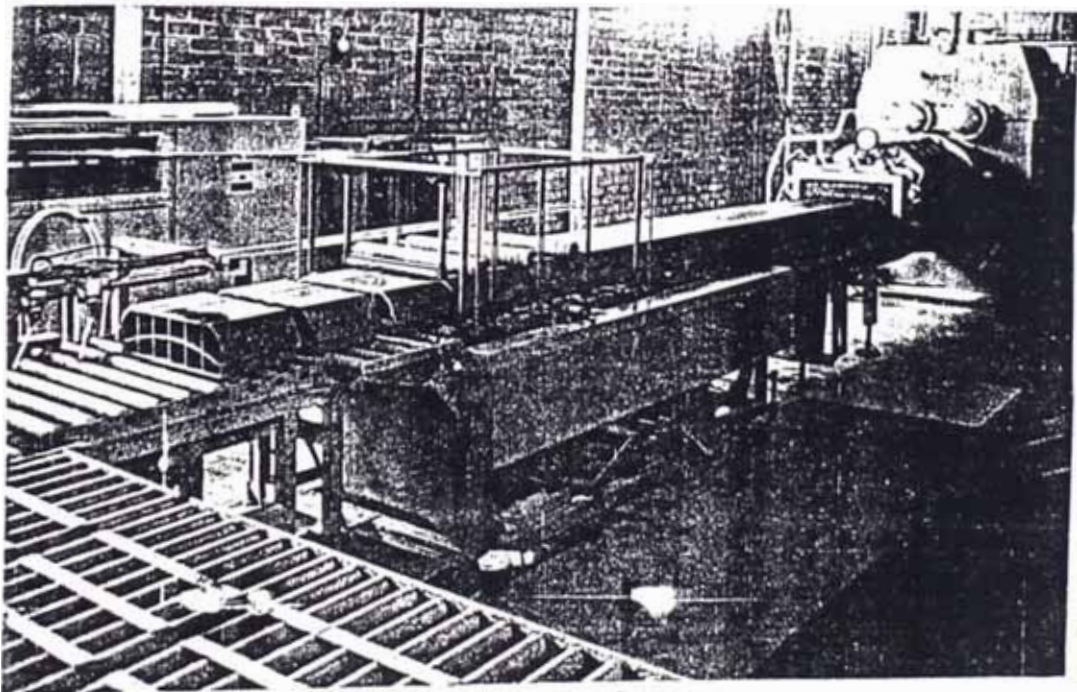


Fig. 2.20
Cortadora múltiple
(Ref. CEVECO)

2.8.3.4.1.2 Cortadoras de Ladrillos Macizos

Estos tipos de máquinas no se usan mayormente en nuestro medio, su empleo está destinado para plantas que siguen el proceso de fabricación de ladrillos por el proceso de prensado.

Básicamente entre estos tipos de máquinas tenemos :

- La cortadora múltiple.

2.8.3.4.1.2.1 La cortadora Múltiple

Estos tipos de máquinas son muy semejantes a las cortadoras múltiples de barras paradas.

2.8.3.4.2 Cortadoras Oleo-hidráulicas

Estos tipos de máquinas pueden emplearse para cortar, tanto, ladrillos sólidos y huecos.

Entre estos tenemos :

- La cortadora múltiple de barra parada.

2.8.3.4.2.1 La Cortadora Múltiple de Barra Parada

Este tipo de máquina corta simultáneamente varias columnas de arcilla compactada sólidos o huecos obtenidos por los procesos de prensado o extrusión respectivamente.

El uso de este tipo de cortadora obedece a las grandes producciones de ladrillos, obteniéndose

- Trozos cortos.
- Trozos largos.

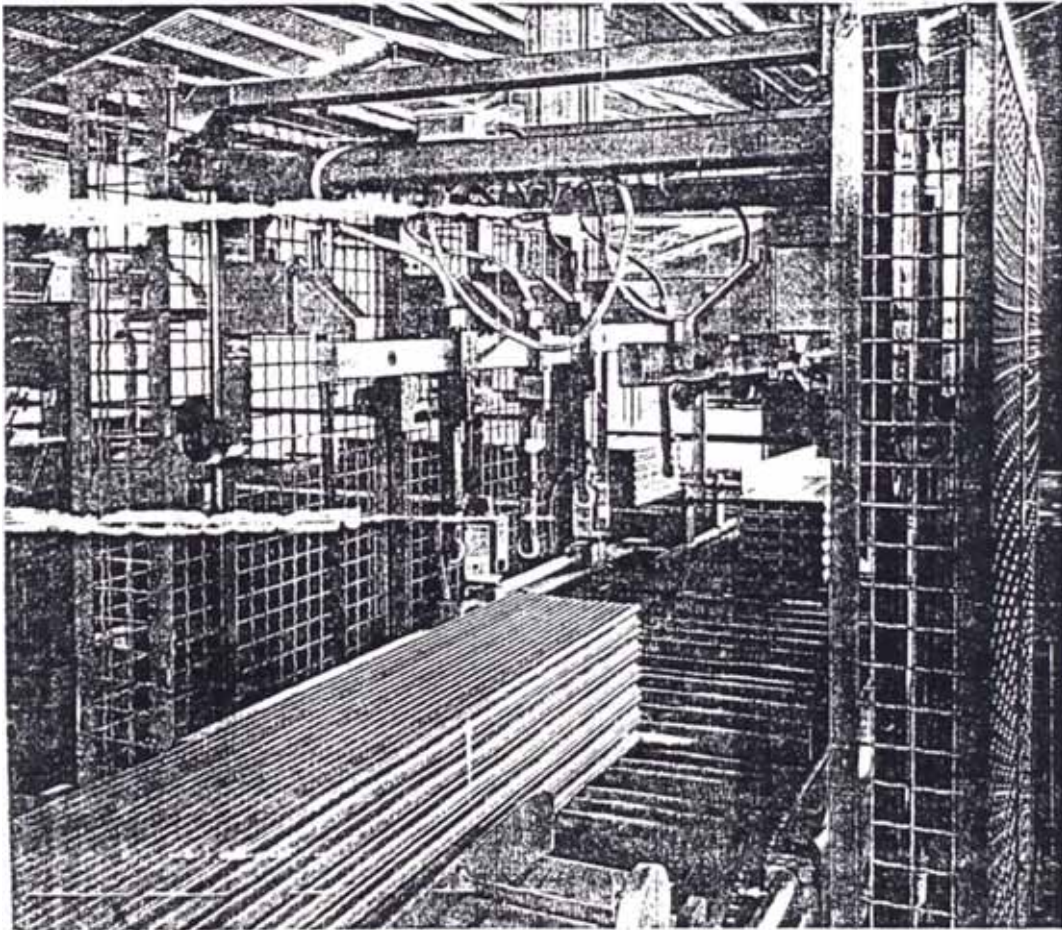


Fig. 2.21
Cortadora múltiple de barra parada
(Ref. CEVECO)

2.8.3.4.3 Cortadoras Electrónicas

Estos tipos de cortadoras constan de un control electrónico, que permite variar la longitud de corte cambiando la velocidad a través de un control digital.

Estas cortadoras están accionadas por un motor eléctrico de corriente alterna.

Con estos tipos de cortadoras se logran

- 1.- Gran exactitud de corte debido a la precisión de la transmisión.
- 2.- Fácil regulación de la longitud de corte por control numérico.
- 3.- Menor desgaste y fácil mantenimiento debido a la suave y transmisión variable sin equipo mecánico.
- 4.- Permanente precisión de corte cuando también cambia la velocidad de extrusión.
- 5.- Relación de control simple de las funciones y equipamiento combinado.
- 6.- Movimiento suave y uniforme.

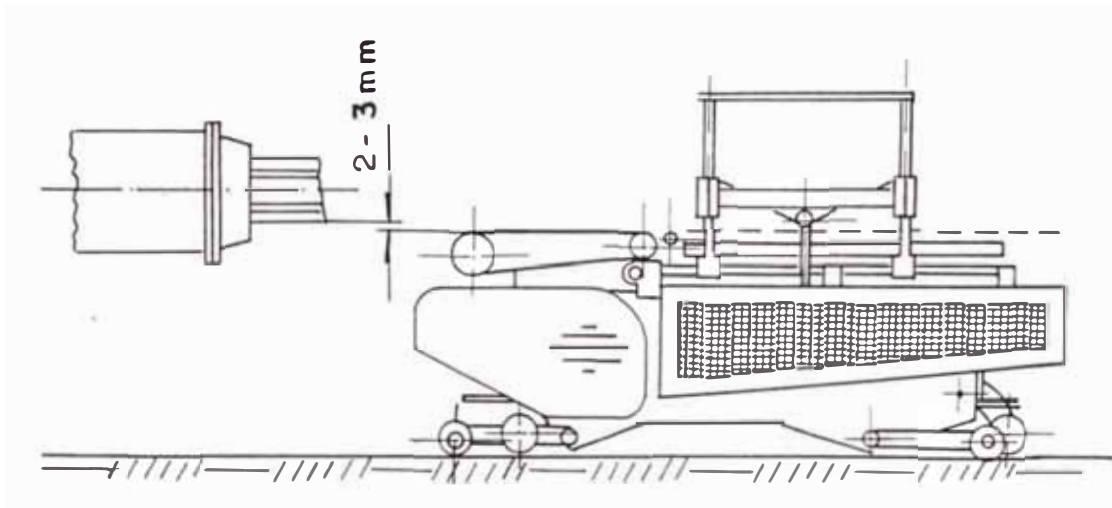


Fig. 2.22
Cortadora electrónica
(Ref. Freymatic)

2.8.3.5 Fuerza de Corte

Para el ladrillo propuesto la fuerza de corte (F_c) ha sido determinada experimentalmente empleándose un alambre de 1.0 mm. de diámetro y un ancho de corte de 12 cm., obteniéndose una carga de 5.75 kg. (0.479 kg/cm).

La prueba fue realizada en las instalaciones de la "Ladrillera Huachipa", sin embargo la máquina cortadora ha sido proyectada para un ancho de corte de 24 cm, equivalente a un ancho de corte de doble hilera; considerándose una carga de aproximadamente 11.5 kg.

CAPITULO 3

DISEÑO DE LA CORTADORA PROPUESTA

El presente diseño corresponde a una cortadora mecánica accionada por cadenas según se indica en 2.8.3.4.

3.1 Análisis Cinemático del Corte

3.1.1 Análisis Cinemático del Corte de la Masa

La velocidad de avance del ladrillo se determina en base a la capacidad de corte y a la longitud de corte del tipo de ladrillo a ser cortado. Como se muestra a continuación :

Datos conocidos :

- Capacidad de corte por minuto : 45 ladrillos
- Tipo de ladrillo : hueco
- Dimensiones del ladrillo : 10 x 12 x 25 cm.
- Longitud de corte : 25 cm.

3.1.1.1 Cálculo de la Velocidad del Ladrillo (V_1)

$$V_1 = 45 \text{ cortes/min} \times 1 \text{ min/60seg} \times 25 \text{ cm/1 corte}$$

Operando resulta : $V_1 = 18.75 \text{ cm/seg.}$

3.1.2 Determinación de la Velocidad del Alambre Cortador (V_2) y la Velocidad de Corte (V_c)

Para un ángulo operativo de corte $\alpha = 80^\circ$, conociendo la velocidad del ladrillo $V_1 = 18.75 \text{ cm/seg.}$, se calcula la velocidad de avance de la cadena V_2 . Según la Fig. 3.1, se nota :

- 1º. En la posición inicial del corte.- La partícula P_1 del ladrillo coincide con la partícula P_2 del alambre cortador.
- 2º. En la posición final del corte.- Las partículas P_1 y P_2 , están separadas una distancia igual a la altura del ladrillo, debido a la componente vertical de la velocidad del alambre cortador, en tanto su componente horizontal es la misma que la velocidad de avance del ladrillo.

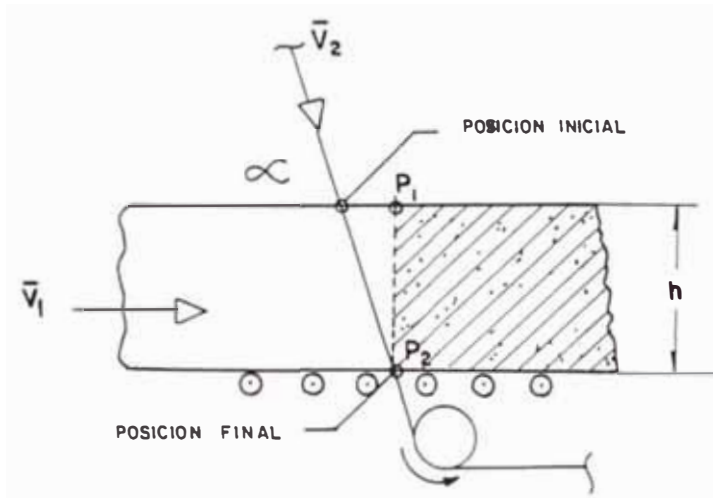


Fig. 3.1. Partículas P_1 del ladrillo y P_2 del alambre, separadas una distancia h en la posición final para un ángulo de corte " α ".

3.1.2.1 Representación Vectorial de los Efectos Cinemáticos del Corte

Para las condiciones de la Fig. 3.1 se obtiene el siguiente diagrama vectorial de velocidades mostrado en la Fig. 3.2, en la que se ha tomado la velocidad del alambre igual a la velocidad de la cadena sobre la cual está montado.

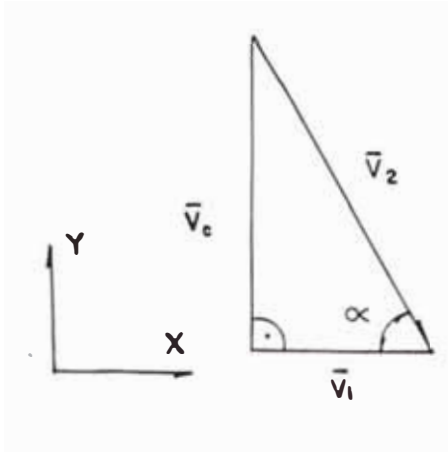


Fig. 3.2. Composición vectorial de la velocidad del alambre cortador.

Donde :

α : Angulo de corte = 80°

V_1 : Velocidad absoluta del ladrillo = 18.75 cm/seg.

V_2 : Velocidad absoluta del alambre cortador.

V_c : Velocidad de corte

$$\text{Se cumple : } \overline{V_c} = \overline{V_2} - \overline{V_1} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

3.1.2.2 Determinación de la Velocidad Absoluta del Alambre Cortador (V_2)

Del diagrama vectorial de velocidades, obtenemos

$$V_2 = \frac{V_1}{\text{Cos}\alpha} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Reemplazando el valor de $V_1 = 18.75$ cm/seg y el valor de $\alpha = 80^\circ$, determinado en las instalaciones de la ladrillera Huachipa, se tiene :

$$V_2 = \frac{18.75}{\cos 80^\circ}$$

Efectuando, resulta :

$$V_2 = 107.98 \text{ cm/seg.}$$

3.1.2.3 Determinación de la Velocidad de Corte (V_C)

Igualmente del diagrama vectorial de velocidades, obtenemos :

$$V_C = V_1 \operatorname{tg} \alpha \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Reemplazando el valor de $V_1 = 18.75$ cm/seg y el valor de $\alpha = 80^\circ$ se tiene :

$$V_C = 18.75 \operatorname{tg} 80^\circ$$

Efectuando, resulta :

$$V_C = 106.34 \text{ cm/seg}$$

3.1.3 Determinación de las Revoluciones por Minuto de los Piñones

3.1.3.1 Determinación del Número de Dientes del Piñón

Teniendo en cuenta el efecto de cuerda de la transmisión por cadena y empleando el gráfico, pág. 24, del Manual Link-Belt FMC Roller Chain & SPROCKETS. Considerando una variación de la velocidad de 0.8% se determina un piñón de 25 dientes.

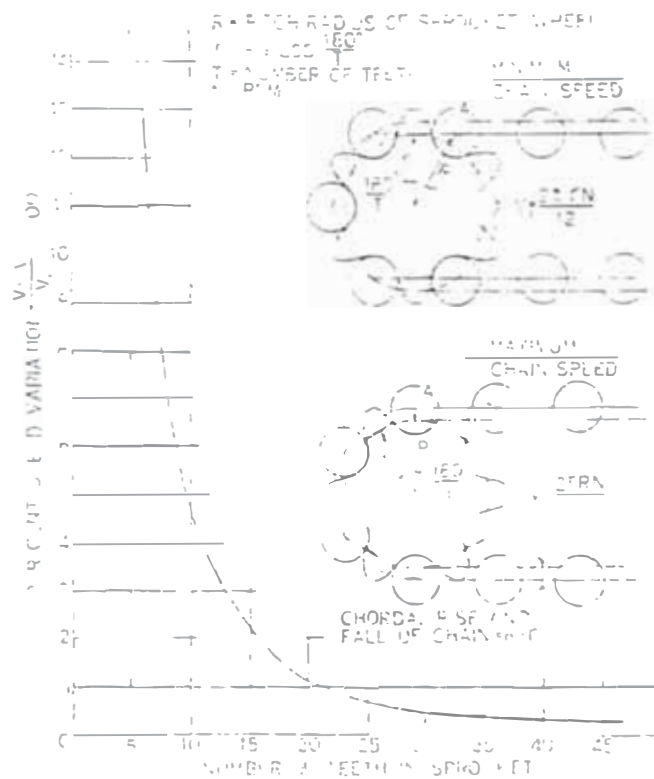


Fig. 3.3 Variación de la velocidad del piñón por el efecto de cuerda.

Reemplazando valores, se tiene :

$$n = 60 \times 107.98 / (\pi \times 7.6)$$

Efectuando, resulta :

$$n = 271.36 \text{ RPM.}$$

3.1.4 Cálculo del Tiempo de Corte (t_c) de un Ladrillo de 10 cm de Altura (h)

Del diagrama vectorial de velocidad la velocidad V_c es la que produce el corte vertical, siendo t_c el tiempo de corte.

Luego :

$$t_c = \frac{h}{V_c} \dots\dots\dots(3.5)$$

Reemplazando el valor de $h = 10 \text{ cm}$ y el valor de $V_c = 106.34 \text{ cm/seg}$, se tiene :

$$t_c = 10 / 106.34$$

Efectuando, resulta

$$t_c = 9.4 \times 10^{-2} \text{ seg.}$$

3.2 Dimensionamiento de la Cadena

3.2.1 Determinación de la Longitud de la Cadena (L_C)

3.2.1.1 Procedimiento

Para el logro de este propósito se determina el tiempo demorado por el ladrillo en recorrer la longitud de corte (25 cm), luego se determina el espacio recorrido por la cadena, y finalmente se calcula el número de eslabones de la cadena, para la cual se sabe el paso de la cadena (0.375").

3.2.1.2 Cálculo del Tiempo Cíclico de Corte (t_{CC})

El tiempo cíclico de corte es la relación entre el desplazamiento del ladrillo en una magnitud igual a la longitud de corte ($l_c = 25$ cm) y la velocidad con que avanza ($V_1 = 18.75$ cm/seg).

La longitud deseada de los ladrillos cortados es de 25 cm. (Fig. 3.4)

t_{CC} : tiempo cíclico de corte.

$$t_{CC} = l_c / V_1 \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

Reemplazando el valor de $l_c = 25 \text{ cm.}$ y el valor de $V_1 = 18.75 \text{ cm/seg.}$, se tiene :

$$t_{CC} = \frac{25}{18.75}$$

Efectuando, resulta :

$$t_{CC} = 1.33 \text{ seg.}$$

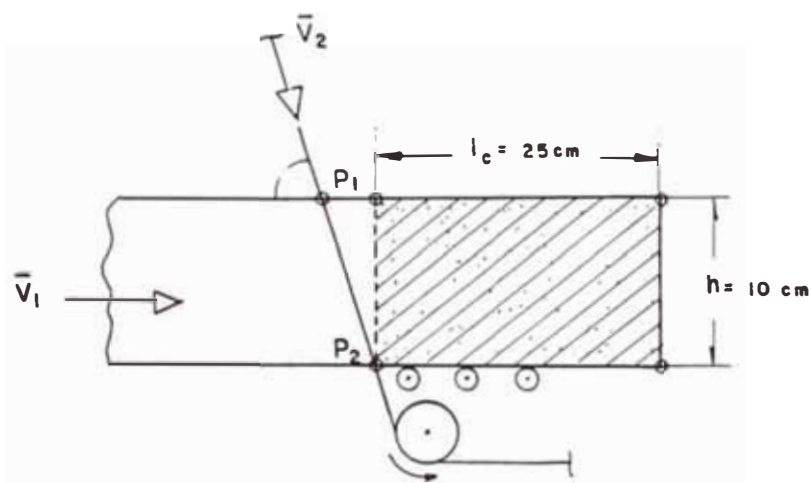


Fig. 3.4 Muestra la longitud de corte del ladrillo

3.2.1.3 Cálculo de la Longitud Equivalente Recorrida por la Cadena para el Tiempo Cíclico de Corte (1.33 seg.)

Los puntos P_1 y P_2 coinciden nuevamente (Fig. 3.5) luego de un ciclo de trabajo.

Sabiendo que : $t_{CC} = 1.33 \text{ seg.}$

Planteando la ecuación respectiva, se tiene

$$L_c = V_2 \times t_{cc} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

Donde :

L_c : Longitud recorrida por la cadena durante 1.33 seg.

Reemplazando el valor de $V_2 = 107.98 \text{ cm/seg.}$ y el valor de $t_{cc} = 1.33 \text{ seg.}$ se tiene :

$$L_c = 1.33 \times 107.98$$

Efectuando, resulta :

$$L_c = 1436.13 \text{ mm.}$$

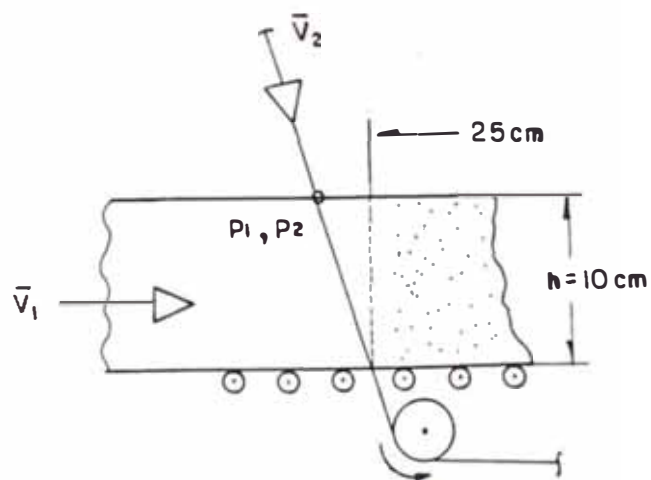


Fig. 3.5 Ubicación de las posiciones relativas de P_1 y P_2 luego de un ciclo de trabajo.

3.2.1.4 Cálculo del Número de Pasos de la Cadena (Np).

Para esto se tiene la magnitud del paso (P) de la cadena : 0.375" (\approx 9.5 mm.) y la magnitud de la longitud de la cadena (Lc).

Para lo cual :

Np : Número de pasos de la cadena.

Lc : Longitud de la cadena.

$$Np = Lc / P \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

Reemplazando el valor de Lc - 1436.13 mm. y el valor de P = 9.5 mm., se tiene :

$$Np = 1436.13 / 9.5$$

Efectuando resulta :

$$Np = 150.78 \text{ pasos}$$

Considerando : Np - 151 pasos, y reemplazando en la ecuación (3.8), resulta :

$$Lc = 1438.75 \text{ mm.}$$

3.3 Análisis Dinámico del Corte

3.3.1 Proceso de Cortado

El cortado se realiza luego de que la masa verde proveniente del extrusador sale por la matriz en forma continua y con sección recta determinada.

La distribución es como se muestra en la Fig. 3.5.

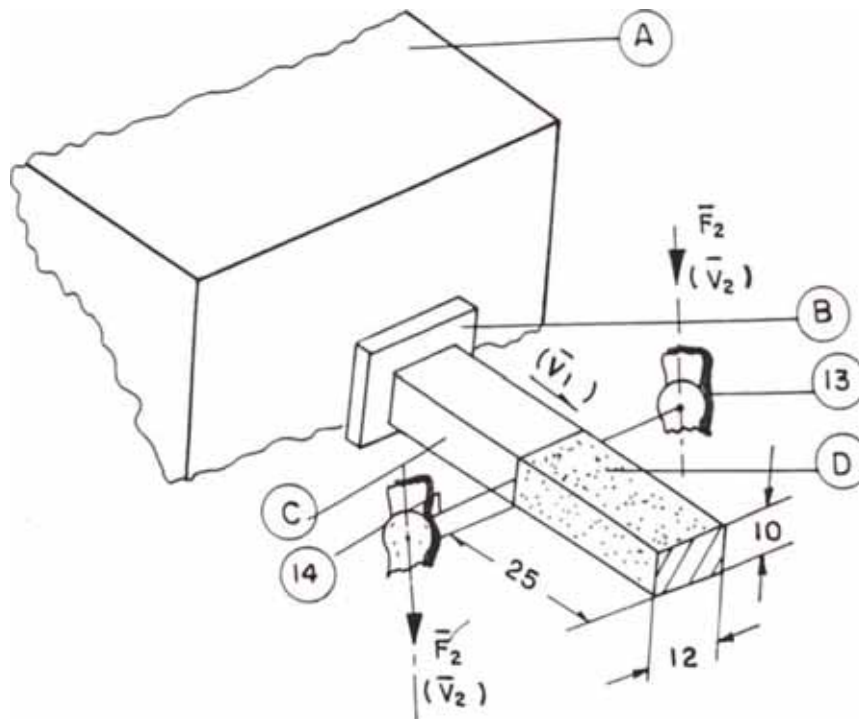


Fig. 3.6. Dispositivos de cortado

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| A. Extrusor | 13. Cadena porta-alambre |
| B. Matriz | 14. Alambre cortador |
| C. Ladrillo Verde | |
| D. Dimensionamiento | |

3.3.2 Disposición del Alambre Cortador

El alambre cortador está fijado como se muestra en la Fig. 3.7.

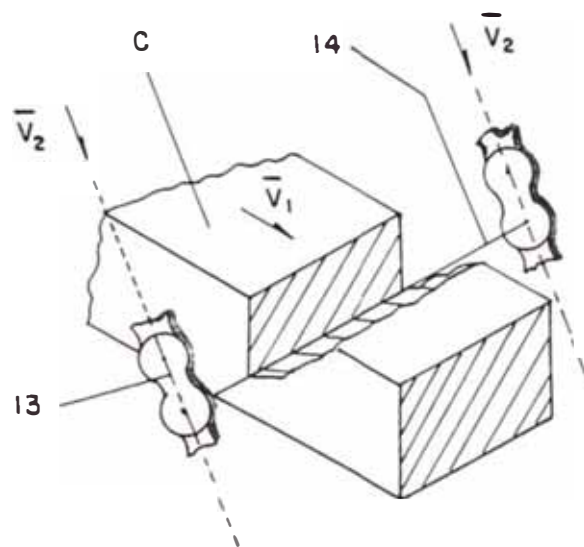


Fig. 3.7 Disposición del alambre cortador

- C Masa a cortar
- 13. Cadena porta-alambre
- 14. Alambre cortador

3.3.3 Selección del Alambre Cortador

Teniendo como referencia los datos especificados por los fabricantes, el alambre empleado para el corte es de

acero Boehler MS-85. El diámetro de los alambres empleados varían entre 0.5 y 1 mm.

3.3.3.1 Características del Alambre

De una muestra de alambre de cuerda de piano, de 1 mm. de diámetro, empleado en la ladrillera Huachipa.

Obtenemos

Carga de ruptura : 169 kg.

Esfuerzo de ruptura : 21,518 kg/cm²

Peso por 1000 metros : 6.60 kg.

Tipo de aleación C 0.85 Mn 0.6, P y S 0.025%.

Cubierto con película de cobre

Norma DIN C85W

3.3.4 Determinación de la Fuerza de Corte (Fc)

3.3.4.1 Procedimiento

En las instalaciones de la ladrillera Huachipa, se realizaron pruebas para determinar la fuerza de corte real, para la cual se dispuso el ladrillo, pro puesto, sobre una balanza pesándose inicialmente la muestra y posteriormente se procedió a cortarlo con el alambre de cuerda de piano de 1 mm. de diámetro,

habitual, tensándolo manualmente por dos personas, tomando lectura en una balanza tipo plataforma a una velocidad vertical de 5 cm/s, cortando la altura de 10 cm en 2 seg. aproximadamente.

3.3.4.2 Representación del Corte

La posición relativa de los cuerpos, masa de arcilla extrusada-alambre cortador, que interactúan para un instante de tiempo, durante el corte, es como se muestra. (Figs. 3.8 y 3.9).

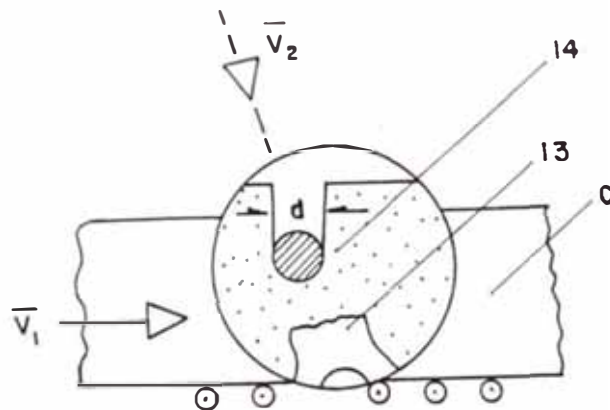


Fig. 3.8 Vista lateral del corte para un instante de tiempo

- C. Ladrillo verde
- 13. Cadena portaalambre
- 14. Alambre cortador ($d = 1\text{mm}$)

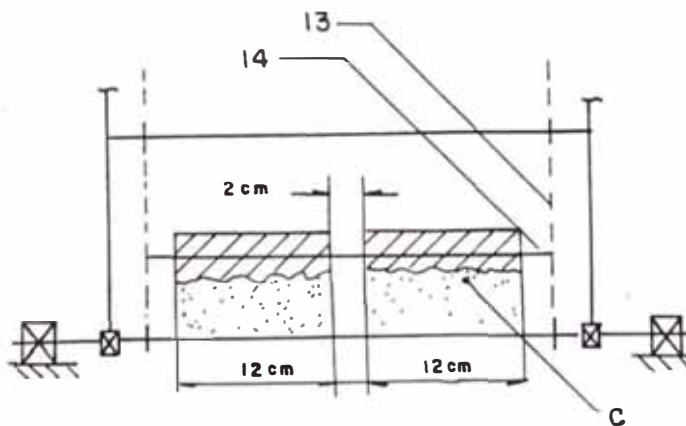


Fig. 3.9 Vista frontal del corte de una doble hilera de ladrillos para un instante de tiempo

- C. Ladrillo verde
- 13. Cadena portaalambre
- 14. Alambre cortador ($d = 1\text{mm}$)

3.3.4.3 Diagrama de Cuerpo Libre del Alambre Cortador

Considerando la tierra como sistema inercial de referencia tenemos las siguientes fuerzas que actúan sobre el alambre cortador.

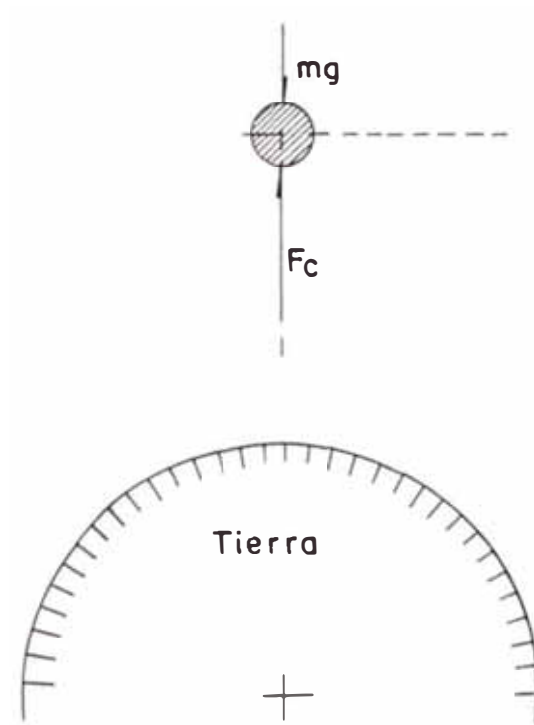


Fig. 3.10 Diagrama de cuerpo libre del alambre cortador.

F_c : Fuerza de corte.

Despreciando el peso del alambre, tenemos el siguiente diagrama vectorial de fuerzas.

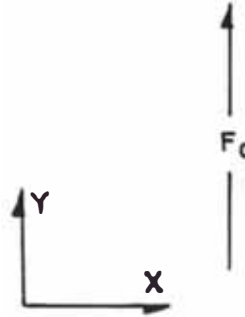


Fig. 3.11 Diagrama vectorial de fuerzas

F_c : Fuerza de corte

3.3.4.4 Cálculo de la Fuerza de Corte Necesario (F_c).

Por pruebas hechas en la ladrillera Huachipa se obtuvo ~ 5.75 kg. (~ 56.41 N), para un alambre de cuerda de piano de 1mm. de diámetro y ladrillo hueco similar de dimensiones : 10 x 12 x 25 cm, obteniéndose una carga de 0.479 kg/cm (0.047 N/mm). De modo que para un ancho de corte de 24 cm., tenemos una fuerza de corte de 11.5 kg. (~ 112.82 N).

3.3.4.4.1 Cálculo de la Fuerza de Avance del Alambre

La placa porta alambre está formada por dos eslabones de la cadena dispuestos en planos paralelos y los pines de los mismos, de modo que los

extremos del alambre cortador están fijados en un par de pines de los dos eslabones citados.

Las fuerzas actuantes en el alambre cortador, son las mismas cargas que actúan en la cadena (Fig. 3.12).

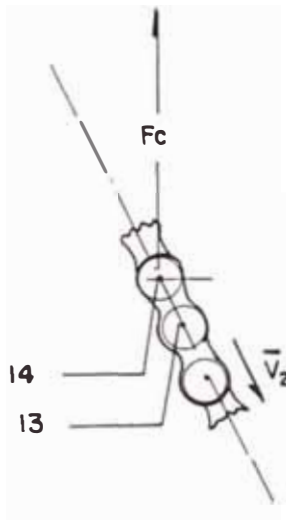


Fig. 3.12 Fuerzas actuantes sobre el alambre cortador
13. Cadena porta-alambres
14. Alambre cortador
Fc. Fuerza de corte

Por el principio de acción y reacción, obtenemos el diagrama siguiente con las fuerzas actuantes sobre la placa del eslabón de la cadena porta-alambre, que son las mismas que actuarán sobre el ladrillo verde a cortar.

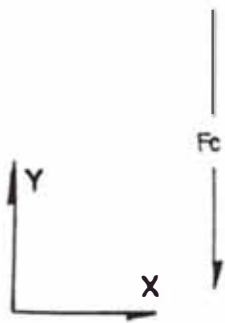


Fig. 3.13 Fuerzas actuantes sobre el ladrillo verde a cortar
Fc. Fuerza de corte

3.3.5 Determinación de la Potencia de Corte

Esta se determina considerando la velocidad y la fuerza de corte.

Por lo tanto

$$HP_C = \frac{F_C \cdot V_C}{7600} \dots\dots\dots(3.9)$$

Donde :

F_C : Fuerza de corte en kg.

V_C : Velocidad de corte en cm/seg.

HP_C : Potencia de corte en HP.

Reemplazando el valor de $F_C = 11.5$ kg. y el valor de $V_C = 106.34$ cm/seg., se tiene :

$$HP_C = \frac{11.5 \times 106.34}{7600} \dots\dots\dots(3.10)$$

Efectuando resulta

$$HP_C = 0.161 \text{ HP } (\approx 0.22 \text{ Kw}).$$

3.4 Dimensionamiento del Cortador

3.4.1 Introducción

La cortadora ha sido conceptuada de modo que permita regular el ángulo de corte y efectuar operaciones de calibrado.

La cortadora consta de brazos unidos a una plataforma en la parte superior y a dos ejes giratorios, con asientos desplazables pero que se pueden fijar, en la parte inferior. Bajo estas características forma un pentágono.

Al hacer girar manualmente el tornillo sobre una tuerca fijada en la plataforma superior de la cortadora se obtiene el desplazamiento vertical del tornillo que a su vez actuará simultáneamente abriendo o cerrando los brazos superiores e inferiores. Permitiendo, así, regular el ángulo de corte como se muestra en la Fig. 3.15; lográndose un rango de operación de 31° y una altura de corte de 24 cm.

En la base de la cortadora, región comprendida por los dos ejes giratorios anteriormente indicado. Se ha dispuesto además de polines, que cumplen la función de

soportes y guías para el desplazamiento del ladrillo verde extrusado; un rodillo acelerador de giro horario, acoplado a un motor eléctrico para evitar que las longitudes de corte sean desiguales. De modo que el ladrillo cortado en la denominada "zona de corte", no vuelva a ser cortado en la denominada "zona de salida".

La cortadora está anclado a la plataforma superior y a los dos ejes inferiores mencionados, así mismo todo el conjunto a un marco estructural.

Por la necesidad de obtener los movimientos de giro en los sentidos requeridos, se ha empleado un sistema de transmisión por engranajes. El rodillo acelerador además de ser un impulsador, es el eje motriz y tiene giro horario, en él se monta un piñón que engrana con una rueda dentada, giro antihorario, que acciona el sistema cadena porta-alambre.

3.4.2 Dimensionamiento de las Varillas Conectoras

Según el diseño propuesto, el dimensionamiento es el que corresponde a la Fig. 3.14, para la que se determinarán las características geométricas.

Para la realización de los cálculos, se tienen como datos :

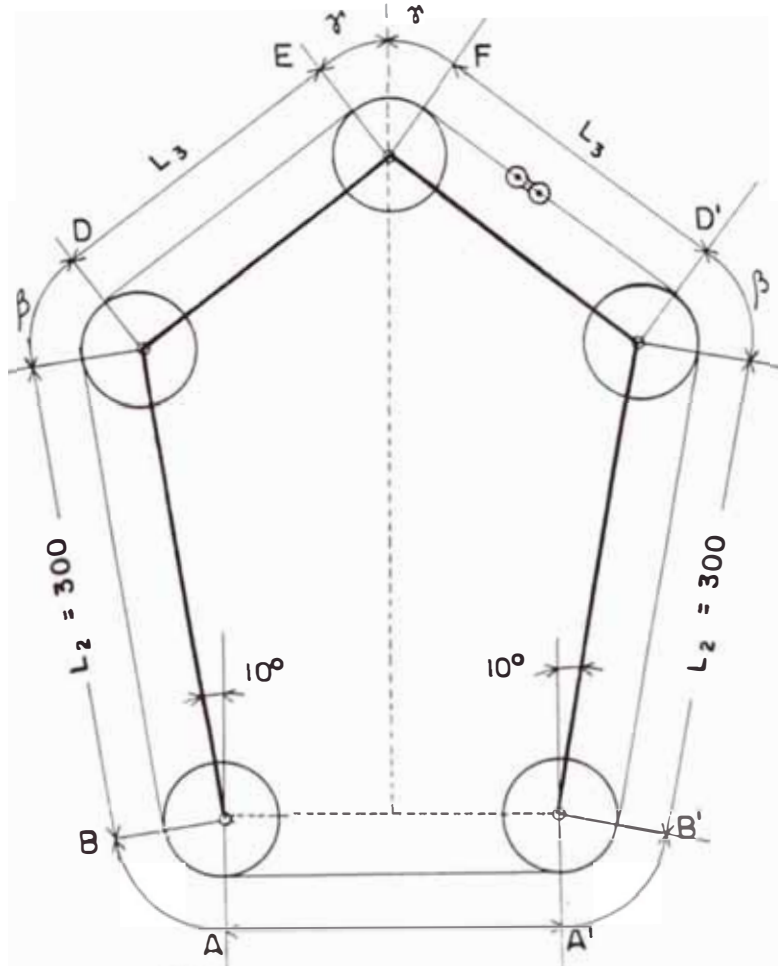
$$\theta = 10^\circ$$

Diámetro del paso del piñón : 2.992" (≈ 76 mm.)

Paso de la cadena : 0.375" (9.5 mm.)

Longitud Real de la cadena : 1438.275 mm. (151 pasos)

y, asumiendo, además $L_1 = 210$ mm. , $L_2 = 300$ mm.



$AB = 53.056$; Esc. 1:5 ; Cotas : mm .

Fig. 3.14 Representación esquemática de la disposición de las varillas conectoras, piñones y cadena accionadora

Planteando la ecuación que satisfaga con las condiciones anteriores :

$$L_c - 2\overline{AB} - 2\overline{CD} - \overline{EF} = L_1 + 2L_2 + 2L_3 \quad \dots\dots\dots(3.11)$$

Siendo :

L_c - 1438.275 mm. (longitud constante).

AB - 53.056 mm. (longitud constante).

L_1 - 210 mm. (longitud asumida).

L_2 - 300 mm. (longitud asumida).

L_3 - longitud desconocida.

Reemplazando los valores conocidos en la ecuación (3.11), tenemos :

$$1438.275 - 2 \times 53.056 - 2\widehat{CD} - \widehat{EF} = 210 + 600 + 2L_3 \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

Efectuando las operaciones necesarias, se tiene :

$$\widehat{EF} + 2\widehat{CD} = 522.163 - 2L_3 \quad \dots\dots\dots(3.13)$$

Por otro lado :

$$\widehat{EF} = \frac{2 \gamma \pi dp}{180 \times 2} = \frac{\gamma \pi dp}{180} \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

$$2\widehat{CD} = \frac{2 \beta \pi dp}{180 \times 2} = \frac{\beta \pi dp}{180} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

donde :

$$\frac{\pi \text{ dp}}{180} = \frac{\pi \times 2.992 \times 25.4}{180} = 1.33$$

Reemplazando en (3.14) y (3.15) en (3.13), se tiene :

$$(\gamma + \beta) \frac{\text{dp}}{180} = 522.163 - 2L_3 \quad \dots\dots\dots(3.16)$$

Despejando $(\gamma + \beta)$ en (3.16) y efectuando, se tiene :

$$(\gamma + \beta) = (522.163 - 2L_3) / 1.33 \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

Resolviendo la ecuación (3.17) por tanteos : para los siguientes valores, se tiene :

β	γ	$(\beta + \gamma)$	L_3 mm
69.5	31	100.5	194.4304
69.0	26	95.0	198.0780
65.0	37	102.0	193.4356
64.0	37	107.1	194.0990
62.0	38	100.0	194.7620

De modo que la ecuación (3.17), se satisface para los siguientes valores :

$$\beta = 64^\circ$$

$$\gamma = 37^\circ$$

$$L_3 = 194.099 \text{ mm.}$$

tomando : $L_3 = 194 \text{ mm.}$

Siendo las características geométricas del dispositivo cortador las siguientes :

----- Piñón -----	----- Cadena -----
Z = 25 dientes	P 0.375"
dp = 2.992"	Long. - 1438.275 mm.
de = 3.194"	Np 151 pasos
dr = 2.792"	

Variación de la velocidad = 0.8%

3.4.3 Determinación de la Posición de Mínima Altura del Cortador (h_1)

Se obtiene la posición de mínima altura del cortador, respecto a su línea de ejes cuando al accionar el dispositivo de regulación de la inclinación se logra un trapecio isósceles.

Tal como se muestra en la Fig. 3.15.

Tenemos por lo tanto

$$h_1 = \sqrt{300^2 - 89^2}$$

resultando : $h_1 = 286.5 \text{ mm.}$

Lo cual permitirá cortar el ladrillo de 10 cm. de altura.

La inclinación correspondiente para la mínima altura será :

$$\phi = \text{tg}^{-1} (286.5/89) = 72.73^\circ$$

Resultando $\lambda = 17.26^\circ$

3.4.4 Determinación del Descenso de Altura (Δh_1)

El descenso de altura se obtiene como la diferencia entre la altura de diseño (altura inicial) y la altura mínima como se muestra en la Fig. 3.15.

Altura inicial : $h_0 = 414.0 \text{ mm.}$

Altura mínima : $h_1 = 286.5 \text{ mm.}$

Efectuando : $\Delta h_1 = 409.3 - 286.5$

resulta : $\Delta h_1 = 122.8 \text{ mm.}$

3.4.5 Determinación de la Posición de Máxima Altura del Cortador (h_2)

Se obtiene la máxima altura del cortador, respecto a su línea de eje, cuando al accionar el dispositivo de regulación de la inclinación se logra una geometría representado

con trazo discontinuo tal como se muestra en la Fig. 3.15, en el que se obtiene como máximo un ángulo de corte de 88° .

Tenemos por lo tanto :

$$h_2 = 455.7 \text{ mm.}$$

3.4.6 Determinación del Incremento de Altura (Δh_2)

El incremento de altura se obtiene como la diferencia de la altura máxima e inicial, tal como se muestra en la Fig. 3.15.

$$\text{Altura inicial : } h_0 = 409.3 \text{ mm.}$$

$$\text{Altura mínima : } h_2 = 455.7 \text{ mm}$$

$$\text{Efectuando : } \Delta h_2 = 445.7 - 409.3$$

$$\text{Resulta : } \Delta h_2 = 46.4 \text{ mm.}$$

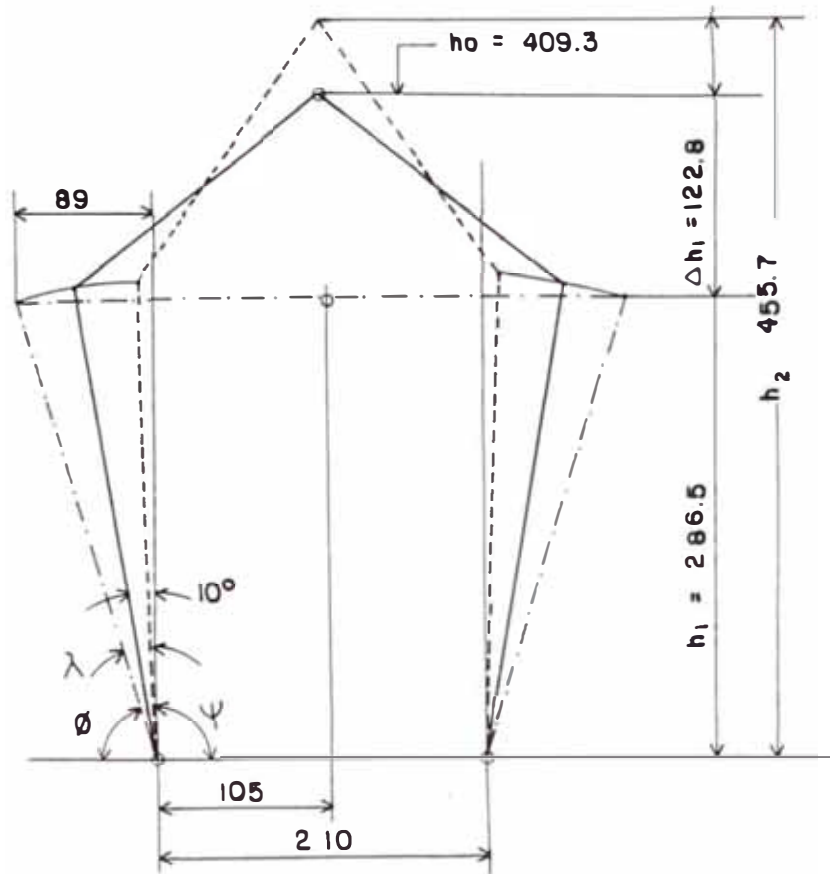


Fig. 3.15 Representación de las posiciones extremas y de diseño. Cotas en mm.

Posición de diseño : $h_0 = 409.3$ mm.

— · — · — · — Posición de mínima altura : $h_1 = 286.5$ mm.

----- Posición de máxima altura : $h_2 = 455.7$ mm.

$\Delta h_1 = 122.8$ mm

$\Delta h_2 = 46.4$ mm

$\Delta h_{total} = 169.2$ mm

ϕ : \angle de mínima altura - 73°

ψ : \angle de máxima altura - 92°

λ : rango de operación - 15°

3.5 Cálculo de la Potencia de Accionamiento de la Cortadora

3.5.1 Introducción

La potencia para accionar la cadena porta-alambre se compone de la potencia necesaria para cortar el ladrillo, en dirección perpendicular al plano de movimiento del mismo y de la potencia correspondiente a la componente de avance del ladrillo cuando interactúa con el alambre cortador.

Como la potencia necesaria para cortar el ladrillo es 0.161 HP y la otra de magnitud despreciable, por lo que se puede considerar que la potencia para cortar el ladrillo es aproximadamente igual a la potencia para accionar la cadena porta-alambre.

Por lo tanto se requiere determinar la potencia de alimentación de la cortadora, la cual recibe movimiento de un motor eléctrico trifásico mediante transmisión por engranajes.

3.5.2 Cálculo de la Potencia de Alimentación de la Cortadora

Para este propósito se cuenta con la información adjunta :

:Número de cadenas :	:	:	:
:porta-alambre que :	: Accesorios por :	: Cantidad de :	: Eficiencia de:
:conforman el sis- :	: cada cadena :	: pares por :	: transmisión :
:tema de acciona- :	: porta-alambre :	: lado :	: por par de :
:miento del alam- :	:	:	: accesorios :
:bre cortador. :	:	:	:
:	:	:	:
:	: Cadenas que :	:	:
:	: transmiten :	: 4 :	: $\eta_p = 0.90$:
:	: fuerza :	:	:
: 2 :	:	:	:
:	: Rodamientos :	: 4 :	: $\eta_r = 0.98$:
:	:	:	:
:	: Cojinetes :	: 1 :	: $\eta_c = 0.98$:
:	:	:	:

Luego la potencia de alimentación en el contraeje principal es :

$$\text{Pot. contraeje principal por lado} = \frac{(\text{HPc/lado})}{\eta_p^4 \eta_r^4 \eta_c} \dots\dots\dots(3.18)$$

Por cálculos anteriores :

$$\text{HPc} = 0.161 \text{ HP}$$

Siendo la potencia de corte por lado :

$$\text{HPc / lado} = \frac{0.161}{2} = 0.081 \text{ HP}$$

Reemplazando valores en la ecuac. (3.18), se tiene :

$$\text{Pot. contraeje principal por lado} = \frac{0.081}{0.90^4 \times 0.98^4 \times 0.98} = \frac{0.081}{0.59}$$

Efectuando, resulta :

$$\text{Pot. contraeje principal} = 0.137 \text{ HP} \\ \text{por lado}$$

La potencia total en el contraeje principal, será :

$$\text{Pot. contraeje principal} = 0.137 + 0.137 = 0.274 \text{ HP (0.37 Kw)}$$

3.6 Cálculo de la Potencia del Motor

3.6.1 Introducción

Conociendo, ya, la potencia de alimentación del contraeje principal de la cortadora se procede al cálculo respectivo.

3.6.2 Cálculo de la Potencia Motriz

Considerando una eficiencia del 98% para la transmisión por engranajes, 98% para los cojinetes y 98% para el acoplamiento entre el eje motriz y el eje del motor, se tiene :

$$\text{Pot. motriz} = \frac{0.274}{0.98 \times 0.98 \times 0.98} = \frac{0.274}{0.94}$$

Efectuando, resulta :

$$\text{Pot. motriz} = 0.29 \text{ HP (0.39 Kw)}$$

3.6.3 Selección del Motor

Por tratarse de una pequeña potencia para mayor seguridad se selecciona un motor asíncrono trifásico con rotor a jaula de ardilla de 4 polos con las siguientes características

Tipo	: NV 71 b 4
Frecuencia	: 60 Hz.
Potencia	: 0.6 HP (0.45 Kw)
RPM a plena carga	: 1670
Tensión	: 220 V

3.7 Cálculo de la Transmisión por Engranajes

3.7.1 Introducción

Con el propósito de lograr los accionamientos necesarios se emplea una transmisión por engranajes.

El motor eléctrico mediante un acoplamiento alimenta a un eje principal en el que se ha montado un rodillo intermedio que actúa como acelerador y en cuyo extremo va montado un piñón que transmite el movimiento a un engranaje que está alojado en el contraeje principal de la cortadora en la que se encuentran también dispuestos paralelamente un par de catalinas que accionan dos cadenas porta-alambre.

3.7.2 Cálculo de la Potencia que Puede dar Como Máximo la Transmisión

Se tienen como datos :

- Revoluciones por minuto del eje motriz: $n_1 = 1670$
- Revoluciones por minuto del contraeje principal de la cortadora : $n_2 = 271.36$
- Combinación típica dureza :
Piñón = 210 BHN; engranaje = 180 BHN.

3.7.2.1 Cálculo de la Relación de Transmisión (mg)

$$mg = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1670 \text{ RPM}}{271.36 \text{ RPM}} = 6.154$$

3.7.2.2 Número de Dientes del Piñón (Z_1) y Engranaje (Z_2)

Siendo el número mínimo de dientes por interferencia : $Z_1 = 17$

Asumiendo $Z_1 = 19$ dientes, se tiene :

$$Z_2 = Z_1 \cdot mg = 19 \times 6.154 = 116.926$$

Tomando $Z_2 = 117$ dientes.

3.7.2.3 Relación de Transmisión Real (mg_r)

$$mg_r = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{117}{19} = 6.156$$

3.7.2.4 Revoluciones por Minuto Real del Contraeje Principal

$$n_2 = \frac{n_1}{mg_r} = \frac{1670 \text{ RPM}}{6.156} = 271.3 \text{ RPM}$$

3.7.2.5 Cálculo de la Distancia Entre Centros (C)

Asumiendo módulo $m = 2$, se tiene :

$$C = \frac{m}{2} (Z_1 + Z_2) = \frac{2}{2} (19 + 117) = 136 \text{ mm.}$$

3.7.2.6 Cálculo de los Diámetros de Paso del Piñón (D_p) y del Engranaje (D_g)

Se tiene

$$D_p = m Z_1 = 2 \times 19 = 38 \text{ mm}$$

$$D_g = m Z_2 = 2 \times 117 = 234 \text{ mm}$$

3.7.2.7 Cálculo del Ancho del Diente (F)

Se tiene :

Valores limites : $6.3 \text{ m} \leq F \leq 19 \text{ m}$

Recomendado : $8 \text{ m} \leq F \leq 12.5 \text{ m}$

Considerando : $F = 6.75 \text{ m}$.

Resulta : $F = 13.5 \text{ mm}$.

3.7.2.8 Cálculo de la Velocidad Tangencial (V_t)

$$V_t = \frac{\pi D_p n_p}{60,000} = \frac{\pi \times 38 \text{ mm} \times 1670 \text{ RPM}}{60,000} = 3.32 \text{ m/s}$$

3.7.2.9 Cálculo de la Potencia a Transmitir por Fatiga Superficial

Se tiene :

$$P = 6.98 \times 10^{-7} \left(\frac{n_p \times F \cdot C_v \cdot I}{C_o \cdot C_s \cdot C_m \cdot C_f} \right) \left(\frac{S_{ac} \cdot D_p \cdot C_L \cdot C_H}{C_T \cdot C_R \cdot C_P} \right)^2 \dots (3.19)$$

Donde :

n_p : RPM del piñón

F : Ancho del flanco del diente

C_v : Factor dinámico

I : Factor geométrico

C_o : Factor de sobrecarga

C_s : Factor de tamaño

C_m : Factor de distribución de carga

C_f : Factor de condición superficial

- C_p : Coeficiente elástico del material
- S_{ac} : Esfuerzo permisible del contacto
- D_p : Diámetro del círculo de paso del piñón
- C_L : Factor de vida
- C_H : Factor de relación de dureza
- C_T : Factor de temperatura
- C_R : Factor de seguridad

Luego :

- n_p - 1670 RPM
- F - 13.5 mm
- C_v - 0.65, para engranajes tallados y acabados con fresa madre (curva 4)
- J - 0.114, de la Fig. 23
- C_o - 1.25, para motor eléctrico y carga con choques moderados.
- C_s - 1.00
- C_m - 1.60, engranajes montados mas o menos rígidos, con cierta precisión y con 100% de contacto.
- C_f = 1.10, para engranajes con acabado superficial aceptable.
- C_p - 61.0 , para ambas ruedas de acero.
- S_{ac} - 60 kg/mm^2 , acero endurecido en toda la sección del diente 180 BHN.
- D_p - 38 mm
- C_L - 1.00, para 10^7 ciclos.

$C_H = 1.00$, para engranajes de dientes rectos.

$C_T = 1.00$, para Temperatura ambiental normal.

$C_R = 1.00$, para confiabilidad del 99%.

Reemplazando los valores anteriores, se tiene :

$$P = 6.98 \times 10^{-7} \left(\frac{1670 \times 13.5 \times 0.65 \times 0.114}{1.25 \times 1 \times 1.6 \times 1.1} \right) \left(\frac{60 \times 38 \times 1 \times 1}{1 \times 1 \times 61} \right)^2$$

Efectuando operaciones; resulta la potencia que podría transmitir como máximo la transmisión, la cual es :

$$P = 0.74 \text{ cv } (\approx 0.73 \text{ HP})$$

Siendo :

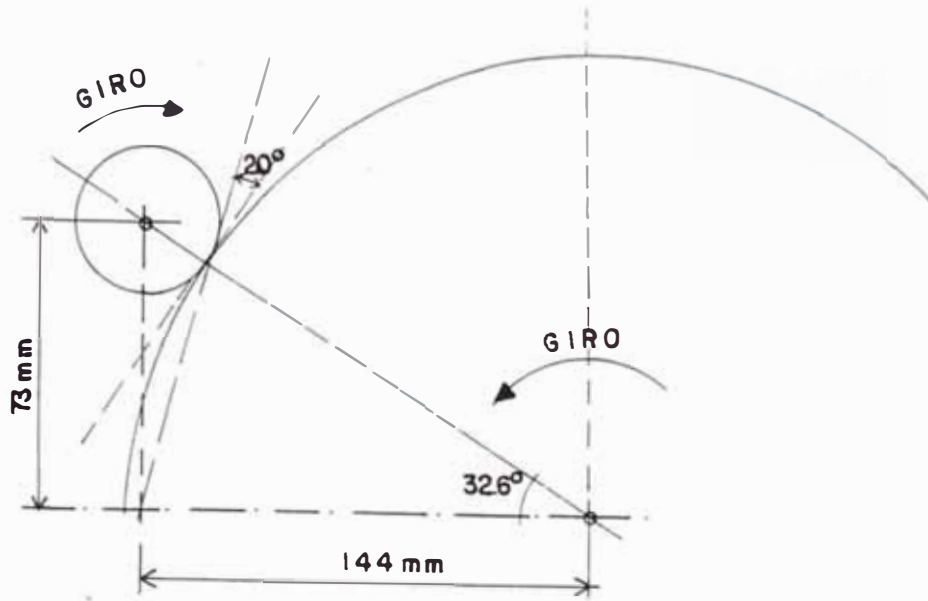
Adendum = módulo = 2mm.

Dedendum = 1.25 x módulo = 1.25 x 2 = 2.5 mm.

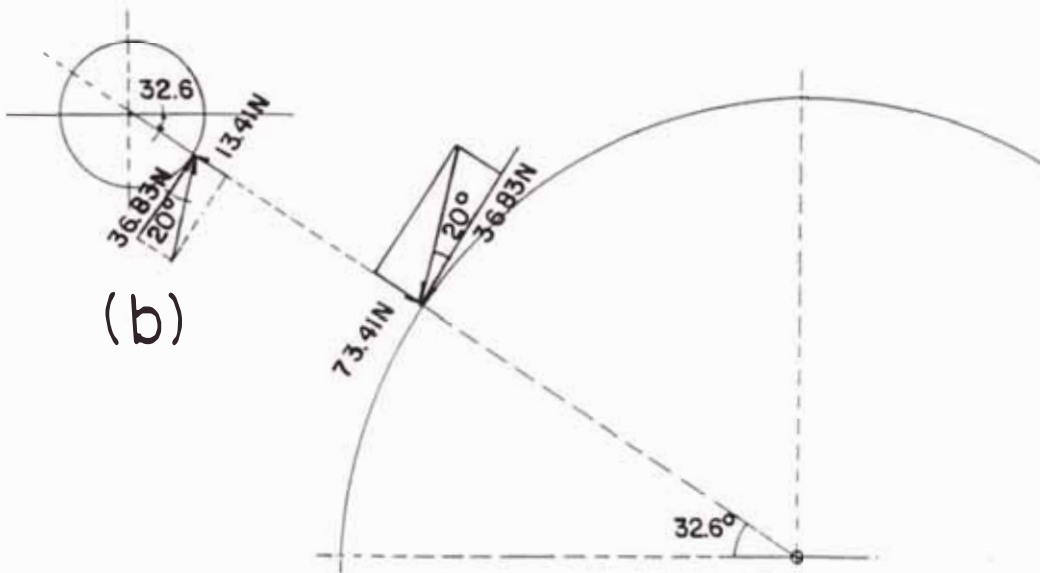
Altura total del diente = (2 + 2.5)mm. = 4.5 mm.

3.7.3 Cálculo de las Cargas en el Piñón y Rueda Dentada

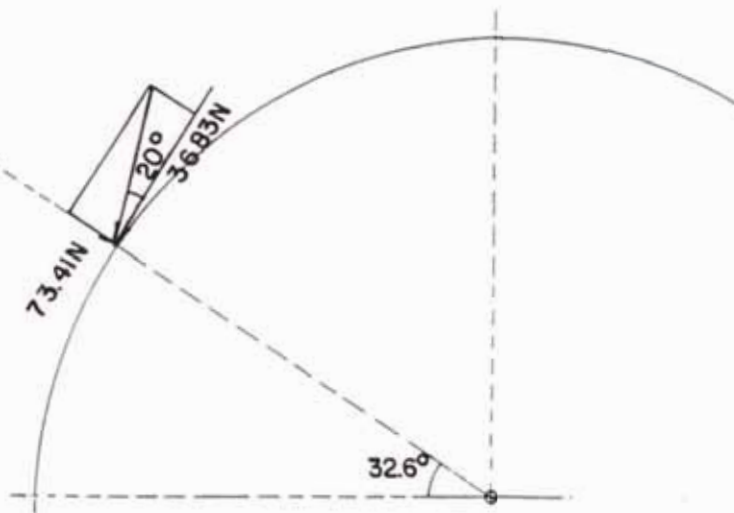
Para las geometrías anteriormente halladas. Los sentidos de giro; así como las fuerzas del piñón y rueda dentada se muestran en la Fig. 3.16.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.16 a) Representación esquemática del piñón y rueda engranando.
b) Fuerza en el diente del piñón por acción del engranaje.
c) Fuerza en el diente del engranaje por acción del piñón.

3.7.3.1 Cálculo de las Fuerzas que Actúan Sobre el Engranaje

El torque total que debe transmitir el engranaje (T_t)

es :
$$T_t = T_j + T_k \quad \dots\dots\dots(3.20)$$

como : $T_j = T_k = 2154.51 \text{ N} \times \text{mm}.$

entonces : $T_t = 2 T_k = 2 \times 2154.51 \text{ N} \times \text{mm} = 4309.02 \text{ N} \times \text{mm}$

3.7.3.1.1 Cálculo de la Fuerza Tangencial (W_t), Fuerza Radial (W_r) y Fuerza Total (F_t)

Como se sabe : $T_t = W_t \times \frac{D_p}{2} \quad \dots\dots\dots(3.21)$

De donde: $W_t = \frac{2 T_t}{D_p} = \frac{2 \times 4309.02 \text{ N} \times \text{mm}}{234 \text{ mm}} = 36.83 \text{ N}$

$W_r = W_t \text{ Tg } 20^\circ = (36.83 \text{ N}) \text{ Tg } 20^\circ = 13.41 \text{ N}$

$F_t = \frac{W_t}{\cos 20^\circ} = \frac{36.83 \text{ N}}{\cos 20^\circ} = 39.2 \text{ N}$

3.7.3.1.2 Cálculo de las Fuerzas en los Ejes X e Y en el Centro del Engranaje

Llevando las fuerzas al centro del engranaje, se tiene :

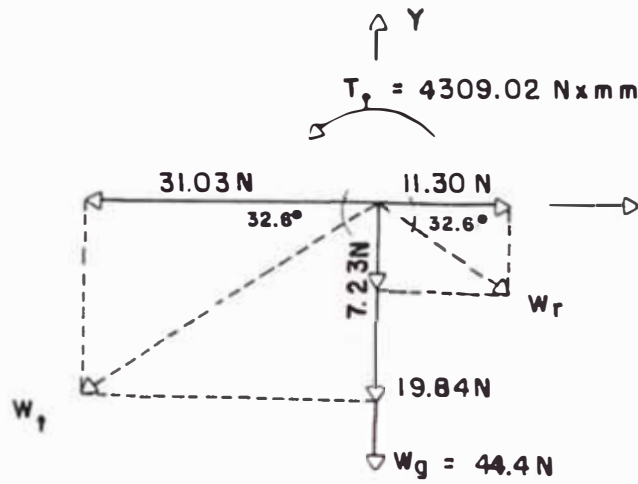


Fig. 3.17

Fuerza total en X (F_{tx}), fuerza total en Y (F_{ty})

$$F_{tx} = 11.30 \text{ N} - 31.03 \text{ N} = -20 \text{ N}$$

$$F_{ty} = -7.23 \text{ N} - 19.84 \text{ N} - 44.4 \text{ N} = -71.47 \text{ N}$$



Fig. 3.18

3.7.3.2 Cálculo de las Fuerzas que Actúan Sobre el Piñón

3.7.3.2.1 Cálculo de las Fuerzas: Tangencial (W_t), Radial (W_r) y Total (F_t)

Por el principio de acción y reacción, se tiene:

$$W_t = 36.83 \text{ N} ; W_r = 13.41 \text{ N} ; F_t = 39.2 \text{ N}$$

3.7.3.2.2 Cálculo de las Fuerzas en los Ejes X e Y en el Centro del Piñón

Llevando las fuerzas al centro del Piñón, se tiene :

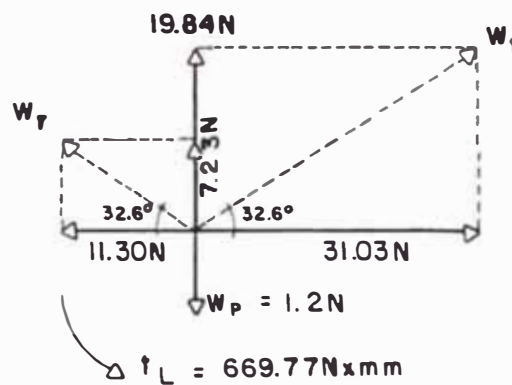


Fig. 3.19

Fuerza total en X (F_{tx}), fuerza total en Y (F_{ty}):

$$F_{tx} = 31.03 \text{ N} - 11.30 \text{ N} = 19.73 \text{ N}$$

$$F_{ty} = 19.84 \text{ N} + 7.23 \text{ N} - 1.2 \text{ N} = 25.87 \text{ N}$$

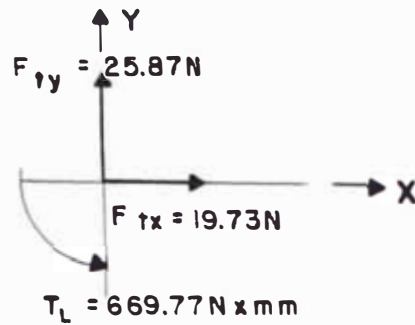


Fig. 3.20

3.7.3.2.3 Cálculo del Torque Actuante en el Piñón (T_L)

Se sabe :

$$T_L = W_t \cdot \frac{dp}{2} \quad \dots\dots(3.22)$$

Donde :

Diámetro de paso del Piñón : $dp = 38\text{ mm}$.

Fuerza tangencial en el Piñón :

$$W_t = 36.83\text{ N}$$

Reemplazando en la ecuac. (3.22), se tiene :

$$T_L = 36.83\text{ N} \times \frac{38\text{ mm}}{2} = 669.77\text{ N x mm}.$$

3.8 Cálculo de Ejes

3.8.1 Introducción

Para calcular el eje principal y los contraejes, se han graficado los diagramas de cargas correspondientes determinándose las cargas críticas y las secciones donde se producen. Para este cometido se ha empleado el método de la ASME.

3.8.2 Cálculo del Eje Motriz

Las cargas en el eje motriz son como se muestran en la Fig. 3.20.

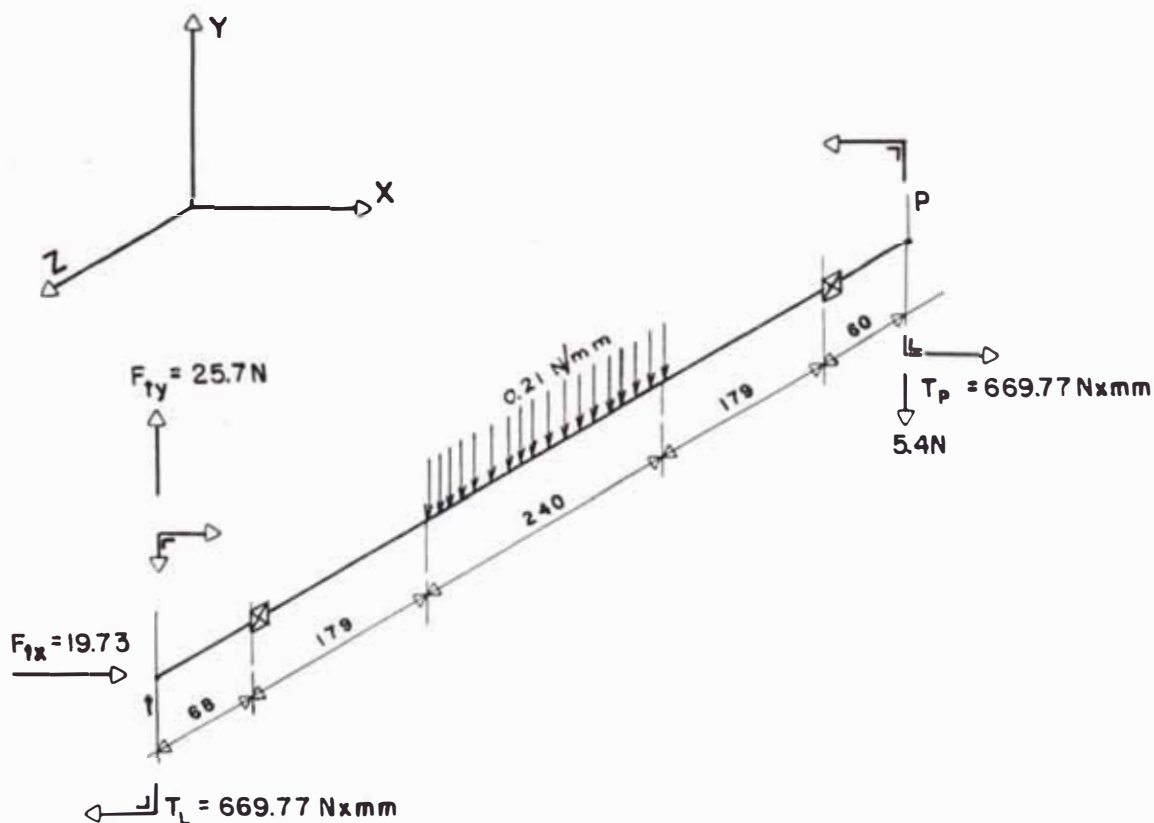


Fig. 3.20 Cargas en el eje motriz
Cotas en mm.

3.8.2.1 Diagrama de Cargas del Eje Motriz

3.8.2.1.1 Diagrama de Cargas en el Plano Z-Y Para el Eje Motriz

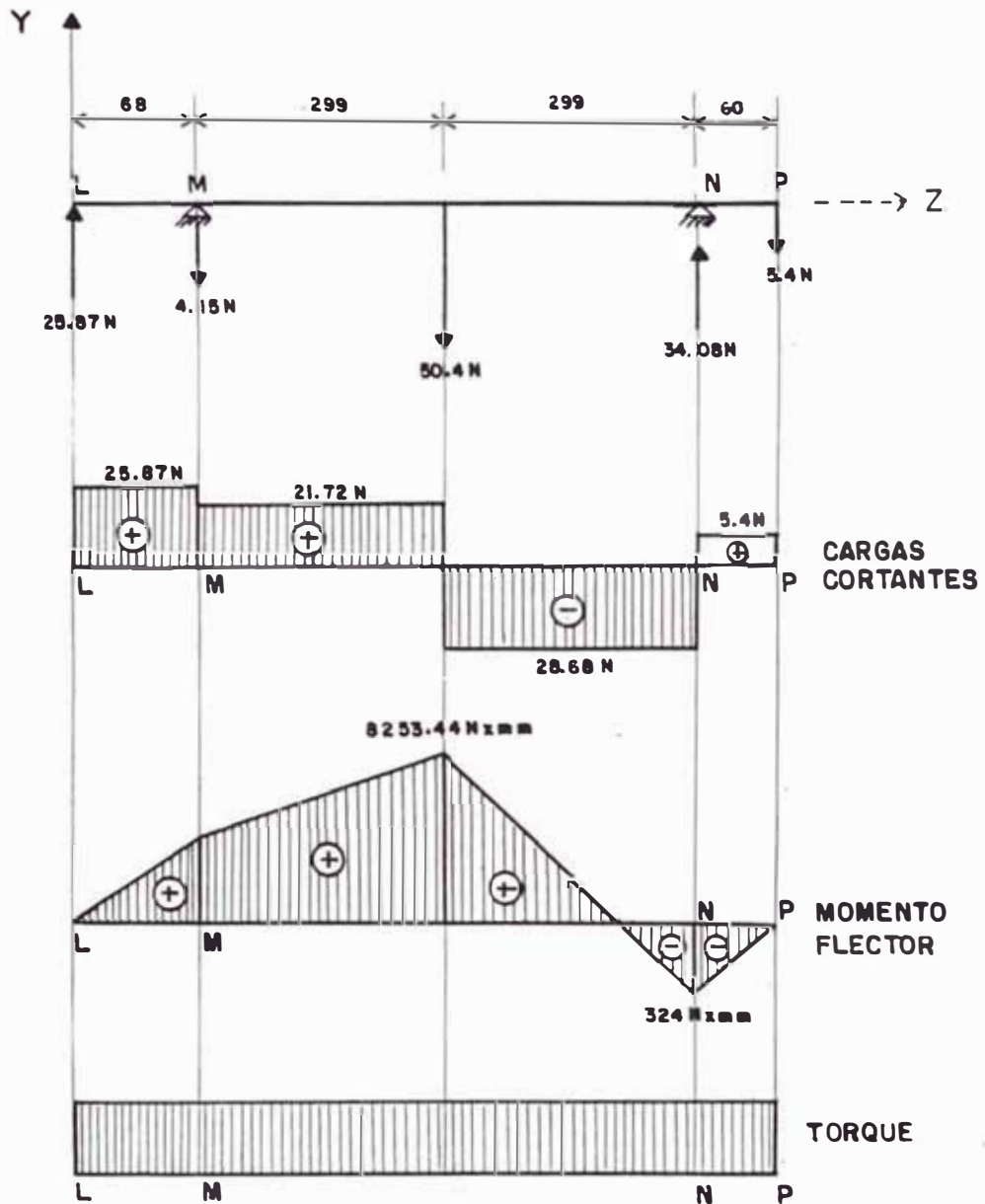


Fig. 3.21
Cotas en mm.

3.8.2.1.2 Diagrama de Cargas en el Plano Z-X Para el Eje Motriz

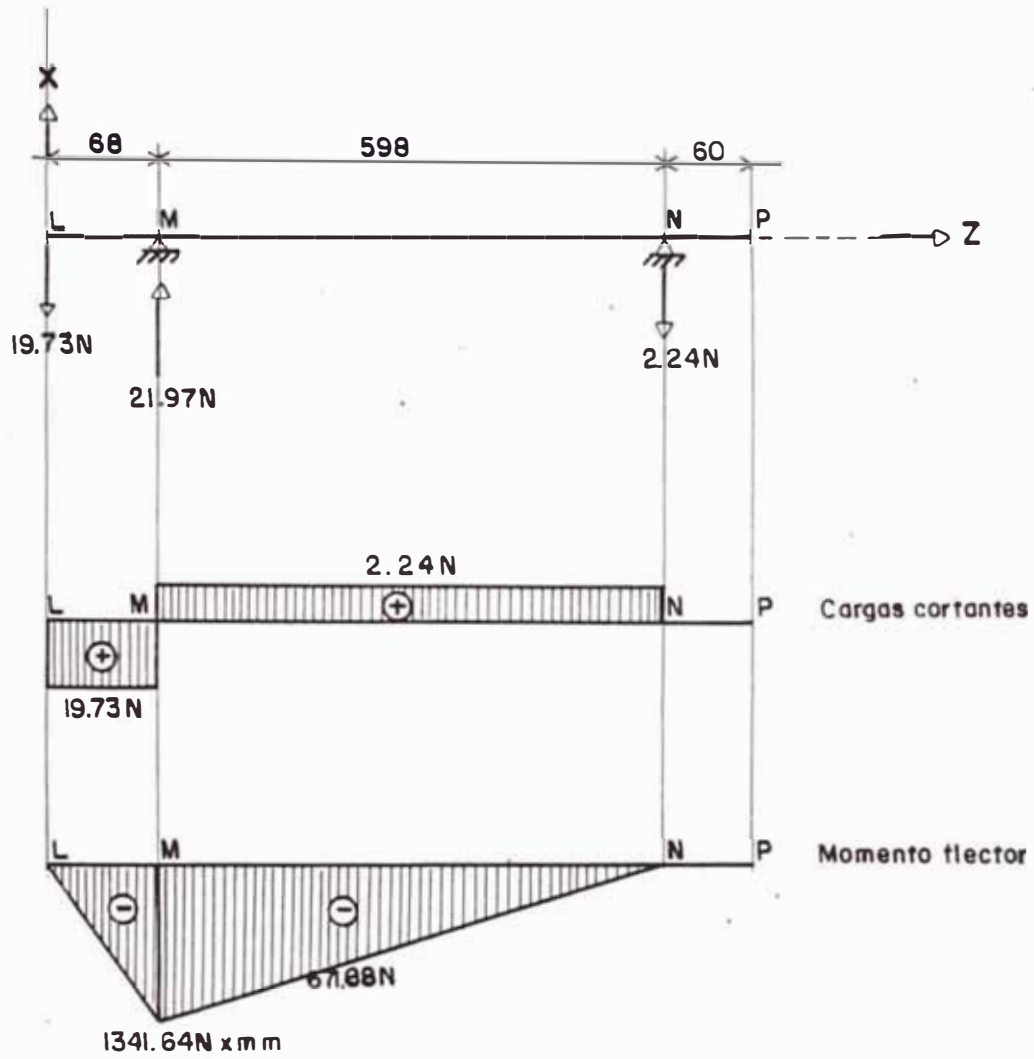


Fig. 3.22
Cotas en mm.

3.8.2.2 Cálculo de las Deflexiones del Eje Motriz

3.8.2.2.1 Deflexiones en el Plano Z-Y

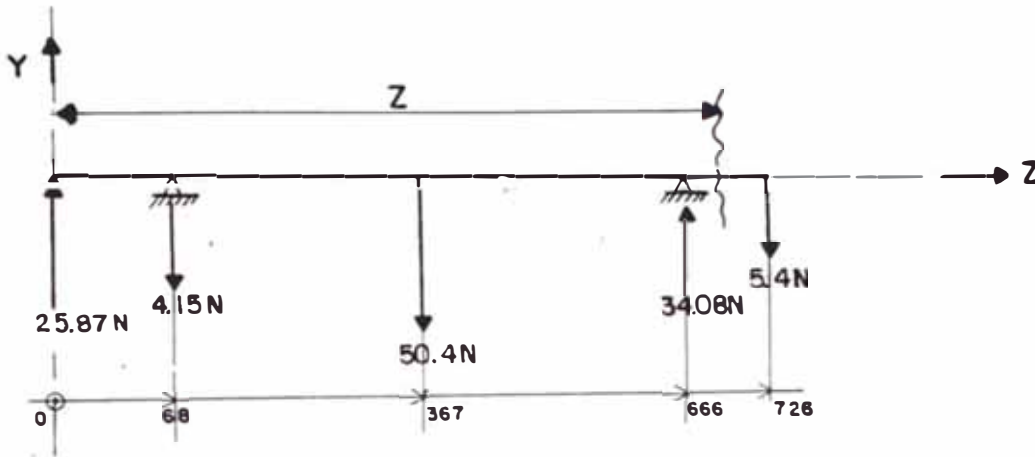


Fig. 3.23
Cotas en mm.

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2 y}{dz^2} = 25.87(Z) - 4.15(Z-68) - 50.4(Z-367) + 34.08(Z-666)$$

Integrando la función, se tiene :

$$EI\theta_z = 25.87 \frac{(Z)^2}{2} - 4.15 \frac{(Z-68)^2}{2} - 50.4 \frac{(Z-367)^2}{2} + 34.08 \frac{(Z-666)^2}{2} + EI\theta_0$$

$$EIf_z = 25.87 \frac{(Z)^3}{6} - 4.15 \frac{(Z-68)^3}{6} - 50.4 \frac{(Z-367)^3}{6} + 34.08 \frac{(Z-666)^3}{6} + EI\theta_0(Z) + EI f_0$$

Por condiciones de frontera :

$$f_z = 0 \quad \text{para } Z = 68 \text{ mm}$$

$$f_z = 0 \quad \text{para } Z = 666 \text{ mm}$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = - 1504842.56$$

$$EI f_0 = 100973568.1$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z(mm)	EIf _z	EIθ _z
0	100973568.1	- 1504842.56
68	0	- 1445031.12
367	- 357636687	51852.58
666	0	1237620.8
726	- 27101304.2	1228028

3.8.2.2.2 Deflexiones en el Plano Z-X

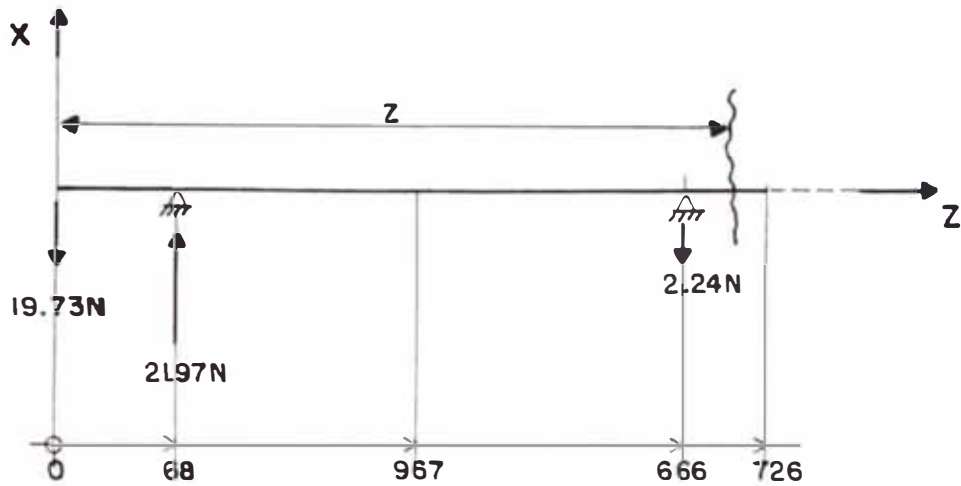


Fig. 3.24
Cotas en mm.

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2x}{dz^2} = - 19.73 (Z) + 21.97 (Z-68) - 2.24 (Z - 666)$$

Integrando la función, se tiene :

$$EI\theta_z = - 19.73 \frac{(Z)^2}{2} + 21.97 \frac{(Z-68)^2}{2} - 2.24 \frac{(Z-666)^2}{2} + EI\theta_0$$

$$EI f_z = - 19.73 \frac{(Z)^3}{6} + 21.97 \frac{(Z-68)^3}{6} - 2.24 \frac{(Z-666)^3}{6} +$$

$$EI\theta_0(Z) + EI f_0$$

Por condiciones de frontera :

$$f_z = 0 \quad \text{para } Z = 68 \text{ mm}$$

$$f_z = 0 \quad \text{para } Z = 666 \text{ mm}$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = 313260.6267$$

$$EI f_0 = - 20267765.39$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z(mm)	EI f _z	EI θ _z
0	- 20267765.39	313260.6267
68	0	267644.8667
367	30033371.95	- 33376.3733
665	0	- 134 139.3733
726	- 8052178.41	- 134266.5733

3.8.2.2.3 Cálculo de la Desviación Resultante en el Eje Motriz

Considerando :

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \quad (20.601 \times 10^4 \text{ N/mm}^2)$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad \dots\dots\dots(3.23)$$

$$\text{Luego : } EI = 10112.49223 d^4 \quad \text{en N.mm}^2$$

Z(mm)	EIf_z	$EI\theta_z$	d(mm)	f_z (mm)	θ_z (Rad)
0	102987590.4	1537102.258		0.064	0.00095
68	0	1469608.353		0	0.00091
367	358895532.6	61665.81182	20	0.222	0.00004
666	0	1244868.915		0	0.00077
726	28272217.22	1235346.219		0.018	0.00076

Luego para el eje motriz, se tiene :

Diámetro $d = 20 \text{ mm } \phi$

Longitud entre apoyos = 598 mm

Del manual de aceros Bohler, se tiene :

Material : Acero ATSI 1045

CARACTERISTICAS MECANICAS			
MARCA	Diámetro (mm.)	Límite de fluencia S_y (kg/mm ²)	Resistencia a la tracción S_u (kg/mm ²)
EHH	16 - 100	34	60 - 75

Asumiendo :

$$S_y = 30 \text{ kg/mm}^2 \quad (294.3 \text{ N/mm}^2)$$

$$S_u = 60 \text{ kg/mm}^2 \quad (588.6 \text{ N/mm}^2)$$

3.8.2.3 Cálculo del Factor de Seguridad

Para este cometido se dispone de la obra : "DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA" de los autores Joseph E. Shigley-Larry D. Mitchell. *

Aplicando el criterio de la energía de distorsión, (según la ecuac. 15-8, pág. 736 *), se tiene :

$$d = \left\{ \frac{48n}{\pi} \left[\left(\frac{T}{S_y} \right)^2 + \left(\frac{M}{S_e} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \dots(3.24)$$

Siendo

d : diámetro del eje

n : factor de seguridad

T : torque

M : momento flector

S_y : esfuerzo de fluencia

S_e : límite de resistencia a la fatiga

Además :

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e \quad \dots\dots\dots(3.25)$$

K_a : factor de superficie

K_b : factor de tamaño

K_c : factor de confiabilidad

K_d : factor de temperatura

K_e : factor de modificación por concentración de esfuerzos

K_f : factor de efectos diversos

S'_e : límite de resistencia a la fatiga de la probeta

Donde :

K_a = 0.77, para eje maquinado a estirado en frío; Fig. 7-10, pág. 308.

K_b = 1.189 d^{-0.097}, para 8 mm < d ≤ 250 mm; ecuac. 7-16, pág. 313.

para nuestro caso d = 20 mm., se tiene :

$$K_b = 0.889$$

$K_c = 0.814$, para una confiabilidad $R = 0.99$; Tabla 7-6, pág. 315.

$K_d = 1.0$, para $T \leq 450^\circ\text{C}$; ecuac. 7-22, pág. 321.

$$K_e = K_f = 1$$

$$S'_e = 0.5 S_u = 0.5 \times 588.6 = 294.3 \text{ N/mm}^2$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuac. (3.25) y efectuando operaciones, se obtiene :

$$S_e = 0.77 \times 0.889 \times 0.814 \times 1 \times 1 \times 1 \times 294.3 = 163.99 \text{ N/mm}^2$$

De cálculos anteriores :

$$M = 8280.74 \text{ N x mm}$$

$$T = 669.77 \text{ N x mm}$$

Reemplazando en la ecuación (3.24), se tiene :

$$20 = \left[\frac{48n}{\pi} \left[\left(\frac{669.77}{294.3} \right)^2 + \left(\frac{8280.74}{163.99} \right) \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

Efectuando y despejando "n", resulta :

$$n = 10.36$$

3.8.2.4 Cálculo del Esfuerzo Cortante Permisible

De la ecuac. (15-4) pág. 731 de Shigley, que expresa la fórmula del código de la ASME.

$$d = \frac{5.1}{\tau_p} \left\{ \left[(C_m M)^2 + (C_t T)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \dots(3.26)$$

Reemplazando en la ecuac. (3.26).

Los factores de momento flexionante y torsionante para carga aplicada repentinamente y choques fuertes, son respectivamente :

$$C_m = 3$$

$$C_t = 3$$

$$M = 8280.74 \text{ N x mm}$$

$$T = 669.77 \text{ N x mm}$$

$$d = 20 \text{ mm } \phi$$

Se tiene :

$$20 = \frac{5.1}{\tau_p} \left\{ \left[(3 \times 8280.74)^2 + (3 \times 669.77)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Efectuando operaciones y despejando el esfuerzo cortante permisible resulta :

$$\tau_p = 7.45 \text{ N/mm}^2$$

Por recomendación de la ASME

$$\left. \begin{aligned} \tau_p &= 0.30 S_y \\ \tau_p &= 0.18 S_u \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3.27)$$

Considerando agujero roscado tanto para asegurar el engranaje motriz y el acoplamiento flexible, se tiene :

$$\tau_p = 0.30 \times 0.75 \times 0.75 S_y = 0.17 S_y$$

$$\tau_p = 0.18 \times 0.75 \times 0.75 S_y = 0.10 S_y$$

Para el acero AISI 1045

$$S_y = 294.3 \text{ N/mm}^2 \quad S_u = 588.6 \text{ N/mm}^2$$

Resulta :

$$\tau_p = 0.17 \times 294.3 \text{ N/mm}^2 = 50.0 \text{ N/mm}^2$$

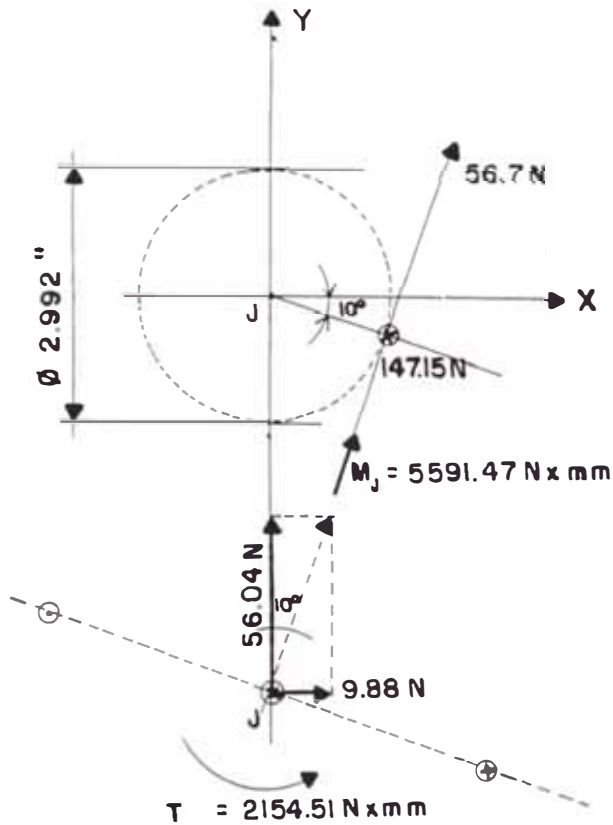
$$\tau_p = 0.10 \times 588.6 \text{ N/mm}^2 = 58.9 \text{ N/mm}^2$$

Siendo el esfuerzo permisible calculado menor que el estimado ($7.45 \text{ N/mm}^2 < 50.0 \text{ N/mm}^2$).

3.8.3 Cálculo del Contraeje Principal

3.8.3.1 Cargas en las Catalinas Alojadas en el Contraeje Principal

Las cargas que actúan en cada catalina son como se muestran en la Fig. 3.25, a excepción de la fuerza de tensión de 147.15 N que se ha dibujado perpendicularmente a la hoja de papel.



a) Cargas actuantes en la catalina alojada en el contraeje principal.

b) Diagrama de cuerpo libre del eje que aloja a la catalina.

Fig. 3.25

Y los cálculos son :

$$F_{jx} = 56.07 \text{ sen } 10^\circ = 9.88 \text{ N (} \rightarrow \text{)}$$

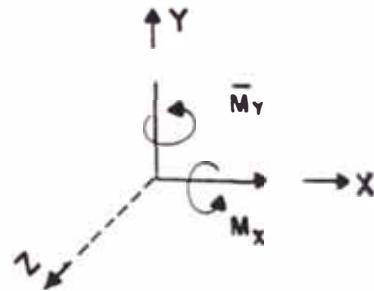
$$F_{jy} = 56.07 \text{ cos } 10^\circ = 56.04 \text{ N (} \uparrow \text{)}$$

$$T_j = 56.7 \text{ N} \times \frac{2.992 \times 25.4 \text{ mm}}{2} = 2154.51 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M_j = 147.15 \text{ N} \times \frac{2.992 \times 25.4 \text{ mm}}{2} = 5591.47 \text{ N} \times \text{mm}$$

Además :

$$\vec{M}_j = M_x \vec{i} + M_y \vec{j}$$



$$M_x = (5591.47 \text{ N} \times \text{mm}) \text{ sen } 10^\circ = 970.95 \text{ N} \times \text{mm}$$

$$M_y = (5591.47 \text{ N} \times \text{mm}) \text{ cos } 10^\circ = 5506.52 \text{ N} \times \text{mm}$$

3.8.3.2 Diagrama de Cargas en el Contraeje Principal

Las cargas en el contraeje principal son como se muestran en la Fig. 3.26.

3.8.3.2.1 Diagrama de Cargas en el Plano Z - Y Para el Contra-eje Principal

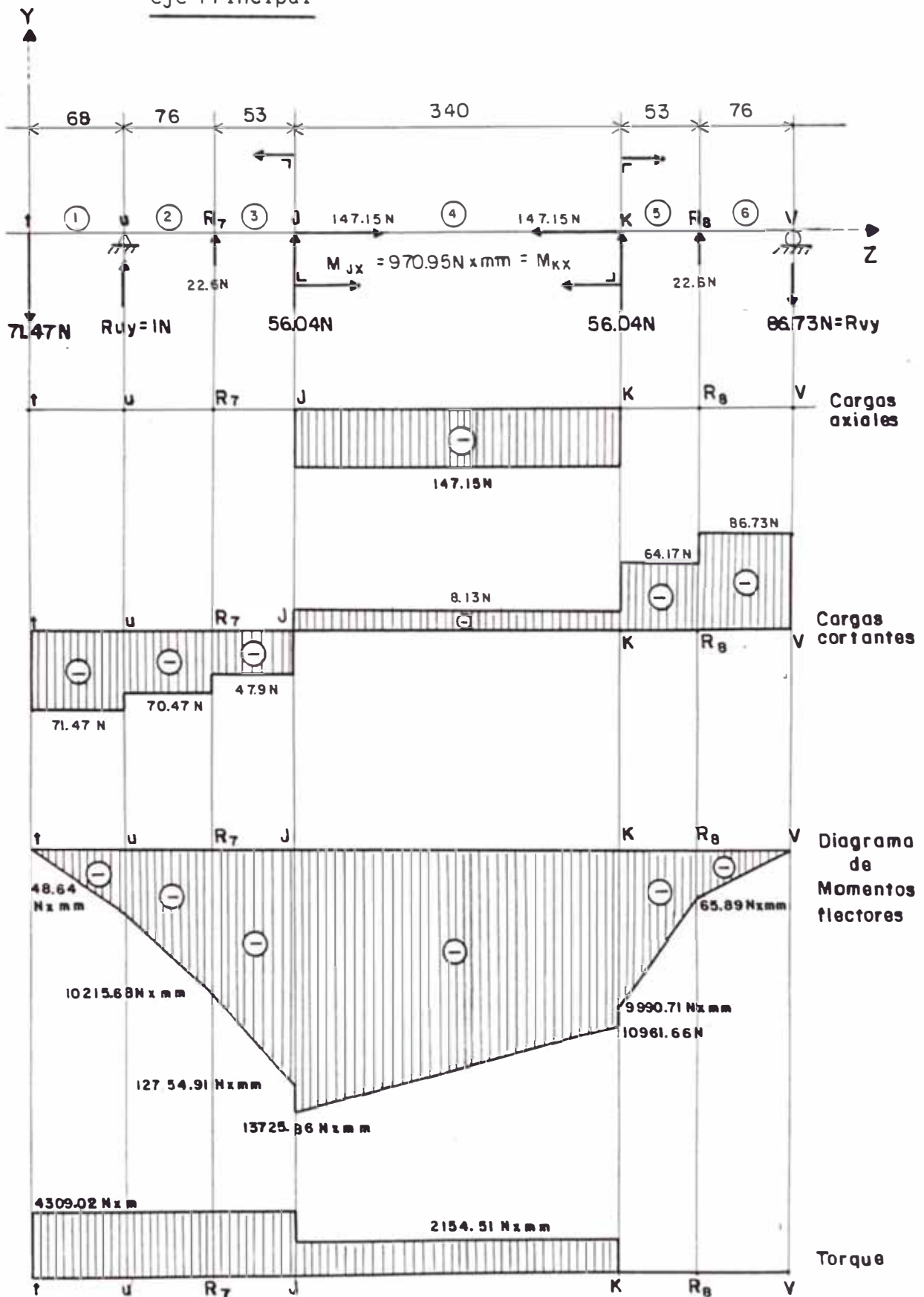


Fig. 3.27
Cotas en mm.

3.8.3.2.2 Diagrama de Cargas en el Plano Z - X Para el Contra-eje Principal

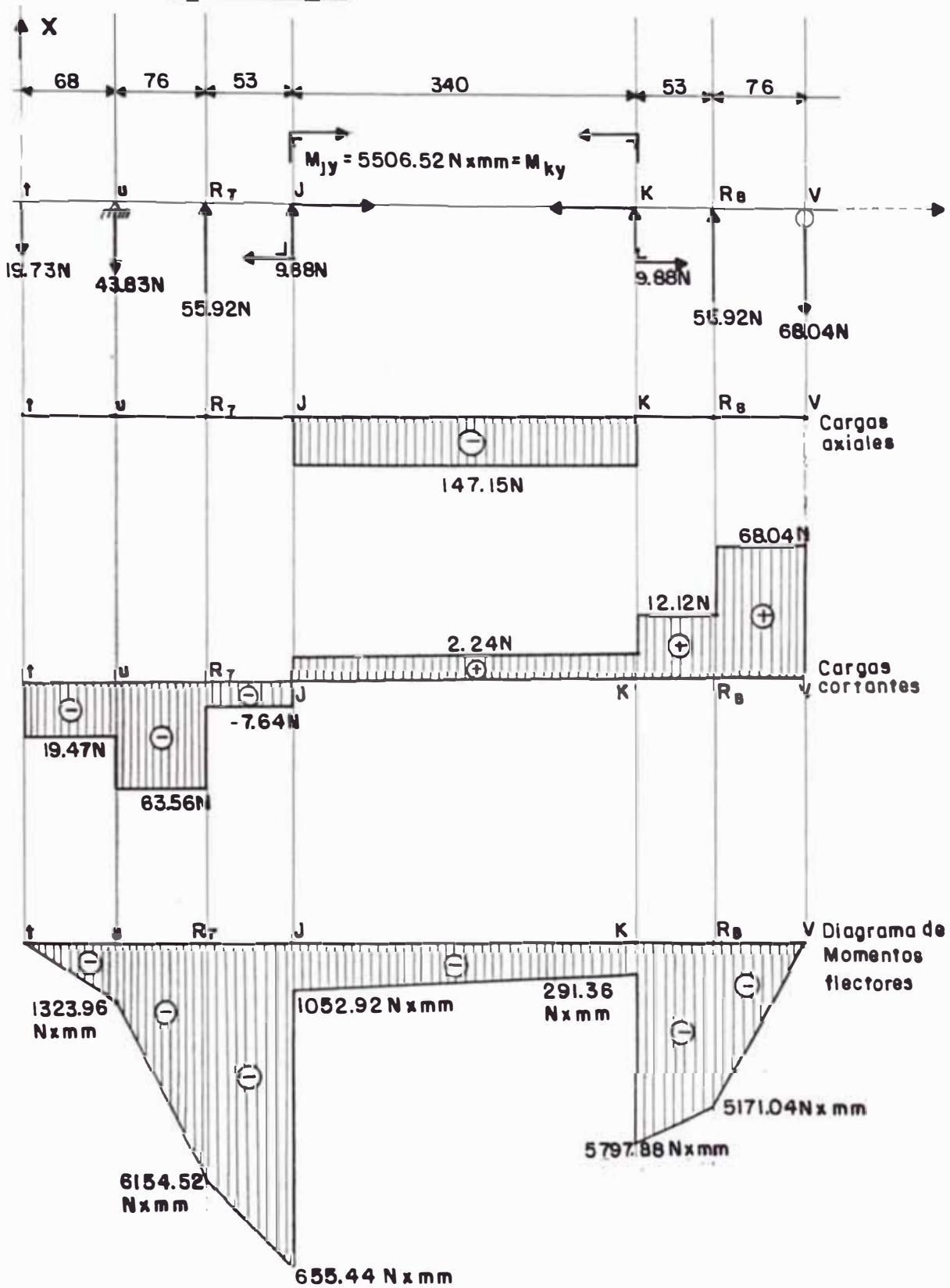


Fig. 3.28
Cotas en mm.

3.8.3.3 Cálculo de las Deflexiones del Contraeje Principal

3.8.3.3.1 Deflexiones en el Plano Z-Y

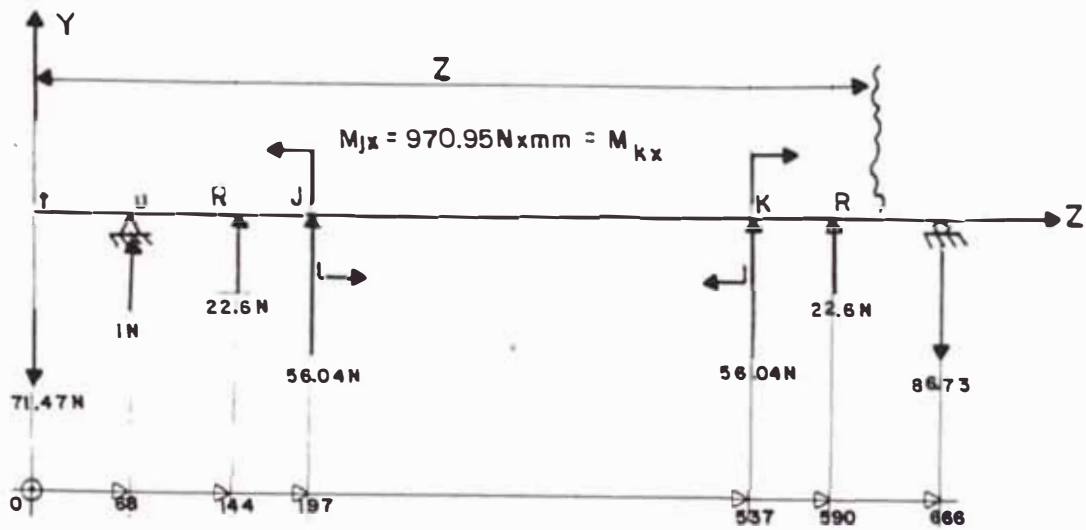


Fig. 3.29

Cotas en mm.

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2y}{dz^2} = -71.47(Z) + 1(Z-68) + 22.6(Z-144) + 56.04(Z-197) - 970.95(Z-197)^0 + 970.95(Z-537)^0 + 56.04(Z-537) + 22.6(Z-590)$$

Integrando la función se tiene :

$$EI\theta_z = - 71.47 \frac{(z)^2}{2} + 1 \frac{(z-68)^2}{2} + 22.6 \frac{(z-144)^2}{2} +$$
$$56.04 \frac{(z-197)^2}{2} - 970.95(z-197)^1 + 970.95(z-537)^1 +$$
$$56.04 \frac{(z-537)^2}{2} + 22.6 \frac{(z-590)^2}{2} + EI\theta_0$$

$$EI f_z = - 71.47 \frac{(z)^3}{6} + 1 \frac{(z-68)^3}{6} + 22.6 \frac{(z-144)^3}{6} +$$
$$56.04 \frac{(z-197)^3}{6} - 970.95 \frac{(z-197)^2}{2} + 970.95 \frac{(z-537)^2}{2} +$$
$$56.04 \frac{(z-537)^3}{6} + 22.6 \frac{(z-590)^3}{6} + EI\theta_0(z) + EI f_0$$

Por condiciones de apoyo :

$$z = 68 \quad ; \quad EI f_z = 0$$

$$z = 666 \quad ; \quad EI f_z = 0$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = 3440022.353$$

$$EI f_0 = - 233921520$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene :

$Z(\text{mm})$	EIf_z	$EI\theta_z$
0	- 233921520	3440022.353
68	0	3274783.713
144	225946815.4	3195910.033
197	353612300.4	3017804.681
537	325602354	- 2100600.662
590	201853877.7	- 2539092.187
666	0	- 2787846.267

3.8.3.3.2 Deflexiones en el Plano X-Z

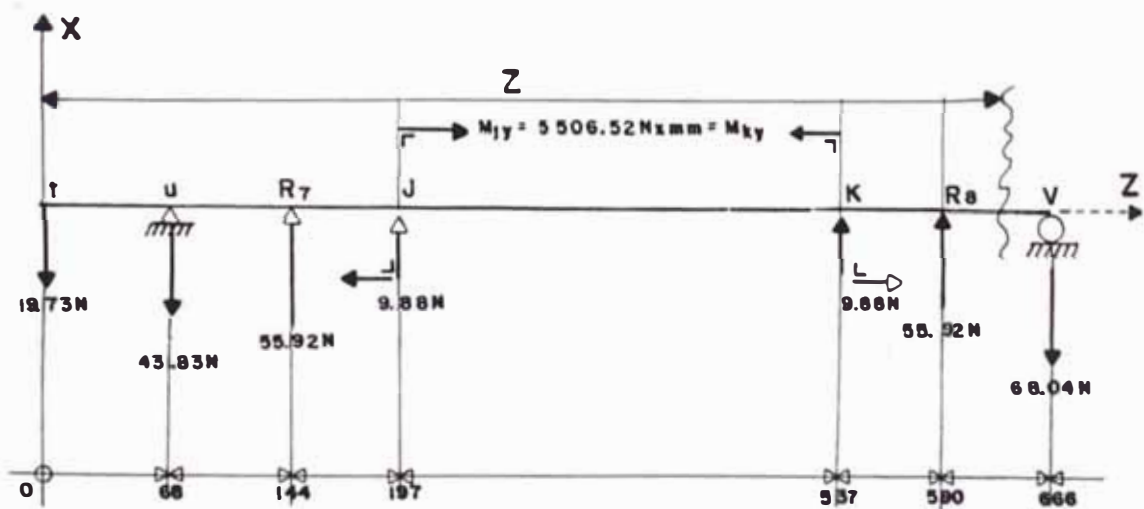


Fig. 3.30
Cotas en mm.

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EJ \frac{d^2x}{dz^2} = - 19.73(Z) - 43.83(Z-68) + 55.92(Z-144) + 9.88(Z-197) + 5506.52(Z-197)^0 + 9.88(Z-537) - 5506.52(Z-537)^0 + 55.92(Z-590)$$

Integrando la función se tiene :

$$EI\theta_z = - 19.73 \frac{(Z)^2}{2} - 43.83 \frac{(Z-68)^2}{2} + 55.92 \frac{(Z-144)^2}{2} + 9.88 \frac{(Z-197)^2}{2} + 5506.52(Z-197)^1 + 9.88 \frac{(Z-537)^2}{2} - 5506.52(Z-537)^1 + 55.92 \frac{(Z-590)^2}{2} + EI\theta_0$$

$$EI f_z = - 19.73 \frac{(Z)^3}{6} - 43.83 \frac{(Z-68)^3}{6} + 55.92 \frac{(Z-144)^3}{6} + 9.88 \frac{(Z-197)^3}{6} + 5506.52 \frac{(Z-197)^2}{2} + 9.88 \frac{(Z-537)^3}{6} - 5506.52 \frac{(Z-537)^2}{2} + 55.92 \frac{(Z-590)^3}{6} + EI\theta_0(Z) +$$

$$EI f_0$$

Por condiciones de apoyo :

$$f_z = 0 \quad \text{para} \quad Z = 68 \text{ mm}$$

$$f_z = 0 \quad \text{para} \quad Z = 666 \text{ mm}$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = 6009850.726$$

$$EI f_0 = - 407635892.1$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z (mm)	$EI f_z$	$EI\theta_z$
0	- 407635892.1	6009850.726
68	0	5964234.966
144	444756982	5678709.046
197	329234244.4	5340852.066
537	2505552652	5106320.066
590	2768320450	4815120.046
666	0	4779956.366

3.8.3.3.3 Cálculo de la Desviación Resultante en el Contraeje Principal

Para el material empleado en 3.8.2.2, se tiene :

Z(mm)	$EI f_z$	$EI \theta_z$	d(mm)	f_z (mm)	θ (rad)
0	469985423.2	6924742.561	25	0.1190	0.00180
68	0	6804138.968	25	0	0.00172
144	498859435.5	6516254.858	25	0.1263	0.00165
197	353612300.4	6134480.083	28	0.0569	0.00099
537	2526620467	5521505.932	28	0.4065	0.00089
590	2775669847	5443562.27	25	0.7027	0.00138
666	0	5533540.428	25	0	0.00140

Siendo :

Longitud entre apoyos = 598 mm

Material : Acero AISI 1045

$$S_y = 30 \text{ kg/mm}^2 \text{ (294.3 N/mm}^2\text{)}$$

$$S_u = 60 \text{ kg/mm}^2 \text{ (588.6 N/mm}^2\text{)}$$

3.8.3.4 Cálculo del Factor de Seguridad

Para :

$$S_y = 294.3 \text{ N/mm}^2$$

$$S_e = 195.27 \text{ N/mm}^2$$

$$T = 4309.02 \text{ N x mm}$$

$$M = 15212.68 \text{ N x mm}$$

Reemplazando en la ecuac. (3.24), se tiene :

$$25 = \left\{ \frac{48n}{\pi} \left[\left(\frac{4309.02^2}{294.3} + \left(\frac{15212.68}{195.27} \right)^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \right\}$$

Efectuando y despejando, resulta :

$$n = 12.9$$

3.8.3.5 Cálculo del Esfuerzo Cortante Permisible

De la ecuación (15-4), pág. 731 de Shigley, que expresa la fórmula del Código de la ASME, se tiene :

$$d = \frac{5.1}{\tau_p} \left\{ \left[\left(C_m M + \frac{\infty F d^2}{8} \right) + (C_t T) \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \dots (3.28)$$

Reemplazando :

$$d = 25 \text{ mm } \phi$$

Los factores de momento flexionante y torsionante, para carga aplicada repentinamente y choques fuertes son respectivamente :

$$C_m = 3 \quad ; \quad C_t = 3$$

$$T = 4309.02 \text{ N x mm}$$

$$F = 147.15 \text{ N}$$

$$\alpha = 1.23$$

Reemplazando los valores en la ecuac. (3.28), se tiene :

$$25 = \frac{5.1}{\tau_p} \left\{ \left[(3 \times 15212.68 + \frac{1.23 \times 147.15 \times 25^2}{8}) + (3 \times 4309.02)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Efectuando operaciones y despejando el esfuerzo constante permisible, resulta :

$$\tau_p = 7.41 \text{ N/mm}^2$$

Considerando canal chavetero y agujero roscado para asegurar la rueda dentada y catalina respectivamente, se tiene :

$$\tau_p = 0.30 \times (0.75)^4 S_y = 0.09 S_y$$

Para : $S_y = 294.3 \text{ N/mm}^2$, se obtiene :

$$\tau_p = 27.94 \text{ N/mm}^2$$

Siendo el esfuerzo cortante permisible calculado menor que el estimado. ($6.86 \text{ N/mm}^2 < 27.94 \text{ N/mm}^2$)

Donde :

$$\infty = \frac{1}{1 - 0.0044 \frac{L}{K}} = \frac{1}{1 - 0.0044 \times 41.76}$$

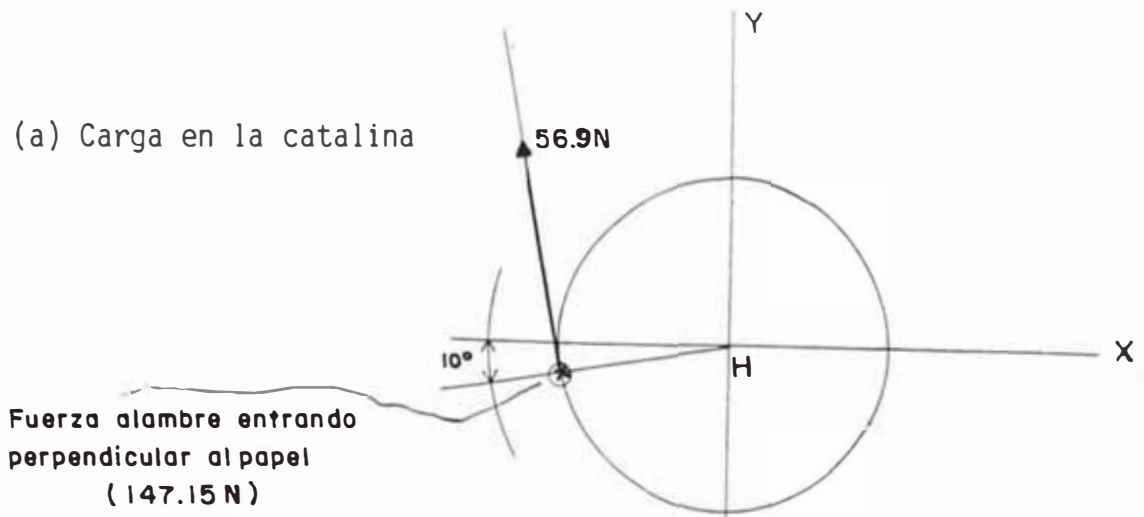
$$\frac{L}{K} = \frac{522}{25/2} = \frac{522}{12.5} = 41.76$$

3.8.4 Cálculo del Contraeje Secundario

3.8.4.1 Cargas en las Catalinas Alojadas en el Contraeje Secundario

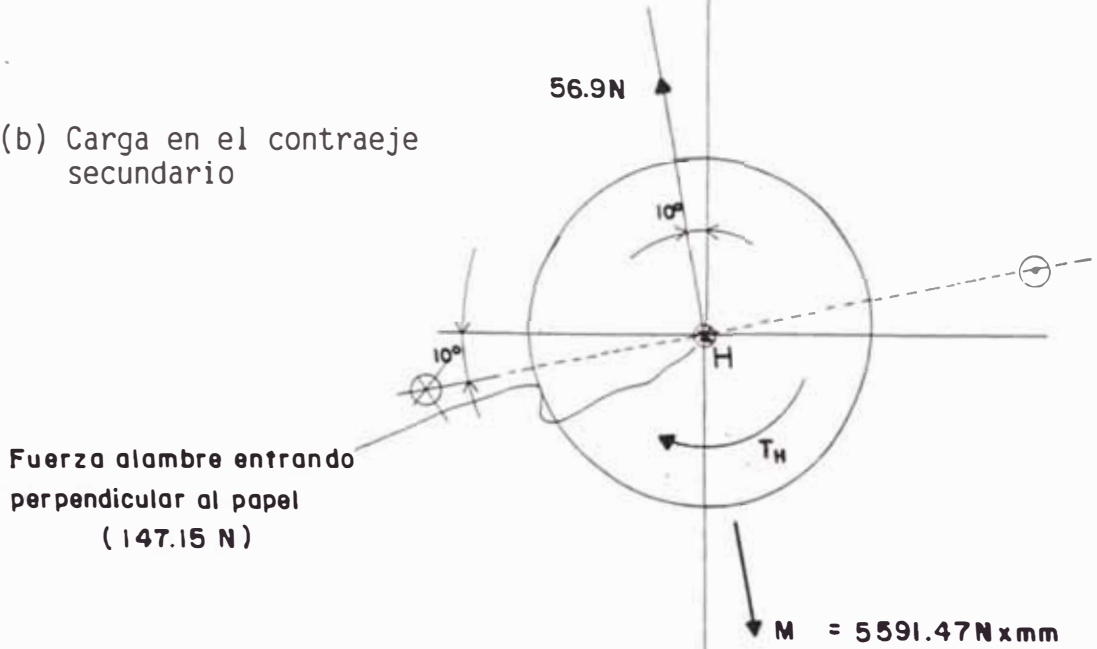
Las cargas que actúan sobre las catalinas que giran sobre el contraeje secundario fijo, son como se muestran en la Fig. 3.31 y Fig. 3.32.

(a) Carga en la catalina



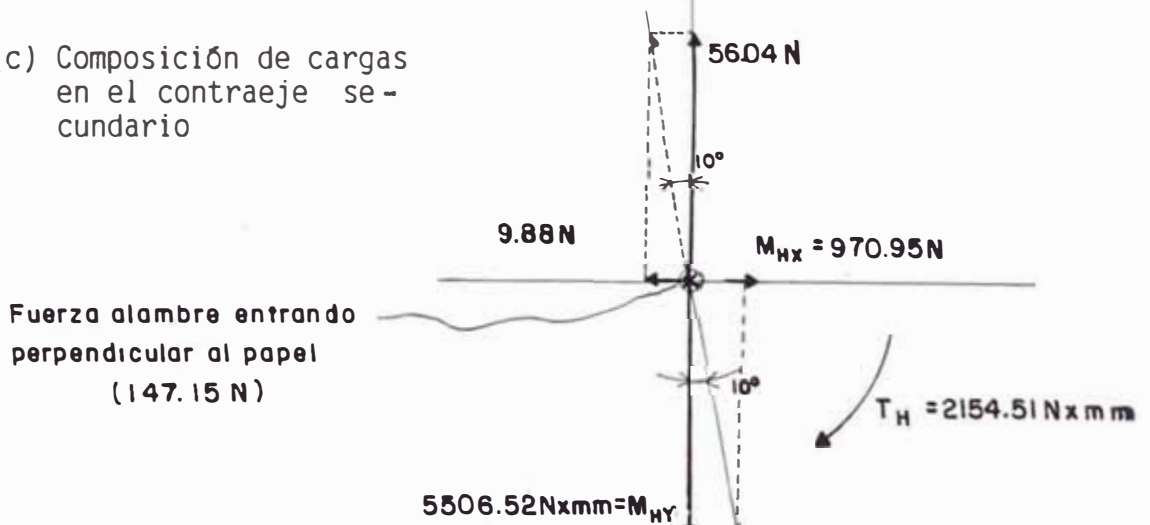
Fuerza alambre entrando perpendicular al papel (147.15 N)

(b) Carga en el contraeje secundario



Fuerza alambre entrando perpendicular al papel (147.15 N)

(c) Composición de cargas en el contraeje secundario



Fuerza alambre entrando perpendicular al papel (147.15 N)

Fig. 3.31 Cargas Actuantes en la catalina anterior y el contraeje secundario

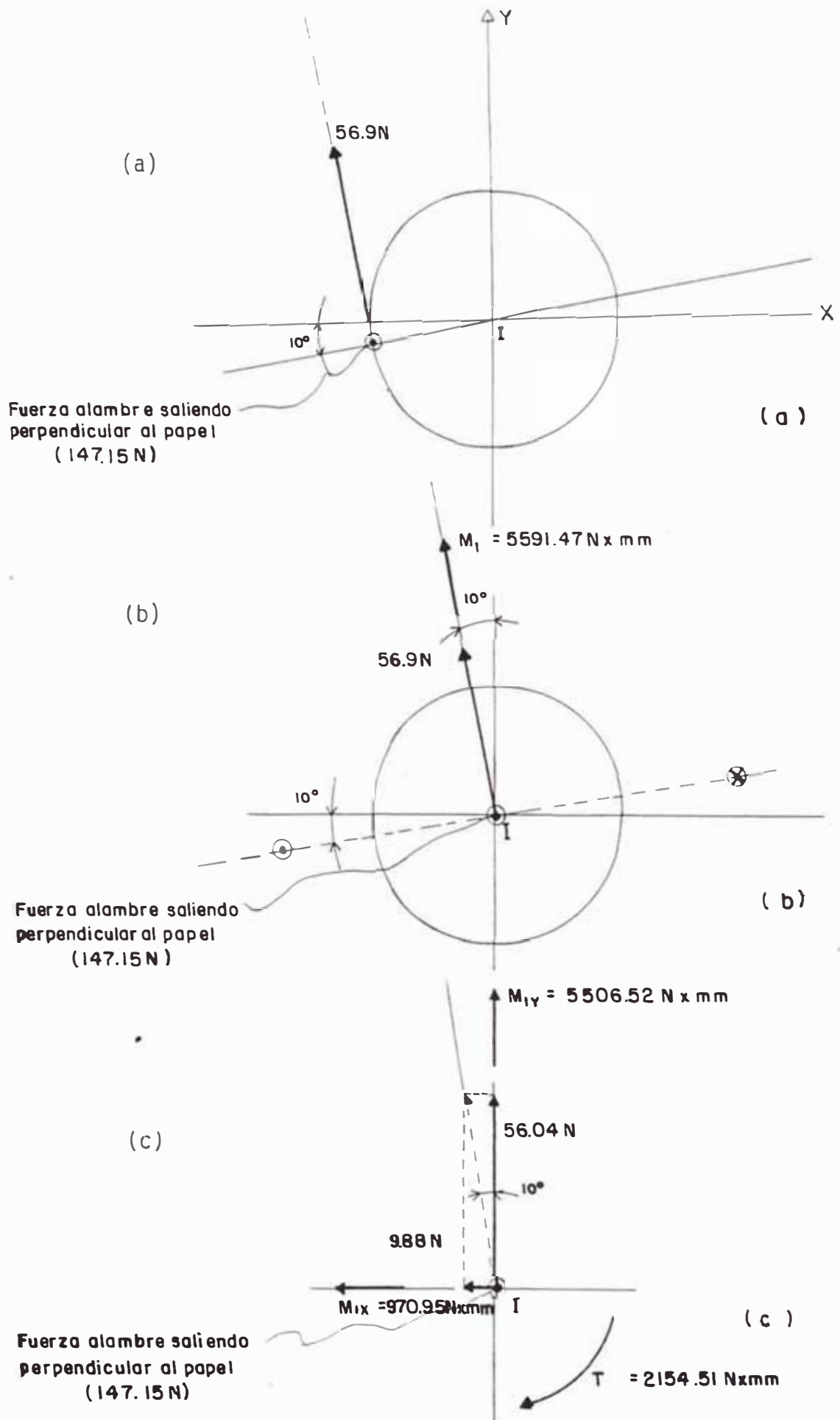


Fig. 3.32 Cargas Actuantes en los Piñones Posteriores

3.8.4.2 Diagrama de Cargas en el Contraeje Secundario

Las cargas en el contraeje secundario son como se muestran en la Fig. 3.33.

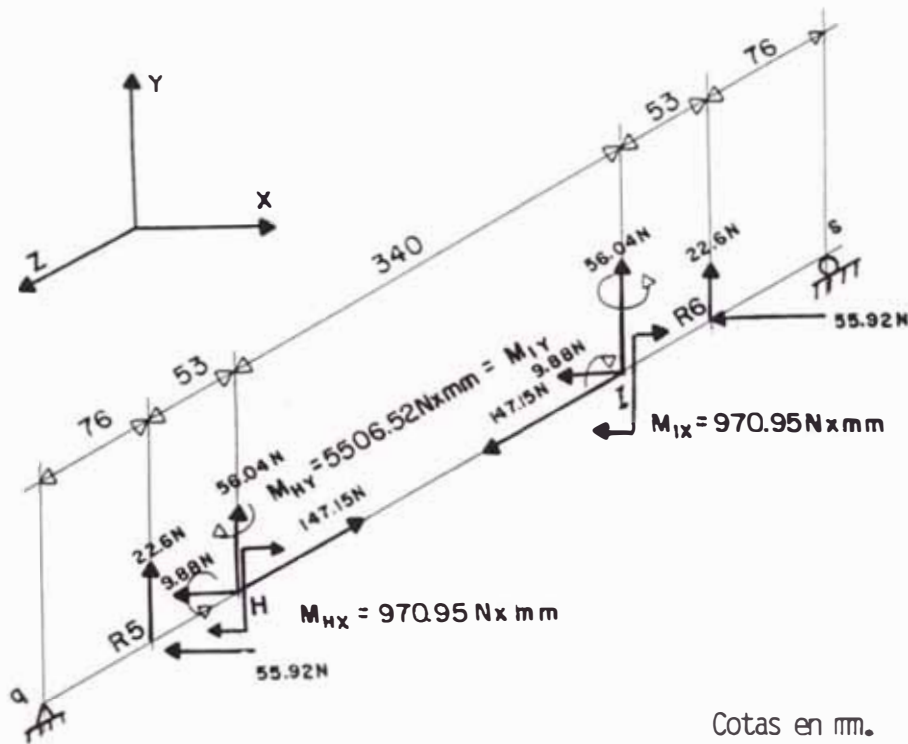


Fig 3.33 Cargas en el contraeje secundario

3.8.4.2.1 Diagrama de Cargas en el Plano Y-Z Para el Contraeje Secundario

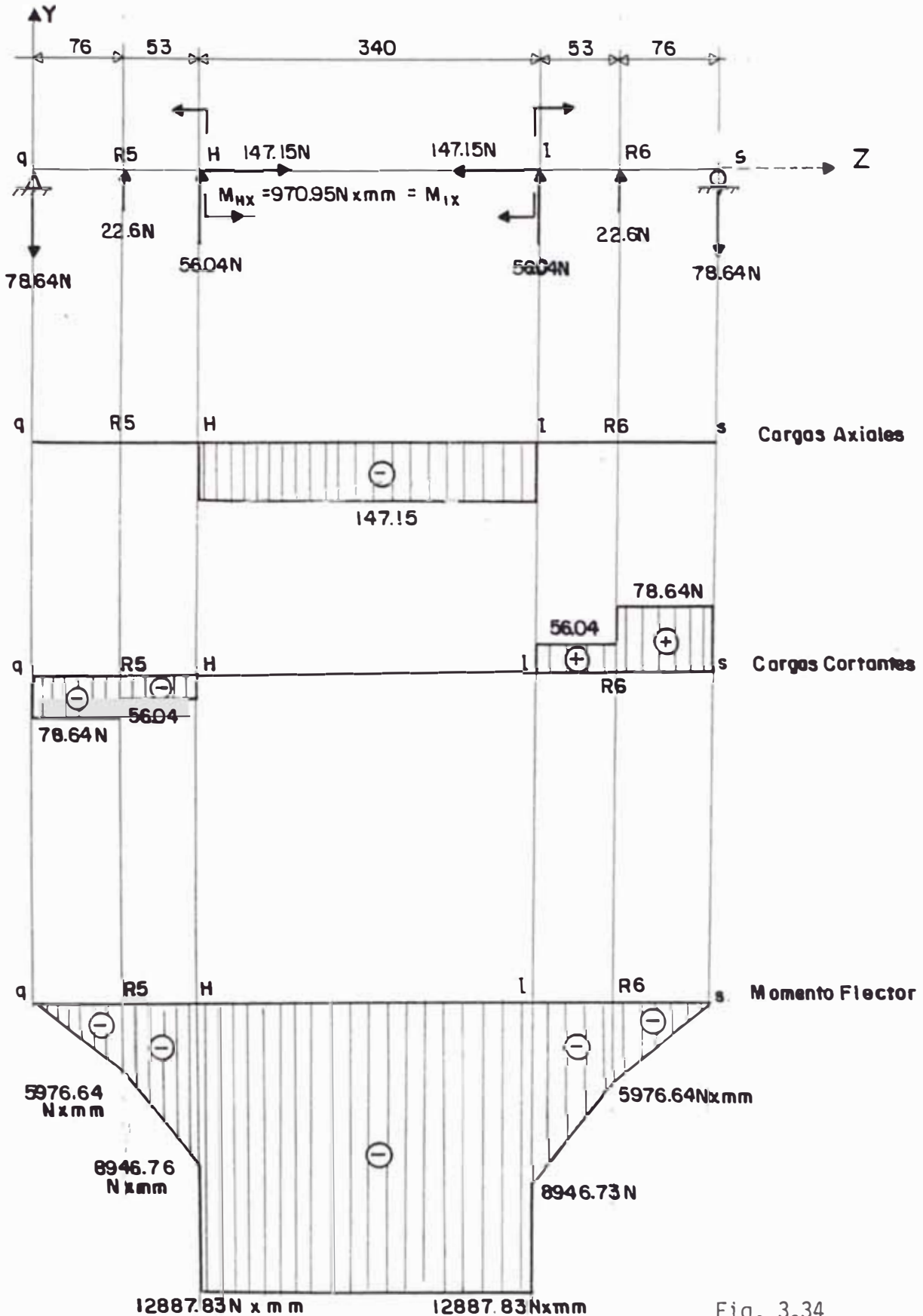


Fig. 3.34

3.8.4.2.2 Diagrama de Cargas en el Plano X - Z Para el Contraeje Secundario.

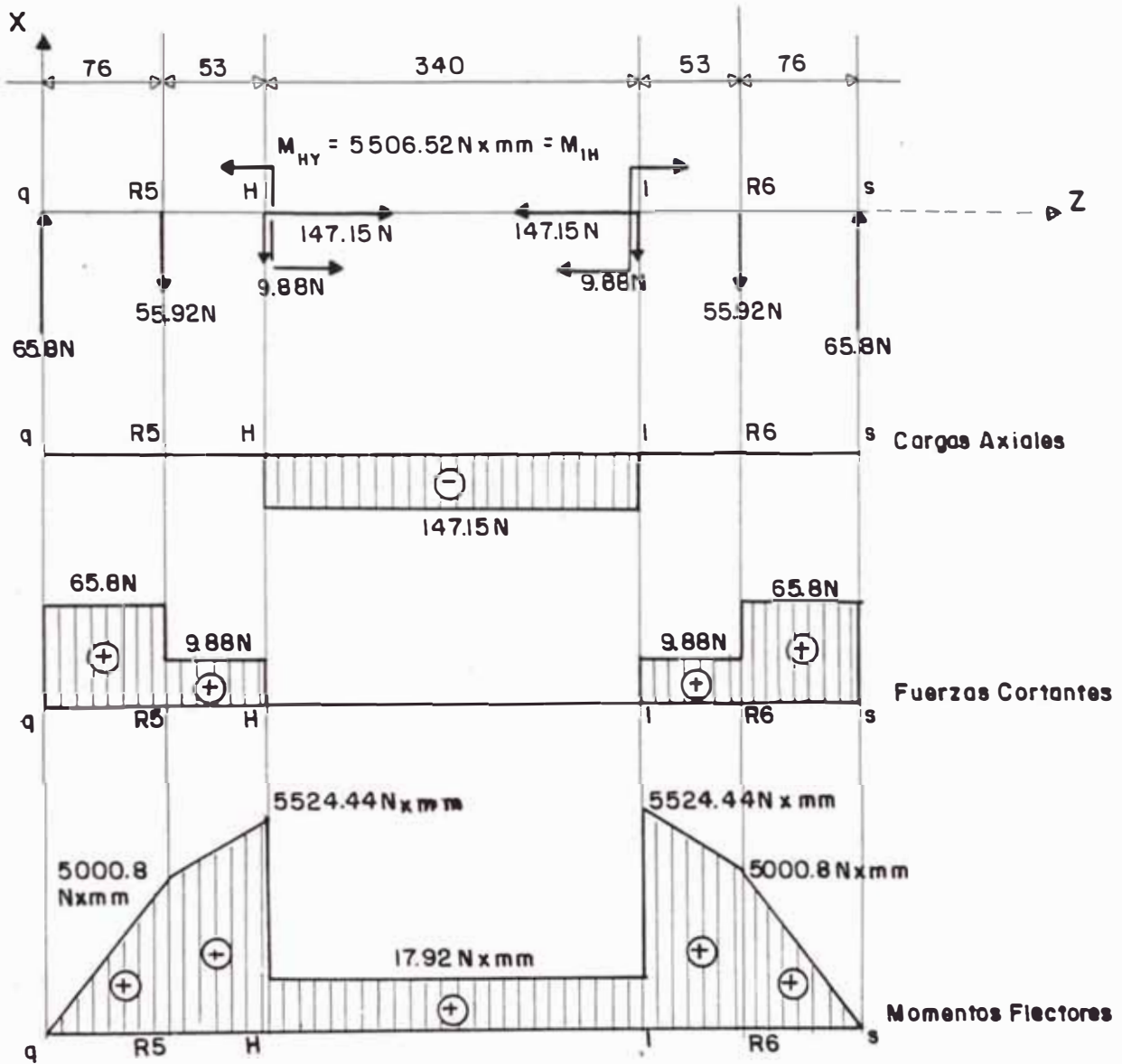
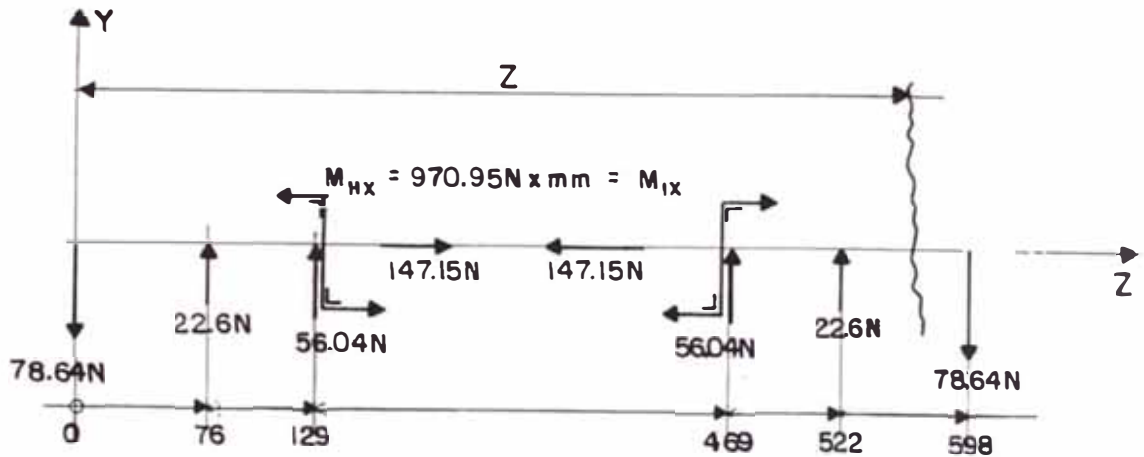


Fig. 3.35

3.8.4.3 Cálculo de las Deflexiones del Contraeje Secundario

3.8.4.3.1 Deflexiones en el Plano Z - Y



Cotas en mm.

Fig. 3.36

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2y}{dz^2} = -78.64(Z) + 22.6(Z-76) + 56.04(Z-129) - 970.95(Z-129)^0 + 56.04(Z-469) + 970.95(Z-469)^0 + 22.6(Z-522)$$

Integrando la función se tiene :

$$EI\theta_z = -78.64 \frac{(Z)^2}{2} + 22.6 \frac{(Z-76)^2}{2} + 56.04 \frac{(Z-129)^2}{2} -$$

$$970.95 (Z-129) + 56.04 \frac{(Z-469)^2}{2} + 970.95(Z-469) +$$

$$22.6 \frac{(Z-522)^2}{2} + EI\theta_0$$

$$EI f_z = - 78.64 \frac{(Z)^3}{6} + 22.63 \frac{(Z-76)^3}{6} + 56.04 \frac{(Z-129)^3}{6} -$$

$$970.95 \frac{(Z-129)^2}{2} + 56.04 \frac{(Z-469)^3}{6} + 970.95 \frac{(Z-469)^2}{2} +$$

$$22.6 \frac{(Z-522)^3}{6} + EI\theta_0(Z) + EI f_0$$

Por condiciones de apoyo :

$$Z = 0 \text{ mm} ; EI f_z = 0$$

$$Z = 598 \text{ mm} ; EI f_z = 0$$

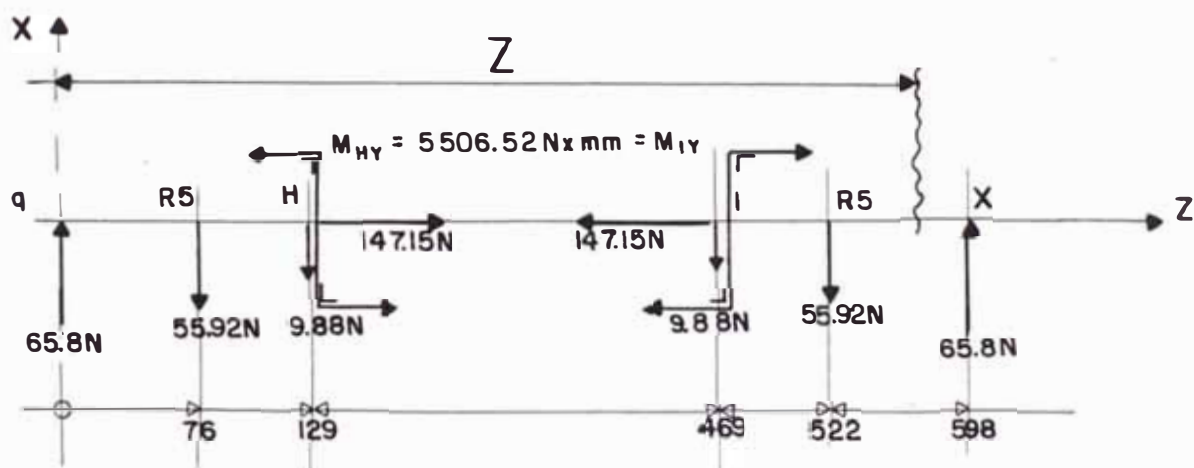
Se obtiene :

$$EI f_0 = 0 ; EI\theta_0 = 2308593.12$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z (mm)	EJf_z	$EI\theta_z$
0	0	2308593.12
76	169699565.1	2081480.80
129	270233345.4	1686010.70
299	413544254.9	0
469	270233345.4	- 1686010.70
522	169699565.1	- 2081480.80
598	0	- 2308593.12

3.8.4.3.2 Deflexiones en el Plano Z - X



Cotas en mm.

Fig. 3.37

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2x}{dz^2} = + 65.8 (Z) - 55.92 (Z-76) + 9.88 (Z-129) - 5506.52(Z-129)^0 - 9.88(Z-469) + 5506.52(Z-469)^0 - 55.92 (Z-522)$$

Integrando la función, se tiene :

$$EI\theta_z = 65.8 \frac{(Z)^2}{2} - 55.92 \frac{(Z-76)^2}{2} - 9.88 \frac{(Z-129)^2}{2} - 5506.52(Z-129) - 9.88 \frac{(Z-469)^2}{2} + 5506.52(Z-469) - 55.92 \frac{(Z-522)^2}{2} + EI\theta_0$$

$$EI f_z = 65.8 \frac{(Z)^3}{6} - 55.92 \frac{(Z-76)^3}{6} - 9.88 \frac{(Z-129)^3}{6} - 5506.52 \frac{(Z-129)^2}{2} - 9.88 \frac{(Z-469)^3}{6} + 5506.52 \frac{(Z-469)^2}{2} - 55.92 \frac{(Z-522)^3}{6} + EI\theta_0(Z) + EI f_0$$

Por condiciones de apoyo :

$$Z = 0 \text{ mm} ; \quad EIf_z = 0$$

$$Z = 598 \text{ mm} ; \quad EIf_z = 0$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = - 471995.66 \quad ; \quad EIf_0 = 0$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z(mm)	EIf_z	$EI\theta_z$
0	0	- 471995.66
76	- 31057566.69	- 281965.26
129	- 38732951.08	- 3046.4
299	- 38991895.09	0
469	- 38732951.08	3046.4
522	- 31057566.69	281965.26
598	0	471995.66

3.8.4.4 Cálculo de la Desviación Resultante en el Contraeje Secundario

Z(mm)	EIf_z	$EI\theta_z$	d(mm)	f_z (mm)	θ_z (rad)
0	0	2356349.316	17	0	0.00279
76	172518158	2100492.021	17	0.204	0.00249
129	272995059.4	1686013.452	20	0.169	0.00104
299	415378404.2	0	23	0.147	0
469	272995059.4	1686013.452	20	0.169	0.00104
522	172518158	2100492.021	17	0.204	0.00249
598	0	2356349.316	17	0	0.00279

Siendo :

Longitud entre apoyos = 598 mm

Material : Acero AISI 1045

$$S_y = 30 \text{ kg/mm}^2 \text{ (294.3 N/mm}^2\text{)}$$

$$S_u = 60 \text{ kg/mm}^2 \text{ (588.6 N/mm}^2\text{)}$$

3.8.5 Cálculo del Eje Intermedio Izquierdo

El eje intermedio izquierdo se mantiene estático y sobre él giran un par de piñones locos.

3.8.5.1 Cargas en las Catalinas Alojadas en el Eje Intermedio Izquierdo.

Las cargas que actúan sobre las catalinas que están montados sobre el eje intermedio izquierdo son como se muestran en las Fig. 3.38.

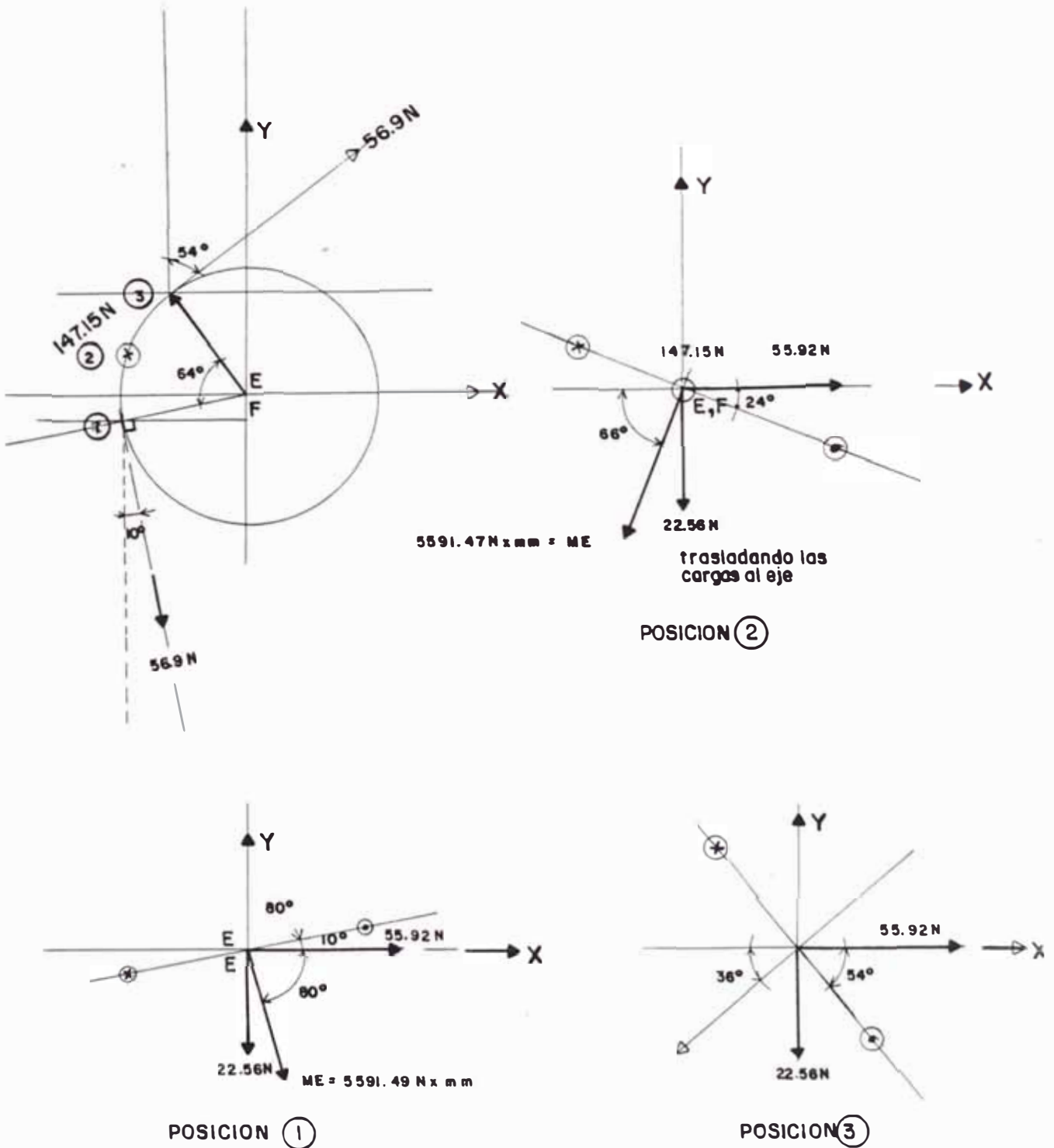


Fig. 3.38 Cargas actuantes en la catalina anterior

Posición	Ang. (°)	M _{EX} (N.mm)	M _{EY} (N.mm)
1	80°	- 970.95	5506.52
2	66°	2274.26	5108.06
3	36°	4523.59	3286.58

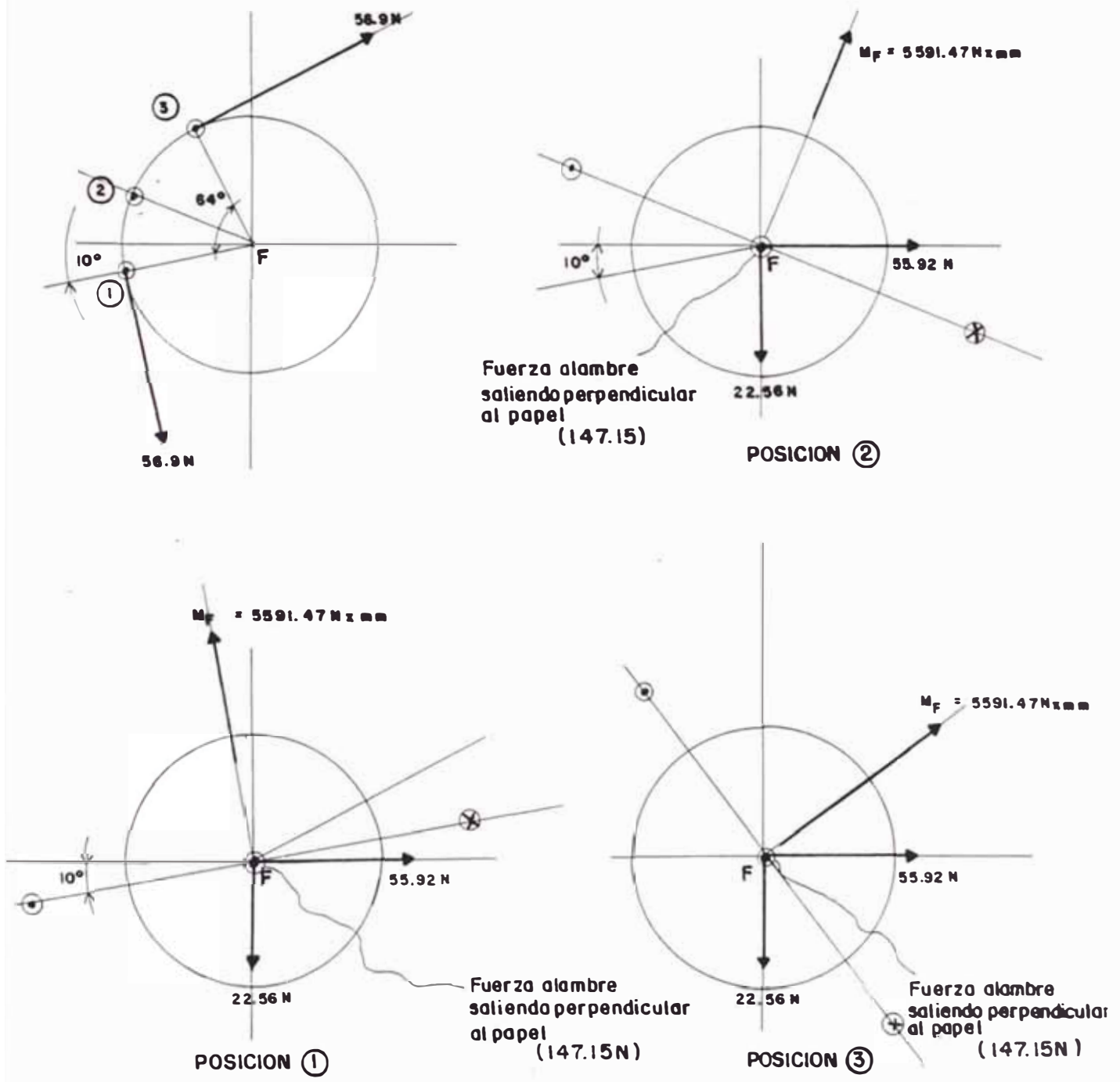


Fig. 3.39 Cargas Actuantes en la Catalina Posterior

3.8.5.2 Diagrama de Cargas en el Eje Intermedio Izquierdo

3.8.5.2.1 Diagrama de Cargas para la Posición (1)

Las cargas que actúan sobre el eje izquierdo, para la posición (1), son como se muestra en la Fig. 3.40.

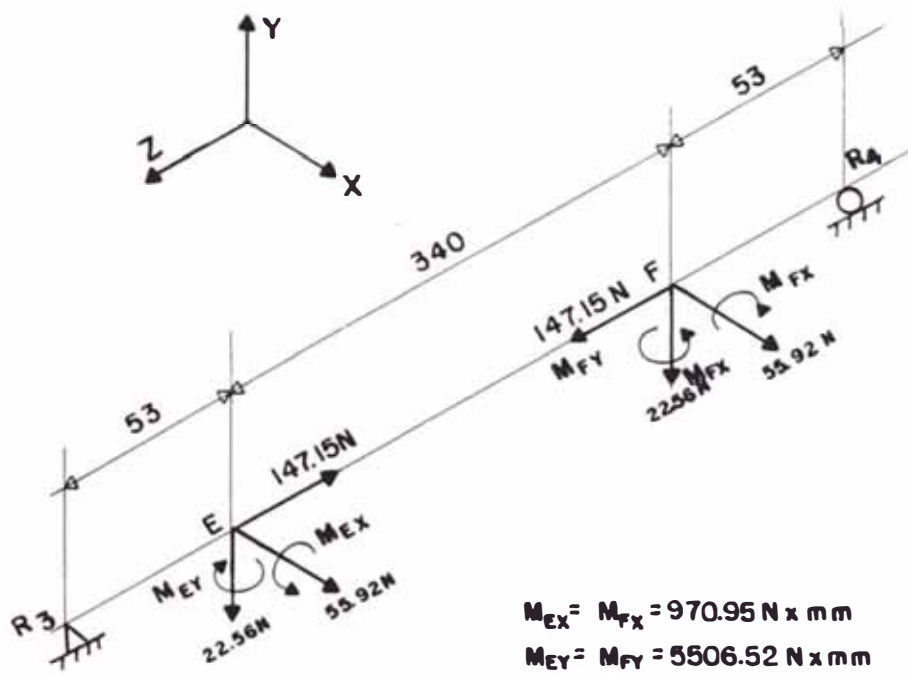


Fig. 3.40

Posición (1), cotas en mm.

Diagrama de Cargas en el Plano Z - Y

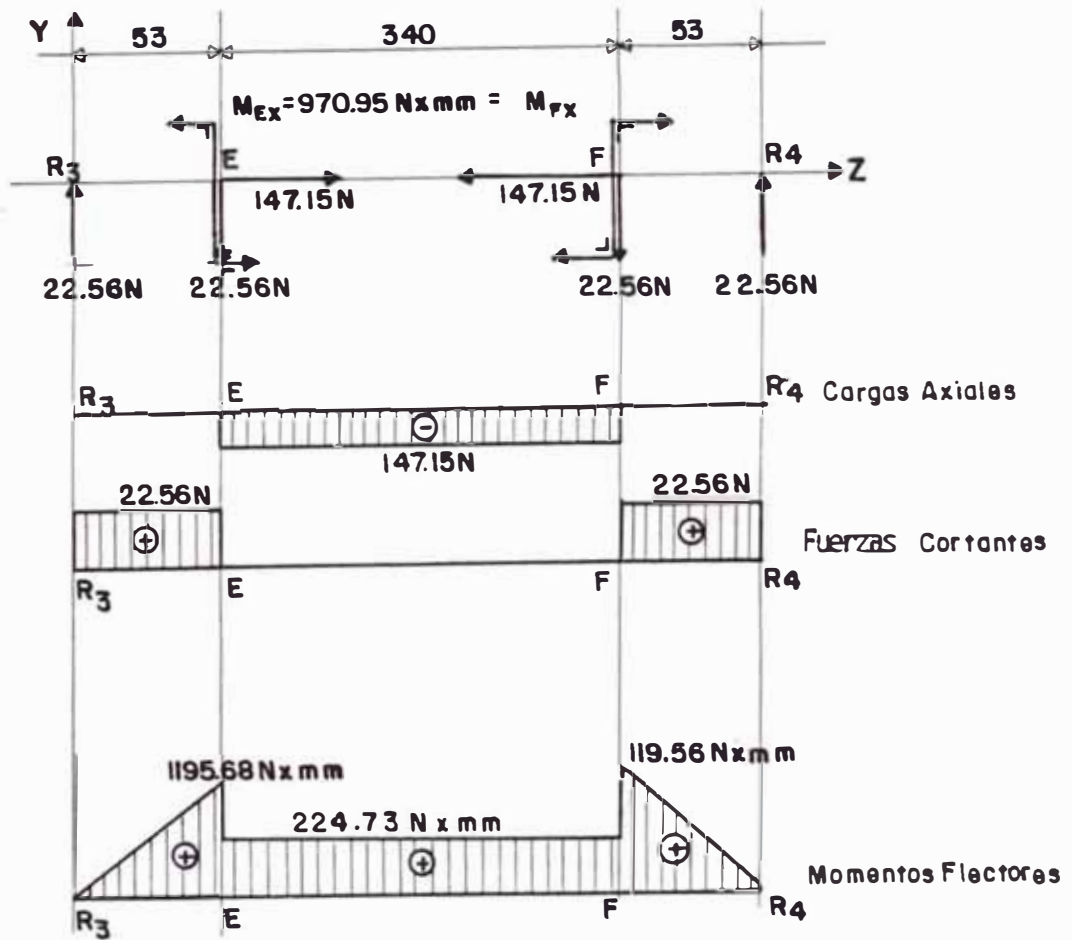


Fig. 3.41

Diagrama de Cargas en el Plano Z - X

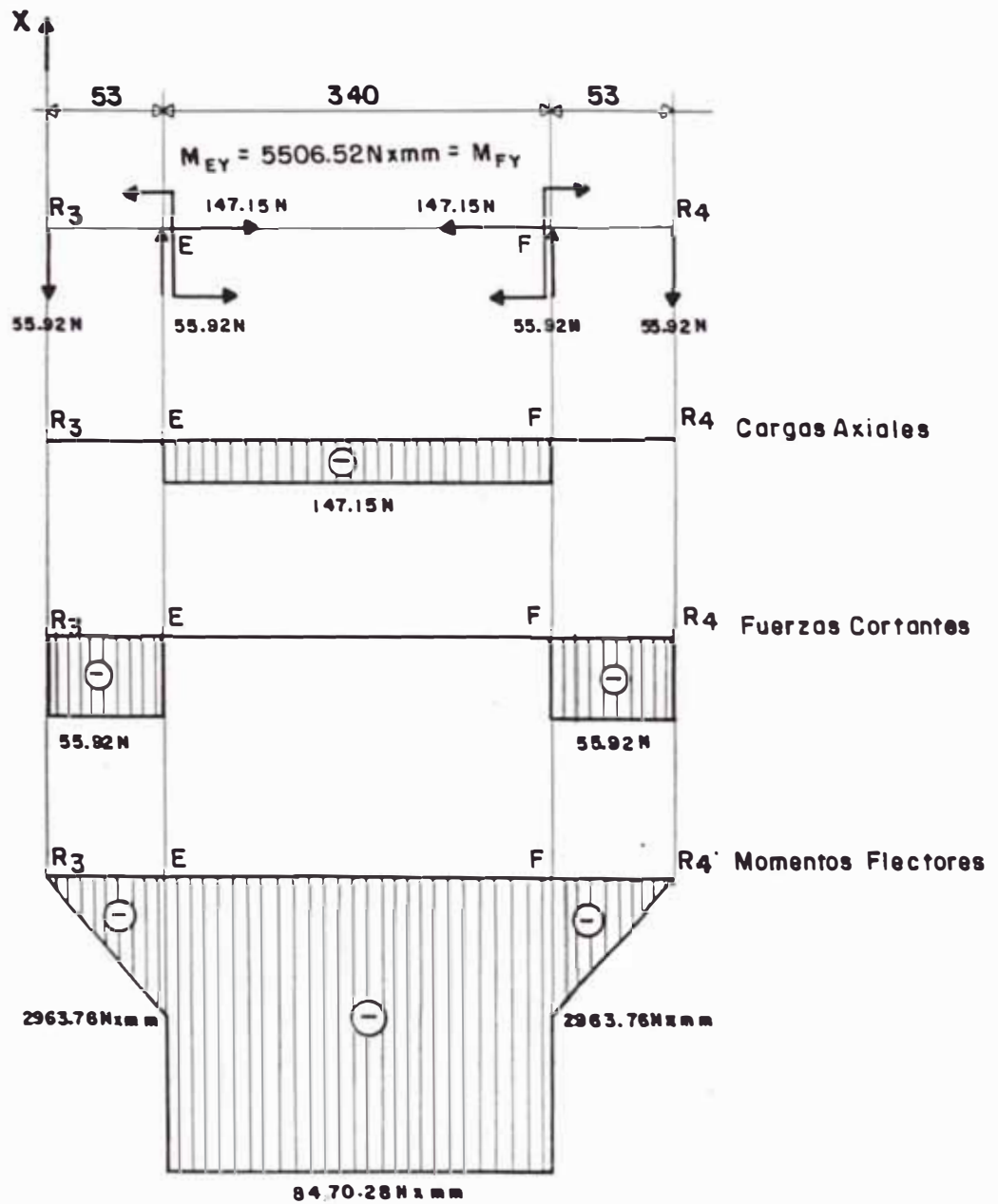
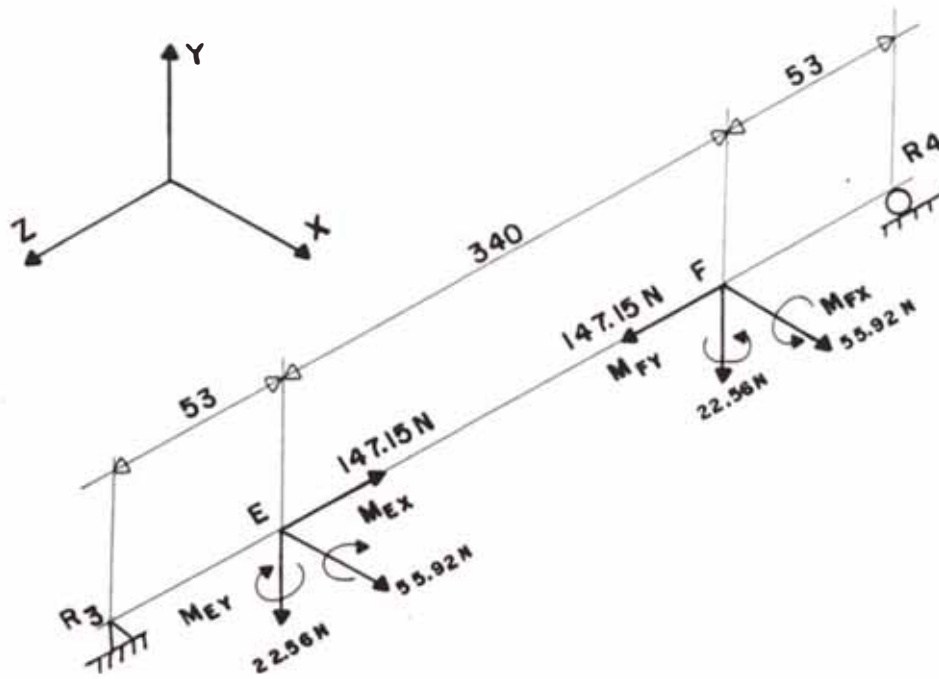


Fig. 3.42

3.8.5.2.2 Diagrama de Cargas para la Posición (2)

Las cargas que actúan sobre izquierdo, para la posición (2), son como se muestran en la Fig. 3.43.



$$M_{EX} = M_{FX} = 2274.26 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{EY} = M_{FY} = 5108.06 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Fig. 3.43

Posición (2), cotas en mm.

Diagrama de Cargas en el Plano Z - Y

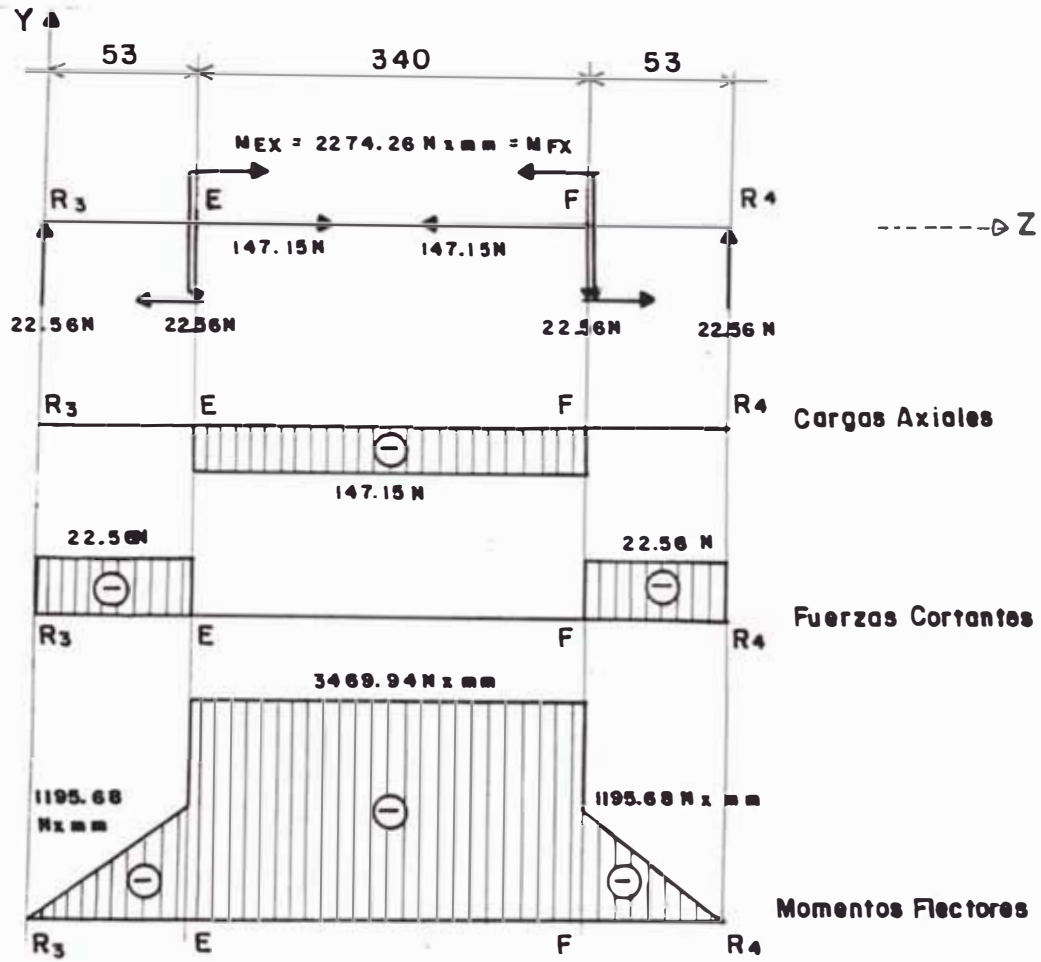


Fig. 3.44

Diagrama de Cargas en el Plano Z - X

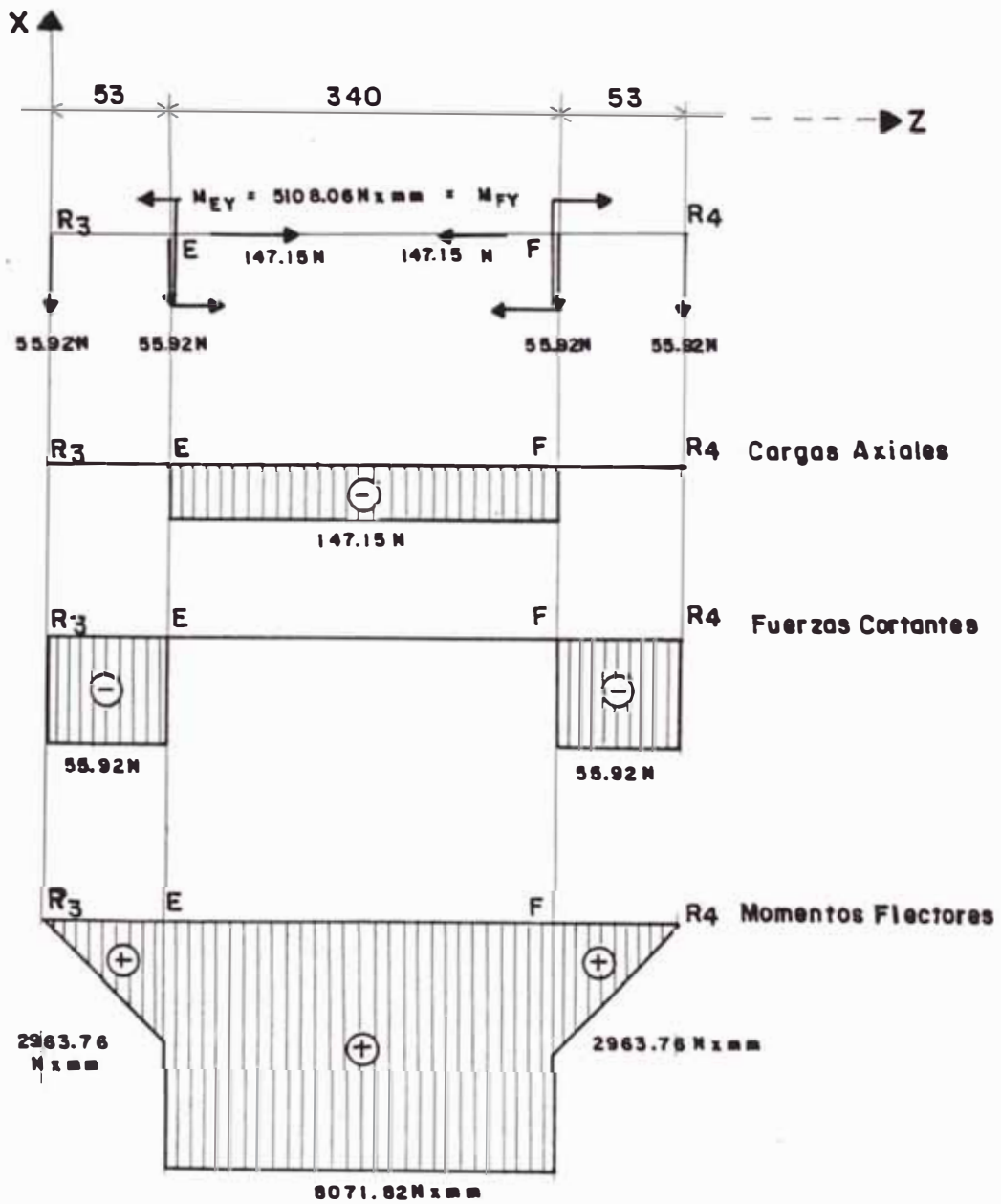
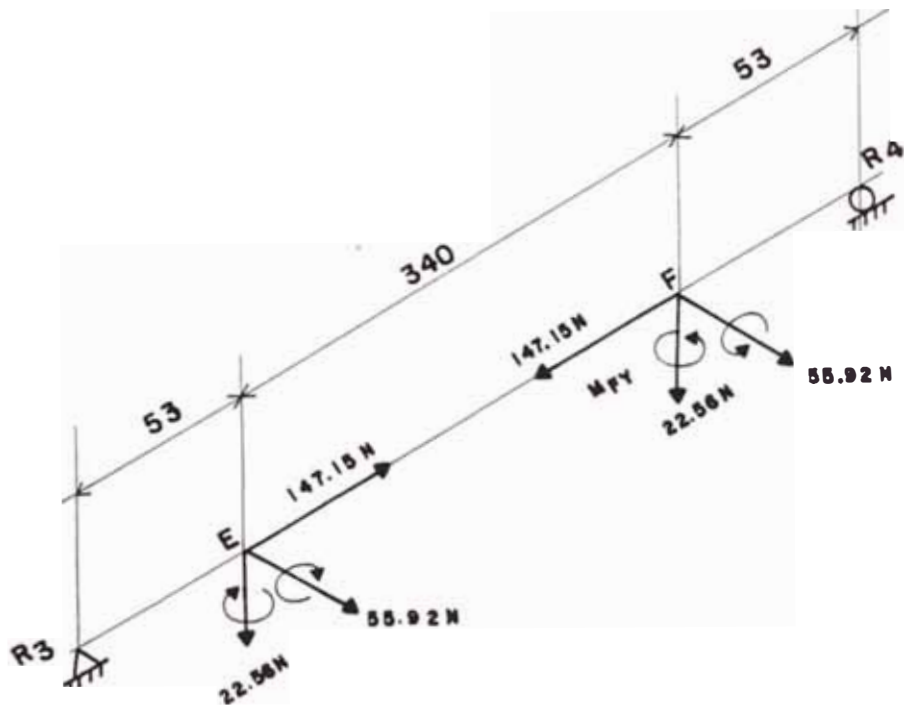


Fig. 3.45

3.8.5.2.3 Diagrama de Cargas para la Posición (3)

Las cargas que actúan sobre el eje izquierdo, para la posición (3), son como se muestran en la Fig. 3.46.



$$M_{EX} = M_{FX} = 4523.59 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{EY} = M_{FY} = 3286.58 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Fig. 3.46

Posición 3, cotas en mm.

Diagrama de Cargas en el Plano Y - Z

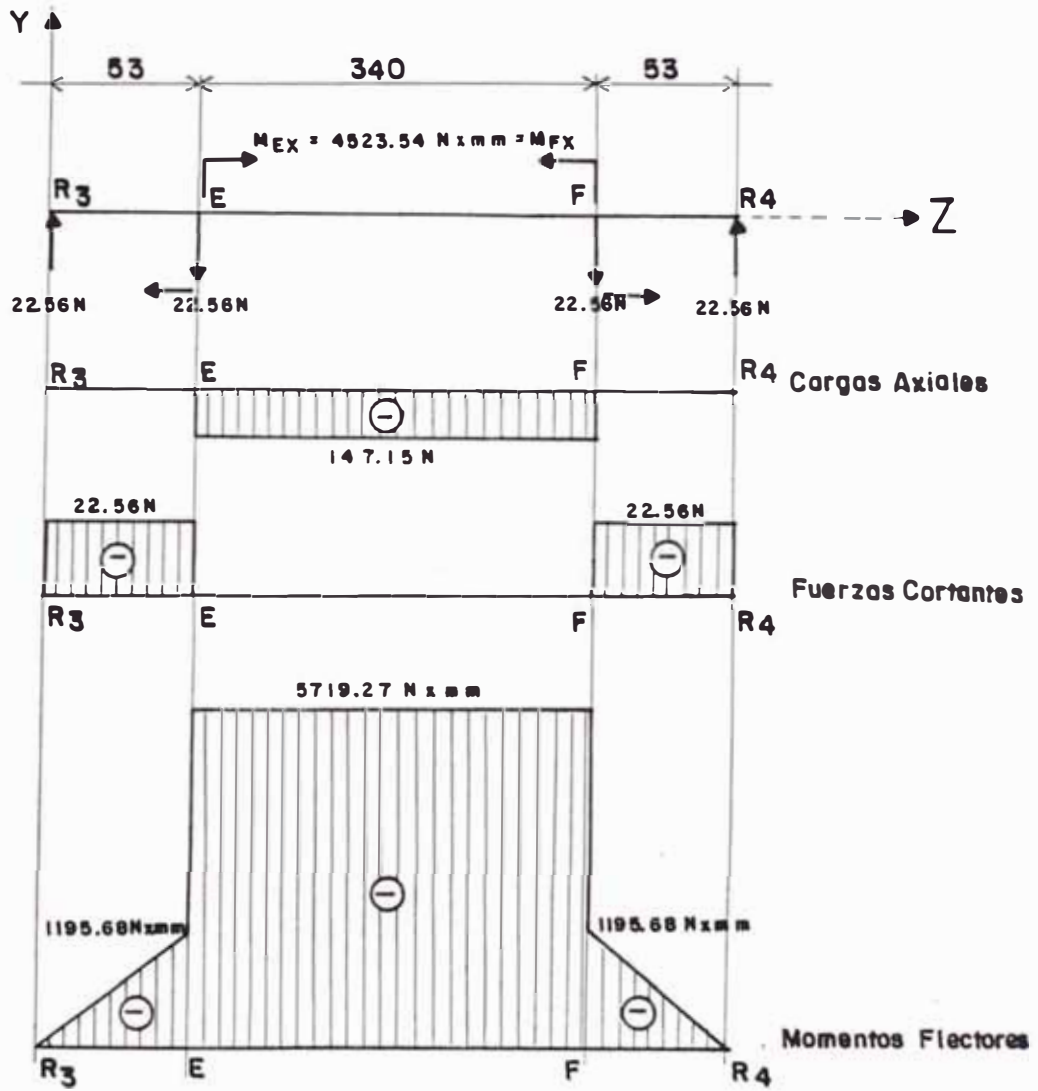


Fig. 3.47

Diagrama de Cargas en el Plano Z - X

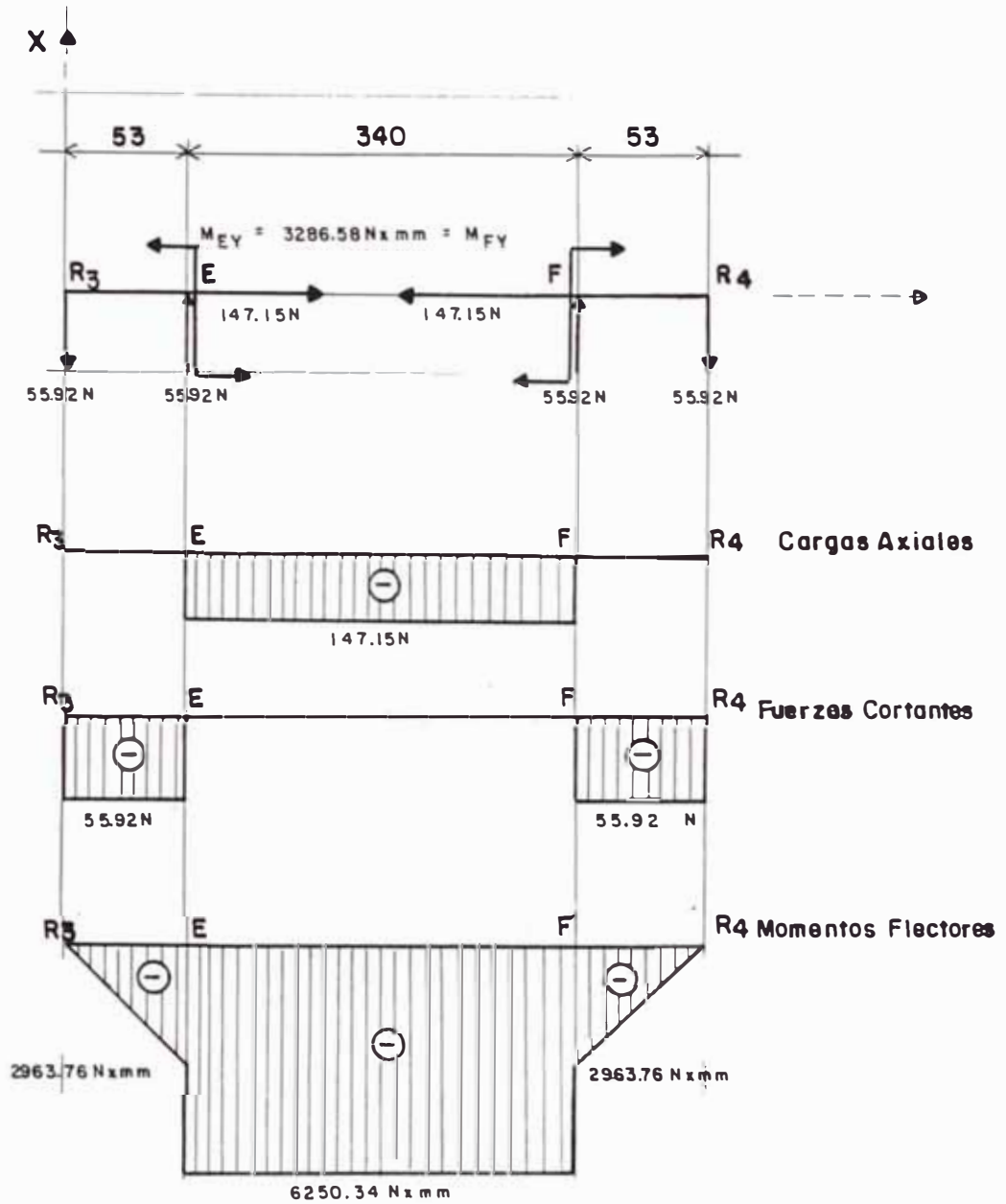


Fig. 3.48

3.8.5.3 Determinación de la Posición Crítica

Para las posiciones (1), (2) y (3), se ha obtenido los siguientes valores :

POSICION	MOMENTO MAXIMO (N x mm) EN LOS PUNTOS E, F		MOMENTO MAXIMO RESULTANTE (Nxmm) EN LOS PUNTOS E, F
	PLANO Z - Y	PLANO Z - X	
(1)	1195.68	8470.28	8554.26
(2)	3469.94	8071.82	8786.06
(3)	5719.27	6250.34	8472.12

Siendo la posición crítica, la que corresponde a (2). Y los puntos críticos E, F, tienen por valor : $M_E = M_F = 8786.06 \text{ N x mm}$.

3.8.5.4 Deflexiones para la Posición, Crítica, (2)

3.8.5.4.1 Deflexiones en el Plano Z - Y

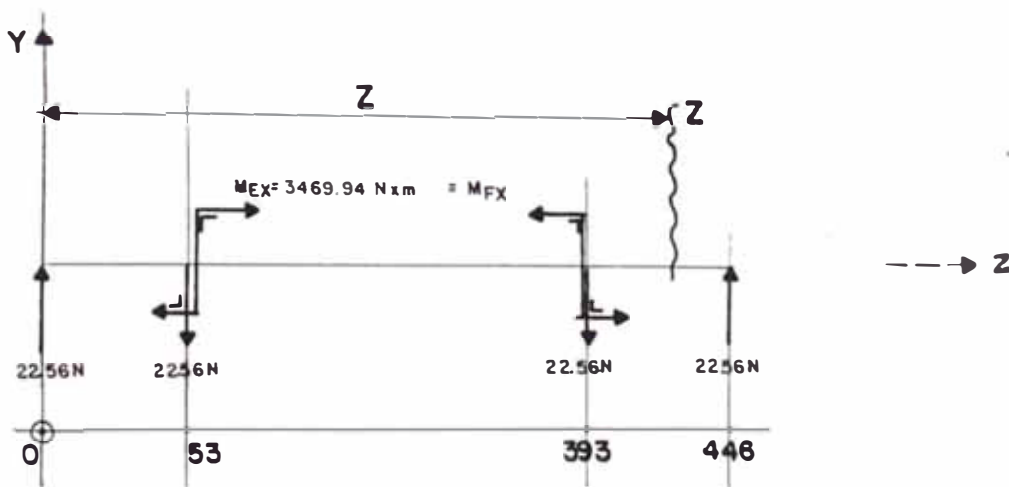


Fig. 3.49

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2 y}{dz^2} = 22.56 (Z) - 22.56 (Z-53) + 3469.94 (Z-53)^0 - 22.56 (Z-393) - 3469.94 (Z-393)^0$$

Integrando la función; se tiene :

$$EI\theta_z = 22.56 \frac{(Z)^2}{2} - 22.56 \frac{(Z-53)^2}{2} + 3469.94 (Z-53) - 22.56 \frac{(Z-393)^2}{2} - 3469.94 (Z-393) + EI\theta_0$$

$$EI f_z = 22.56 \frac{(Z)^3}{6} - 22.56 \frac{(Z-53)^3}{6} + 3469.94 \frac{(Z-53)^2}{6} - 22.56 \frac{(Z-393)^3}{6} - 3469.94 \frac{(Z-393)^2}{2} + EI\theta_0(Z) + EI f_0$$

Para las condiciones iniciales :

$$Z = 0 \text{ mm} ; f_z = 0$$

$$Z = 446 \text{ mm} ; f_z = 0$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = - 824820.52$$

$$EI f_0 = 0.00$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z (mm)	$EI f_z$	$EI\theta_z$
0	0	- 824820.52
53	- 43155710.04	- 793135
393	- 43155710.04	793135
446	0	824820.52

3.8.5.4.2 Deflexiones en el Plano Z - X

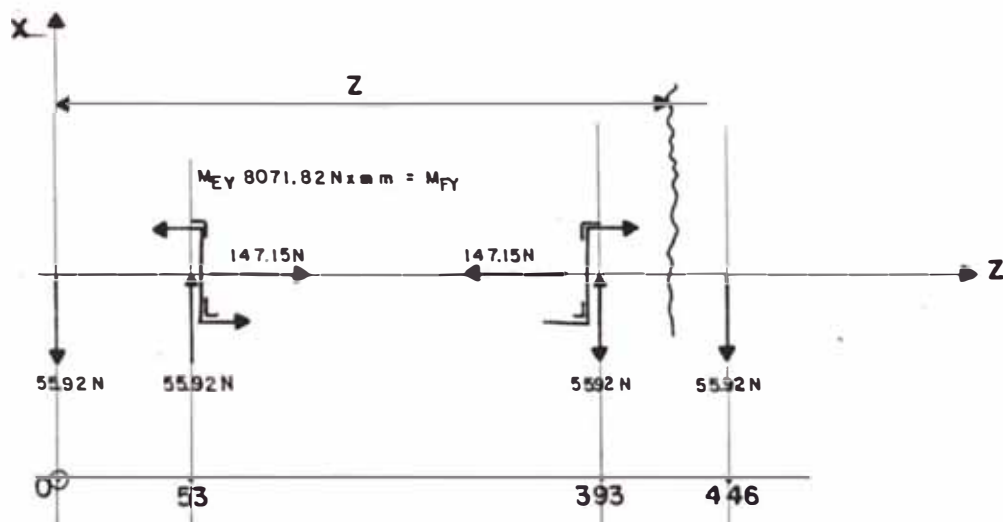


Fig. 3.50

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2 x}{dz^2} = - 55.92 (Z) + 55.92 (Z-53) - 8071.82 (Z- 53)^0 + 55.92 (Z - 393) + 8071.82 (Z - 393)^0$$

Integrando la función; se tiene :

$$EI\theta_z = -55.92 \frac{(Z)^2}{2} + 55.92 \frac{(Z-53)^2}{2} - 8071.82 (Z - 53) + 55.92 \frac{(Z-393)^2}{2} + 8071.82 (Z-393) + EI\theta_0$$

$$EI f_z = -55.92 \frac{(Z)^3}{6} + 55.92 \frac{(Z-53)^3}{6} - 8071.82 \frac{(Z - 53)^2}{2} + 55.92 \frac{(Z-393)^3}{6} + 8071.82 \frac{(Z-393)^2}{2} + EI\theta_0(Z) + EI f_0$$

Para las condiciones iniciales :

$$Z = 0 \text{ mm} ; \quad EI f_z = 0$$

$$Z = 446 \text{ mm} ; \quad EI f_z = 0$$

Se obtiene :

$$EI\theta_0 = 1954588.24$$

$$EI f_0 = 0.00$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z(mm)	EI f _z	EI θ _z
0	0	1954588.24
53	102205643.1	1876048.6
393	102205643.1	- 1876048.6
446	0	- 1954588.24

3.8.5.4.3 Cálculo de la Desviación Resultante en el Eje Intermedio Izquierdo

Para el material empleado en 3.8.2.2, tabulando la función para los diversos tramos, se tiene :

Z	EI f _z	EI θ _z	d(mm)	f _z (mm)	θ _z (rad)
0	0	2121495.717	17	0	0.00251
53	110943268.3	2036816.506	17	0.131	0.00241
393	110943268.3	2036816.506	20	0.069	0.00126
446	0	2121495.717	17	0	0.00251

Siendo :

Longitud entre apoyos = 446 mm

Material : Acero AISI 1045

$$S_y - 30 \text{ kg/mm}^2 \text{ (294.3 N/mm}^2\text{)}$$

$$S_u - 60 \text{ kg/mm}^2 \text{ (588.6 N/mm}^2\text{)}$$

3.8.6 Cálculo del Eje Intermedio Derecho

Por la simetría de la disposición y de las cargas respecto al eje intermedio izquierdo, el eje intermedio derecho tendrá las mismas características.

3.8.7 Cálculo del Eje Superior

El eje superior se mantiene estático y sobre él giran dos piñones locos dispuestos en planos paralelos.

3.8.7.1 Cargas en las Catalinas

Las cargas que actúan en cada catalina son como se muestran en la Fig. 3.51.

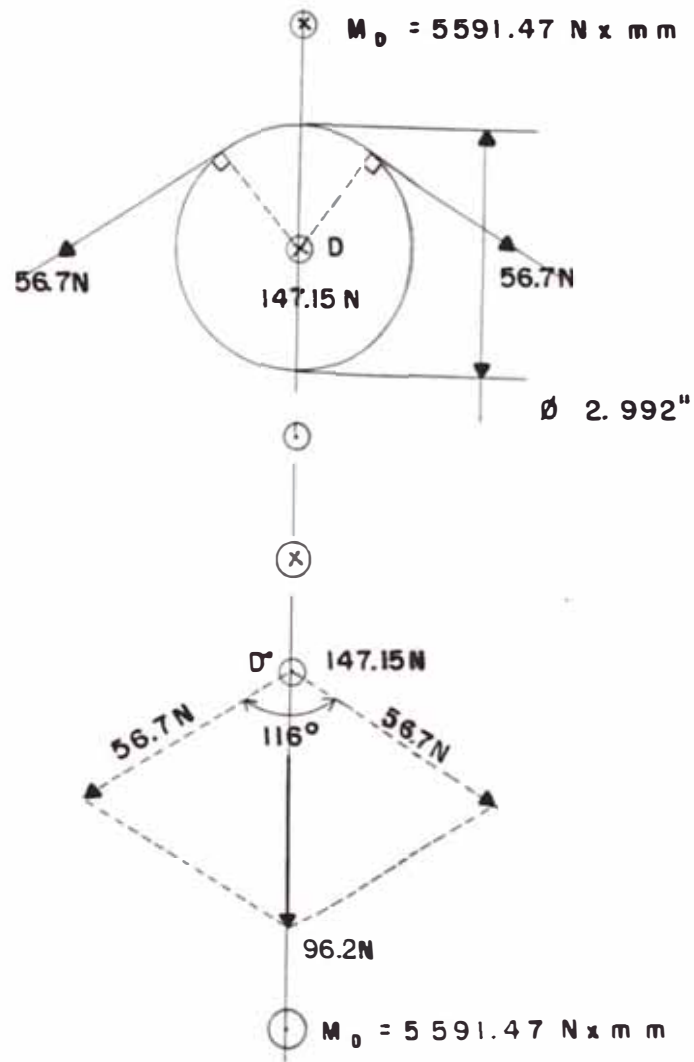


Fig. 3.51

3.8.7.2 Diagramas de Cargas en el Eje Superior

Las cargas en el eje superior son como se muestran en la Fig. 3.52.

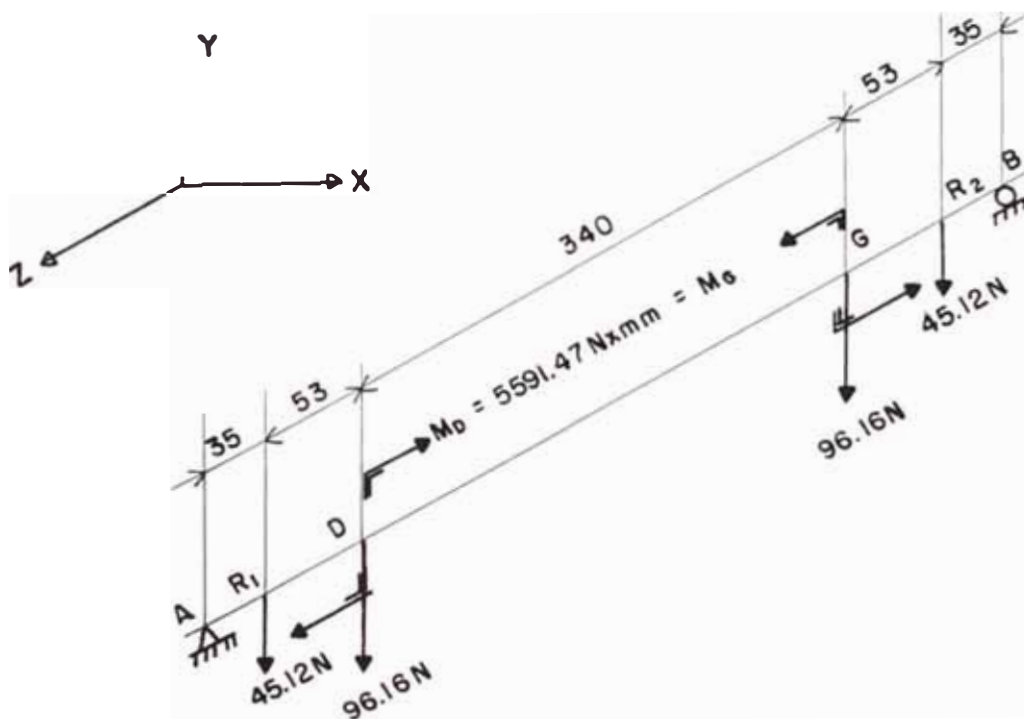


Fig. 3.52 Cargas en el eje superior, cotas en mm.

3.8.7.2.1 Diagrama de Cargas en el Plano Z - Y Para el Eje Superior

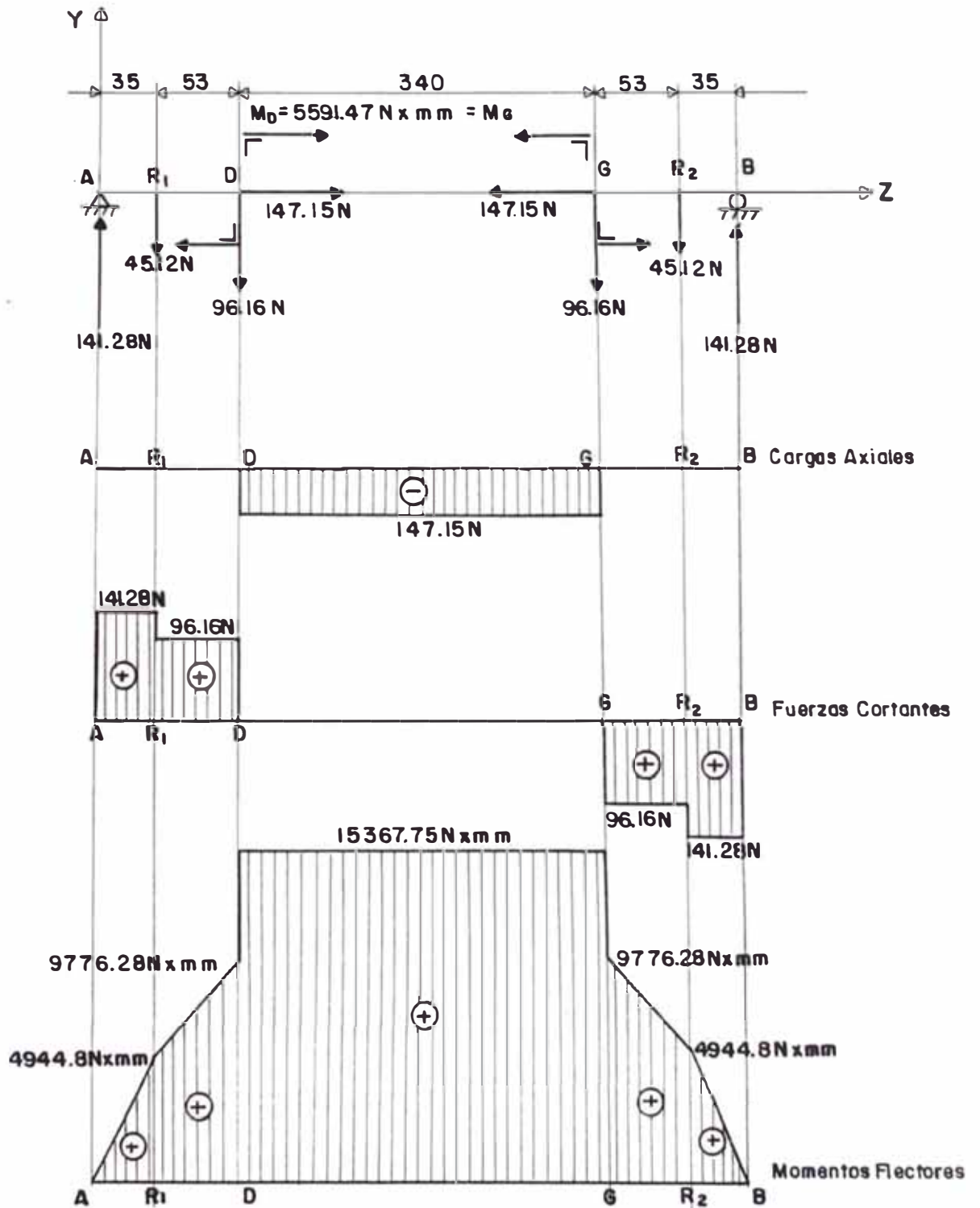


Fig. 3.53

3.8.7.3 Cálculo de Deflexiones del Eje Superior

3.8.7.3.1 Deflexiones en el Plano Z - Y

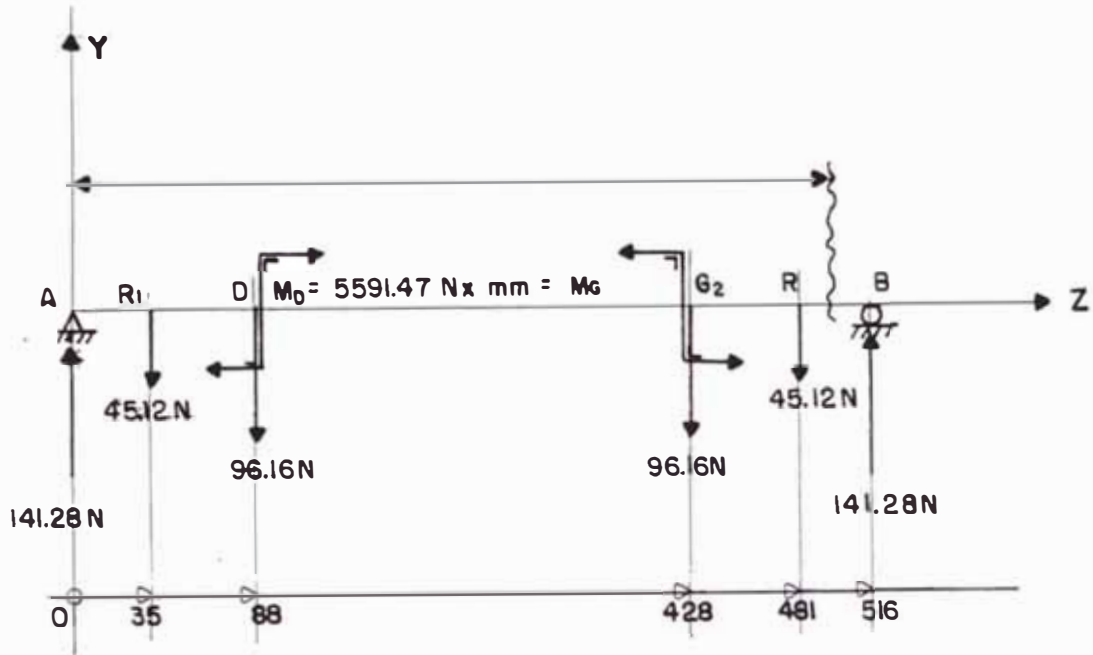


Fig. 3.54

Aplicando la ecuación universal de la elástica, se tiene :

$$EI \frac{d^2y}{dz^2} = 141.28(Z) - 45.12(Z-35) - 96.16(Z-88) + 5591.47(Z-88)^0 - 96.16(Z-428) - 5591.47(Z-428)^0 - 45.12(Z-481)$$

Integrando la función se tiene :

$$EJ\theta_z = 141.28 \frac{(z)^2}{2} - 45.12 \frac{(z-35)^2}{2} - 96.16 \frac{(z-88)^2}{2} +$$
$$5591.47(z-88) - 96.16 \frac{(z-428)^2}{2} - 5591.47(z-428)$$
$$- 45.12 \frac{(z-481)^2}{2} + EJ\theta_0$$

$$EJf_z = 141.28 \frac{(z)^3}{6} - 45.12 \frac{(z-35)^3}{6} - 96.16 \frac{(z-88)^3}{6} +$$
$$5591.47 \frac{(z-88)^2}{6} - 96.16 \frac{(z-428)^3}{6} - 5591.47 \frac{(z-428)^2}{6}$$
$$- 45.12 \frac{(z-481)^3}{6} + EJ\theta_0(z) + EJf_0$$

Por condiciones de apoyo :

$$z = 0 \quad ; \quad EJf_0 = 0$$

$$z = 516 \text{ mm.} \quad ; \quad EJ\theta_0 = - 3141232.62$$

Tabulando la función para los diversos tramos, se tiene:

Z(mm)	EIf_z	$EJ\theta_z$	d(mm)	f_z (mm)	θ_z (rad)
0	0	- 3141232.62	17	0	-0.00372
35	- 108933578.4	- 3054698.62	17	-0.129	-0.00362
88	- 261501631.6	- 2657567.5	17	-0.310	-0.00315
428	- 261501631.6	2657567.5	20	-0.162	0.00164
481	- 108933578.4	3054698.62	20	-0.067	0.0019
516	0	3141232.62	17	0	0.00372

Longitud entre apoyos = 598 mm

Material : Acero AISI 1045

$$S_y = 30 \text{ kg/mm}^2 \text{ (294.3 N/mm}^2\text{)}$$

$$S_u = 60 \text{ kg/mm}^2 \text{ (588.6 N/mm}^2\text{)}$$

CAPITULO 4

ESTUDIO ECONOMICO

El estudio económico está referido al costo de fabricación de la cortadora de ladrillos huecos, en este rubro no se ha considerado los componentes complementarios, tales como : cables eléctricos, interruptores y el costo de supervisión durante la construcción.

4.1 Determinación del Costo de la Máquina

En la determinación del costo se tomará en cuenta :

- 1º. Los componentes comerciales existentes en el mercado nacional que forman parte de la máquina diseñada; necesarias para su montaje y funcionamiento tales como : motor eléctrico, catalinas, cadenas, rodamientos, acoplamientos, tornillería y pernería.
- 2º. Los componentes manufacturables tales como los siguientes sistemas : de transmisión, de accionamiento, de regulación, de transporte; y el marco estructural.

4.1.1 Costo de los Componentes Comerciales

NOMBRE	SUMINISTRADOR	CANT.	DESIGNACION	TAMAÑO	COSTO (\$)
					UNIT. TOTAL
Motor Eléctrico	DELCROSA	01	NV 71 b 4 δ		118.000 : 118.000
Acoplamiento a Cadena Renold	GUGLIELMINO	01	644803 - 00	∅ min : 20 mm ∅ max . 24 mm	12.130 : 12.130
Cadena Renold	GUGLIELMINO	02	Nº 35-1	P 0.375"; 151 pasos (1.444 m.)	17.270 : 34.540
Catalina	GUGLIELMINO	10	Nº 35, Type B	P 0.375"; 25 dientes	13.145 : 131.45
Rodamiento R.D.B.	FAG	04	Nº 61804		17.723 : 68.444
Rodamiento R.D.B.	FAG	08	Nº 16005		13.723 : 109.784
Rodamiento R.D.B.	FAG	04	Nº 16003		11.859 : 47.436
Anillo Espaciador	FAG	06	JR 17x20x16.5		4.000 : 24.000
Anillo Espaciador	FAG	03	JR 20x24x16		4.000 : 12.000
Anillo Espaciador	FAG	02	JR 25x29x20		4.000 : 8.000
Soporte Auto-alineante	RODARESA (NTN)	02	UCP 204 D1	∅ 20	16.165 : 32.330
Soporte Auto-alineante	RODARESA (NTN)	02	UCP 205 D1	∅ 25	18.883 : 37.766
Pernería y Tornillería	CASA DEL PERNO			SEGUN PLANOS	20.000 : 20.000
SUBTOTAL COMPONENTES COMERCIALES					\$ 685.88

4.1.3 Costo de la Máquina

El costo total de la máquina cortadora estará constituido por los siguientes rubros :

Componentes comerciales	:	\$ 685.88	
Componentes no comerciales			
- Stma. de Transmisión	\$ 185.22		
- Stma. de Accionamiento	\$ 188.24		
- Stma. de Regulación	\$ 36.44		
- Stma. de Transporte	\$ 106.57		
- Stma. de Soporte			
Marco estructural	\$ 121.02	\$ 637.49	

Costo de componentes totales		\$1323.37	
Costo por retacería (10%)		\$ 63.75	\$1387.12
		-----	-----
Costo por imprevistos (10%)			\$ 138.72

Costo Total de la Máquina			\$1525.84

CONCLUSIONES

1. Teniendo en cuenta de que el presente trabajo requiere una confirmación experimental, permite notar que el diseño y la fabricación de máquinas cortadoras está al alcance de nuestras posibilidades.
2. La puesta a punto de la máquina cortadora, luego de su proceso de fabricación y montaje; permitirá calibrar o regular especialmente el ángulo de corte acorde a los parámetros similares al de diseño.
3. No es aconsejable invertir el sentido de movimiento de las cadenas porta-alambre, por que el ladrillo y el alambre cortador estarían impactando y en consecuencia se obtendrían cortes irregulares.
4. La máquina diseñada en el presente trabajo es de fácil operación, por lo tanto el operador no requerirá de un entrenamiento sofisticado para su manejo.
5. Esta máquina consume 0.6 HP respecto a otras que consumen de 1.8 a 2.2 HP para la misma capacidad de corte; resultando la máquina ser económica en cuanto al consumo de energía.

6. De acuerdo a la evaluación económica el costo de fabricación es bajo respecto a una cortadora importada de la misma capacidad (45 cortes por minuto).

BIBLIOGRAFIA

1. Grim, Ralph E. : "Applied Clay Mineralogy"; Mc. Graw-Hill, New York - 1962.
2. Reverté, Pedro : "La Industria Ladrillera"; Ed. Reverté, Barcelona - 1979.
3. Larsson, Rolf : "Drained Behaviour of Swedish Clays"; Report Nº 12, Limköping - 1981.
4. Jouenne, C. A. : "Ceramique Generale, Notions de Physico-Chimie II"; Gauthier-Villars, París - 1960.
5. Gorchakov, G.I. : "Materiales de Construcción"; Editorial Mir, Moscú - 1984.
6. Agrob. Anlagenbau : "Proposal Plant for the Manufacture of Clay Bricks Capacity 30,000 Tn/year"; GMBH-MUNICH-R.F.A.-1986.
7. Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Arquitectura: "El Ladrillo"; Lima - Perú - 1963.
8. Blinn, Richard : "Engineering Materials and Applications"; Mc. Graw-Hill, New York 1962.
9. V. Dobrovolski; K. Zablonki; A. Radchik; L. Erlij : "Elementos de Máquinas"; Editorial Mir, Moscú - 1980.
10. Shigley, Joseph Edward - Mitchell, Larry D. : "Diseño en Ingeniería Mecánica"; Mc. Graw- Hill, México - 1985.
11. Vidal Tolentino, O. Fernando : "Esfuerzos en Elementos de Máquinas - Problemas", Lima-Perú-1982.
12. Hori A., Juan J. : "Diseño de Elementos de Máquinas", Segunda Reimpresión - 1981.
13. Dubbel, H. : "Manual del Constructor de Máquinas"; Editorial Labor, Madrid - 1975.
14. Faires : "Diseño de Elementos de Máquinas"; Editorial Uteha.
15. Marks, L. : "Manual del Ingeniero Mecánico"; Uteha, México-1960

16. Merian, J. L. : "Dinámica"; Reverté, Barcelona - 1970.
17. Huang. T. C. : "Mecánica para Ingenieros"; Fondo Educativo Interamericano S.A., 1974.
18. ASME : "Dimensioning and Tolerancing ANSI Y14.5M - 1982"; New York - 1982.
19. García Mateos, Abelardo : "Tolerancias, Ajustes y Calibres"; Ediciones Urmo, Bilbao - 1978.
20. Henriot, G. : "Manual Práctico de Engranajes"; Marcombo S.A., Barcelona - 1967.
21. DIN : "Normas Fundamentales para la Técnica Mecánica"; Editorial Balzola, Bilbao-1970.
22. Stiopin, P.A. : "Resistencia de Materiales"; Editorial Mir, Moscú.
23. Diaz, Jorge Iván - Zapata, Sergio H. : "Resistencia de Materiales"; Editorial Limusa, México - 1981.
24. Bogoliúbov, S. : "Dibujo Técnico"; Editorial Mir, Moscú - 1988.
25. Link - Belt - FMC : "Roller Chain & Sprockets for Drive and Conveying Applications"; Book 7257, año 1978.
26. NTN : "Bearing Units"; Cat. Nº 2704-II, año 1982
27. SKF : "Catálogo General"; año 1982.
28. FAG. "Programa Standard Fag"; Catálogo Nº 41510 SE.
29. Oerlikon : "Manual de Soldadura"
30. Manual de Aceros Bohler
31. Catálogo de Motores Delcrosa
32. Tecnia Vol. 3 : "Geoquímica y Estructura de Arcillas", UNI-1986.
33. Reliance Clay Products Co. : "The Cause of Crooked Cuts on a Cutter Types of Crooked Cuts and Their Causes Ourlined"; By. Russell Woods, Texas-1945.
34. Proyecto Norma Técnica Itintec 26:01-001, Octubre, 1977.
35. Catálogo de Productos - Siderperú.

36. SAE HAND BOOK : "Standard Information, Reports and Recommended Practices"; 1965.
37. Folletos de Icam S.A.; Talleres F. Verdés S.A.; Edwards & Jones Ltd.; Agrob AG.; Hans Lingl Anlagenbau M.; Ceric.

----- . -----