



T
666
TER

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Diseño y Análisis de un Sistema de Molienda para pequeña
Producción de Cerámica”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO



Presentada por:

Pablo Ramón Terán Yépez



GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2001



AGRADECIMIENTO

A todas las personas
que una u otra manera
colaboraron en la
realización de este
trabajo y especialmente
al Ing. Eduardo Orces
Director de Tesis, por
su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

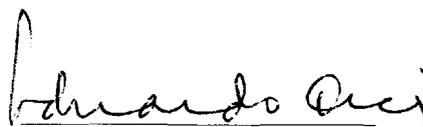
A MIS HERMANOS

A MIS TIOS

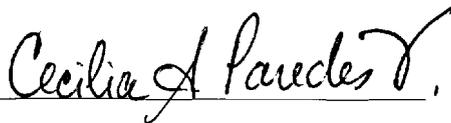
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Jorge Duque R.
DELEGADO DEL DECANO
DE LA FIMCP



Ing. Eduardo Orcés P.
DIRECTOR DE TESIS



Dra. Cecilia Paredes V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESADA

“ La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



A handwritten signature in black ink, which appears to read "Pablo Terán", is written over a solid horizontal line.

Pablo Ramón Terán Yépez

ÍNDICE GENERAL

	Pág..
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. Generalidades.....	3
1.1 Breve reseña de la fabricación de cerámicos. Características de las arcillas.....	3
1.2 Proceso de producción para obtención de productos cerámicos.....	11

1.3	Objetivos del proyecto	17
1.4	Estudio comparativo entre la cerámica hecha por los artesanos y el otro con tecnología mas avanzada	18

CAPITULO 2

2. Proceso experimental

2.1	Prueba de Compresión Simple	24
2.2	Control de parámetros que inciden en la molienda.....	41
2.3	Equipos para molienda y su clasificación.....	41
2.4	Consumos de energía	43

CAPITULO 3

3. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

3.1	Selección de la Molienda	51
3.2	Diseño preliminar y alternativas de solución.....	52
3.3	Matriz de decisión.....	58
3.4	Cálculo y Diseño de sub.- ensambles	
3.4.1	Cálculo y Diseño del sistema de molienda.....	59
3.4.2	Cálculo y Diseño de tolvas de llenado.....	86
3.4.3	Diseño de las tolvas de vaciado.....	86
3.5	Cálculo y Diseño del sistema de calibración para los rodillos....	87

3.6 Diseño de ensamble.....	90
3.7 Diseño detallado para fabricación.....	90
3.8 Consideraciones Ambientales	90
3.9 Diseño final y simulación en computadora aplicando "Working Model 2D".....	96

CAPITULO 4

4. Análisis de costos

4.1 Costo de materiales.....	105
4.2 Costo de construcción mecánica.....	108
4.3 Estimación de la inversión total.....	110

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	113
--------------------------------	-----

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	123
--	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

CaO	Caliza
CaO.MgO	Cal dolomítica
CO	monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
kg	Kilogramo
lb	libra
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
cm	centímetro
etc.	etcétera
mm	milímetro
Pulg.	pulgadas
d	diámetro
r	radio
dB.	decibel
INTRAMET	Industria del Tratamiento de Metales
N m ²	Newton metro cuadrado
mg	miligramos
h	hora
WHG	Water Conservation Act
VwV	Administrative Provision
TSS	Total Suspended
DQO	Demanda química de oxígeno

SIMBOLOGÍA

S_t	sensibilidad
q_u	esfuerzo axial
$^{\circ}C$	grados centígrados
u	presión de prueba
K_t	factor de concentración de esfuerzos teórico
K_{ts}	factor de concentración de esfuerzos en torsión
K_f	factor de concentración de esfuerzos por fatiga
K_{fs}	factor de concentración de esfuerzos por fatiga en flexión
T	temperatura
θ	ángulo de fricción interna
δ	ángulo del muro
β	ángulo
α	ángulo de mordedura
ρ	densidad del material
ω	velocidad de rotación
τ	esfuerzo cortante
γ	presión de consolidación
π	pi
σ	esfuerzo
μ	coeficiente de rozamiento
ε	deformación

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1.a: Distribución de esfuerzos totales y efectivos en pruebas de compresión simple.....	26
Figura 2.1.b: Diagrama de Mohr.....	27
Fig. 2.1.c: Esfuerzo cortante (prueba 1).....	29
Fig. 2.1.d: Esfuerzo cortante (prueba 2).....	31
Fig. 2.1.e: Esfuerzo cortante (prueba 3).....	33
Figura 2.1.f: Probetas antes y después del ensayo.....	35
Figura 2.1.g: Ley de Coulomb.....	36
Figura 2.4.a: Curva de energía y reducción de tamaño.....	45
Figura 2.4.b: Desarrollo de la ley de Rittinger.....	46
Fig.3.2.a: Detalle de un molino de martillos.....	52
Fig.3.2.b: Molino de martillos.....	53
Fig.3.2.c: Detalle de un molino de rulos.....	54
Fig.3.2.d: Molino de rulos.....	55
Fig.3.2.e: Detalle del molino laminador.....	56
Fig. 3.2.f: Molino laminador.....	57
Figura 3.4.1: Fuerzas ejercidas por un triturador de rodillos	61
Fig.3.4.2.a: Eje con cargas.....	77
Fig.3.4.2.b: Diagrama de fuerzas.....	77
Fig.3.4.2.c: Diagrama de esfuerzo cortante	78
Fig.3.4.2.d: Diagrama momento flector	78
Figura 3.4.3.a: Soportes de rodadura para eje de flecha	82
Figura 3.4.3.b: Soportes de rodadura soldadura en filete	83
Figura 3.4.3.c: Soportes de rodadura soldadura en filete	84
Figura 3.4.3.d: Divisiones de la cubierta para el rodamiento.....	85
Figura 3.9.1: Velocidad del rodillo lento en el programa WM 2D.....	96

Figura 3.9.2: Velocidad del rodillo rápido en el programa WM 2D.....	97
Figura 3.9.3: Espaciado entre rodillos en el programa WM 2D.....	98
Figura 3.9.4: Longitud del tornillo regulador en el programa WM 2D...	99
Figura 3.9.5: Tapa de la tolva primaria en el programa WM 2D.....	100
Figura 3.9.6: Tolva de vaciado en el programa WM 2D.....	101
Figura 3.9.7: Potencia del motor en el programa WM 2D.....	102
Figura 3.9.8: Tensión del actuador en el programa WM 2D.....	103
Figura 3.9.9: Posición y peso del transportador.....	104
Figura 5.1: Torque del motor en el programa WM 2D.....	115
Figura 5.2: Tensión del tornillo regulador en el programa WM 2D.....	116
Figura 5.3: Tapa de tolva fuerza de resorte en el programa WM 2D...	117
Figura 5.4: Reacciones en los rodillos en reposo	118
Figura 5.5: Reacciones en los rodillos en movimiento.....	119
Figura 5.6: Fuerzas en los rodillos.....	120
Figura D-1-a: Fuerza t aplicada a partícula	
Figura D-1-b: Triángulo ABC, el ángulo	
Figura D-2: Velocidad crítica del molino	



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 Procesamiento de modelado.....	9
TABLA 2 Prueba No.1.....	28
TABLA 3 Prueba No.2.....	30
TABLA 4 Prueba No.3.....	32
TABLA 5 Cálculo de la densidad	40
TABLA 6 Valores típicos de W_i	49
TABLA 7 Matriz de decisión.....	58
TABLA 8 Porcentaje de velocidad crítica.....	63
TABLA 9 Características de rodamientos	81
TABLA 10 Costos de materiales.....	106
TABLA A: Control de calidad aprobada por el INEN	
TABLA B: Lista de producción de cerámica por unidades (ventas anuales del 2000)	
TABLA C: Compresión simple	
TABLA D: Datos técnicos del molido	
TABLA E-1: Dimensiones para bandas A, B, C, D, E	
TABLA E-2: Factores de concentración de esfuerzos	
TABLA F: Medidas correctivas en rodamientos	

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO A-1 DESPIECE DE LA MÁQUINA DE MOLIENDA
- PLANO A-2 FLECHA PARA RODILLOS DE LAMINADORA
- PLANO A-3 POLEA DE 2 CANALES
- PLANO A-4 ARO DE CAMIÓN-TRACTOR RECUBIERTO
- PLANO A-5 SOPORTES PARA RODAMIENTOS
- PLANO A-6 TORNILLO REGULADOR
- PLANO A-7 CUERPO DE CARCASA I
- PLANO A-8 CUERPO DE CARCASA II
- PLANO A-9 ENSAMBLE DE CARCASA I Y II
- PLANO A-10 TOLVA PRIMARIA
- PLANO A-11 TAPA DE LA TOLVA PRIMARIA
- PLANO A-12 TOLVA SECUNDARIA
- PLANO A-13 ENSAMBLE DE LAS TOLVAS
- PLANO A-14 EJE PARA EL RASTRILLO
- PLANO A-15 RASTRILLO
- PLANO A-16 SOPORTE PARA LA FLECHA DEL RASTRILLO
- PLANO A-17 ENSAMBLE DEL RASTRILLO
- PLANO A-18 TOLVA DE VACIADO
- PLANO A-19 BASTIDOR

INTRODUCCIÓN

Las materias primas y los productos de las industrias tales como cerámica, química, minera y en general requieren de una adecuada preparación en la que suele intervenir el acondicionamiento del tamaño de sus partículas obtenido por desintegración de formas mayores. Esto se puede conseguir mediante unas maquinas quebrantadoras y trituradoras de molienda.

Las primeras reducen tamaños grandes rompiéndolo en pedazos con tamaños entre 150 mm a 250 mm; los segundos se emplean para grados intermedios reduciendo estos trozos en 6 mm, y los molinos reducen el producto del quebrantador hasta formar un polvo.

El producto procedente de un molino intermedio puede pasar a través de un tamiz de malla 48 (apertura de malla, 295 micrones) mientras que la mayor parte del producto que sale de un molino fino pasa a través de un tamiz de malla 200 (apertura de malla 74 micrones).

Un molino ultrafino acepta como alimentación partículas no superiores a $\frac{1}{4}$ pulg. (6 mm) y genera un producto con un tamaño típico de 1 a 50

micrómetros. Las cortadoras producen partículas de forma y tamaño definidos, con una longitud de 2 a 10 mm.

El término "molienda" se ha convertido en uso común. Se refiere tanto a la pulverización como a la desintegración. Estas operaciones se diferencian ya sea por su material alimentado, o su tamaño y reducción que puede alcanzarse.

Las principales razones de realizar el proyecto son la falta de normalización en la variedad de productos cerámicos a moler y las calidades exigidas en los productos, además de reemplazar métodos rudimentarios utilizados por ladrilleros artesanales.

Por eso es importante elegir la maquinaria adecuada, además otra de las razones sería el uso de recursos humanos nacionales en la investigación científica y desarrollo de tecnología, punto de partida para la elaboración de otros proyectos de investigación.

CAPITULO 1

1.GENERALIDADES

1.1 Breve reseña de la fabricación de cerámicos. Características de la arcilla

Los antiguos egipcios tuvieron inclinación a utilizar arcilla aproximadamente hace 20,000 años. A pesar de tener conocimiento acerca de este material desde hace mucho tiempo, el proceso que se requiere para formar, secar, y llevar a la cocción un material arcilloso, es el mismo método que hoy se aplica, claro esta, en algunos países desarrollados esta tecnificado. El descubrimiento de la composición de la arcilla ha sido de gran ayuda, ya que se ha podido identificar componentes adicionales de la arcilla, dando lugar a nuevos métodos en lo referente a la producción de cerámica.

Cada era o edad ha dejado atrás objetos hechos de arcilla. Antes de la introducción de plásticos y hoja estaño, la mayoría de recipientes para comida se hicieron de arcilla o vidrio.

Aunque la introducción de materiales nuevos y técnicas tienen reducido el uso de arcilla en muchas áreas, esta todavía juega un importante papel. Es un material universal que se puede usar en absoluto a todo nivel de tecnología como por ejemplo la cerámica utilizada en la aviación, estructuras industriales, etc. Es muy común en cualquier parte del mundo, y todavía, en muchos países desarrollados, es un recurso insustituible.

Origen y Composición de arcilla

El desgaste de la roca ígnea (roca de origen volcánico), se compone de agregados de partículas microscópicas y submicroscópicas derivadas de la descomposición química de los constituyentes de las rocas que contienen cierta cantidad de materia orgánica vegetal descompuesta. Los suelos de origen orgánico se han formado por lo general en el mismo lugar, ya sea como consecuencia de la descomposición de vegetales (como el caso de las turbas), ya sea por acumulación de fragmentos de esqueletos inorgánicos o conchas de ciertos orgánicos. Son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad, las variedades

menos plásticas consisten generalmente en partículas mas o menos equidimensionales de cuarzo y, en algunos países, se lo distingue con el nombre de polvo de roca. Los tipos mas plásticos contienen un porcentaje apreciable de partículas en forma de escamas y se denominan limos plásticos. Debido a su textura suave, los limos inorgánicos son comúnmente tomados por arcillas, pero pueden distinguirse fácilmente de las mismas sin necesidad de ensayos de laboratorio. Son suelos plásticos dentro de límites extensos en contenido de humedad y cuando están secos son duros, sin que sea posible despegar polvo (una pasta) cuando es frotada con los dedos. Tienen, una permeabilidad extremadamente baja, es decir tienden a ser mas suelos impermeables, dando paso a la retención de fluidos líquidos.

Las arcillas orgánicas como son las turbas, son aquellos suelos que derivan algunas de sus propiedades físicas más significativas de la presencia de materia orgánica finamente dividida. Cuando están saturados, son generalmente muy compresibles, y cuando secos tienen una resistencia muy alta, es por eso preferible trabajarla molienda en este estado.

Tienen colores que varían de gris oscuro a negro, y pueden poseer un olor característico. Por ejemplo, arena limosa, indica un suelo en el que predomina la arena, pero contiene una pequeña cantidad de limo. Una arcilla arenosa es un suelo con las propiedades de las arcillas, pero que contiene una cantidad apreciable de arena.

Las propiedades de los agregados de granos de arena y grava se describen cualitativamente por medio de los términos suelta, medianamente suelta y densa. Los agregados de partículas de arcilla, por los términos de dura, compacta, medianamente compacta y blanda. Estas características son generalmente estimadas en el terreno, mientras se efectúa la perforación, basadas en varios factores que incluyen la facilidad relativa para hacer avanzar las herramientas de sondeo o para sacar muestras obtenidas. Estas determinaciones requieren comúnmente la realización de ensayos de laboratorio sobre muestras inalteradas, o bien ensayos apropiados en el terreno.

El color puede en ciertos casos ser también una indicación de que existe una diferencia real en las características del suelo. Por ejemplo si la capa superior de estrato sumergido de arcilla es amarillenta o de color castaño y más compacta que la arcilla más profunda, la diferencia

de color suele significar que la capa superior fue temporariamente expuesta al secado y la oxidación.

Bajo ciertas condiciones geológicas especiales se forman suelos que están caracterizados por uno o más rasgos peculiares, tales como la presencia de una estructura debida a la existencia de agujeros dejados por raíces extinguidas o una estratificación regular poco común.

Debido a estas características, tales suelos pueden fácilmente ser identificados en el terreno y por ello han recibido nombres especiales.

Caolín es el mineral más común de la arcilla, pero encontrar betas de caolín puro son muy raros de hallar. Estas betas cuando logran encontrarse tienen a menudo un significativo valor comercial porque su uso en industria es ilimitado para cerámicas. Puro es de color blanco, no es plástico, y son muy consistentes (estas arcillas son muy resistente al calor y no se funden cuando se sujetan a altas temperaturas).

Marga es un término utilizado en forma vaga para identificar varios tipos de arcillas marinas calcáreas compactas o muy compactas y de color verdoso.

La mayoría de arcillas son en gran parte de caolín mezclado con otros minerales de la arcilla, en la mayoría de los casos tienen impurezas de hierro tal como: manganeso, mica, silicato, y fragmentos de roca. Las diferentes mezclas y proporciones afectan las propiedades de las arcillas, causando variaciones en su estructura granular.

Las arcillas laminadas consisten en capas alternadas de limo mediano gris inorgánico y de arcilla limosa más oscura. Los elementos que forman las arcillas laminadas fueron transportados a lagos de agua dulce por el agua proveniente del deshielo, al terminar el periodo glacial.

Arcillas rojas son más normalmente halladas en o cerca de la superficie del terreno. Arcillas rojas contienen varias impurezas, que bajan la resistencia mecánica de las arcillas al calentarse, el procesamiento de las arcillas rojas será satisfactorio sólo por lozas de barro. Las lozas de arcillas son usualmente de color rojo oscuro, muy plásticas, y son quemados a temperatura relativamente baja.

Existen algunas diferencias generales entre arcillas halladas en regiones templadas y otras halladas en regiones tropicales volcánicas.

Estas diferencias es el resultado de cambios en las propiedades de los minerales de arcilla e impurezas.

Aplicaciones de la arcilla

Cerámicas son por lo general productos de cualquier material de arcilla natural que se transforma a un estado permanente a través de calor.

Esto ocurre cuando se lleva a cabo el procedimiento de elaboración de cerámica ya terminada como podemos mencionar (Tabla 1).

Cerámica fina: Productos de alfarería, loza, gres fino, porcelana, electro porcelana, loza sanitaria, muelas y cuerpos abrasivos.

TABLA 1: PROCESAMIENTOS DE MODELADO

Procedimientos de vaciado	Procedimientos plásticos	Procedimientos de prensado en seco
<ul style="list-style-type: none"> - Porcelana - Sanitarios - Electro porcelana - Refractarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Ladrillos - Tejas - Arcilla expandida - Baldosas hendidas - Electro porcelana - Loza - Productos de alfarería 	<ul style="list-style-type: none"> - Refractarios - Azulejos y baldosas - Loza - Baldosas de gres - Cerámica técnica - Esteatita - Cuerpos abrasivos

Cerámica de construcción: constan de un amplio rango de artículos usados en edificios e industrias. Ladrillos, azulejos, tejas, gres, arcilla expandida y cañerías para cloacas son ejemplos de productos cerámicos, en donde también interviene la aplicación de la Ingeniería Mecánica.

Cerámica técnica: tenemos cerámicas para Bujías, aisladores, refractarios, forros del horno, etc., para cerámicas industriales.

Tamaño y forma de las partículas de arcilla para cerámicas

El tamaño de las partículas que constituyen los suelos arcillosos varía de 0.06 milímetros y 2 micrones, y pueden ser examinados con la ayuda del microscopio. Estos constituyen la fracción fina de los suelos.

Todas las arcillas contienen elementos finos, muy finos y coloidales y en ocasiones partículas gruesas. Las fracciones más finas de las arcillas consisten principalmente en partículas en forma de escamas. El predominio de partículas escamosas en fracción muy fina de los suelos naturales es una consecuencia de los procesos de los procesos geológicos de su formación.

1.2 Proceso de producción para la obtención de productos cerámicos

El proceso para fabricación de las piezas cerámicas de construcción generalmente sigue el siguiente esquema:

Extracción y homogeneización

La homogeneización se logra depositando el material en capas horizontales (50-75 cm). Este material se recoge posteriormente atacando con la máquina perpendicularmente a los estratos de forma que la pala mezcla las diferentes capas. Posteriormente se procede a la formación de una nueva pila o lecho donde los diferentes componentes se encontrarán ya íntimamente mezclados entre sí.

Almacenamiento (envejecimiento)

El proceso de envejecimiento de las arcillas se realiza en el lecho de homogeneización cuando la producción se realiza por vía húmeda.

Durante el envejecimiento se producen procesos de fermentación con la intervención de microorganismos, los cuales provocan determinadas reacciones que modificarán, entre otras

propiedades, la plasticidad de los lechos arcillosos, es importante en lo referente a la consistencia que adquiera la materia prima.

Desmenuzado

La etapa de molienda primaria de las materias primas del proceso de fabricación, se realiza con desmenuzadores, los cuales normalmente constan de dos cilindros provistos de dientes ínter secantes que trabajan por aplastamiento o desgarre y así se consigue una subdivisión tal del material que permite su posterior utilización, sin problemas en los dosificadores y en los molinos.

Dosificación y Mezclado

La dosificación establece una alimentación constante y regulada de materia prima. Para ello se utilizan dosificadores, con los que se consigue mezclar en cualquier proporción diferentes arcillas, desgrasantes y posibles aditivos.

Molienda

El proceso de molienda de las materias primas consiste en la adecuación de la granulometría de las mismas, tanto en distribución granulométrica como en tamaño máximo.

La calidad del producto cerámico depende en gran medida del grado de molturación de la materia prima.

La molienda puede efectuarse por vía seca o por vía húmeda. En el primer caso, se utilizaran molinos de martillos o similares y, el segundo caso, molinos de rulos o laminadores de rodillos.

La molienda por vía seca es adecuada en aquellas arcillas que presentan elevadas proporciones de carbonatos, ya que se consiguen granulometrías más finas elevando evitando la aparición de caliches, en las partículas.

La molienda por vía húmeda es más adecuada para aquellas otras arcillas con elevada plasticidad y, por tanto más difíciles de secar.

Silo o pudridero

Lugar de almacenamiento de la materia prima donde se completa envejecimiento de las pastas cerámicas, además se comienza a ajustar la humedad necesaria para los procesos posteriores.

Amasado y extrusión

El amasado consiste en la preparación última de la pasta cerámica, durante la cual se ajusta la humedad y se asegura una homogeneidad adecuada. Normalmente se efectúa por medio de amasadoras, en general de dos ejes.

La extrusión consiste en el moldeo de la pasta cerámica, es decir, es la etapa del proceso durante la cual se da la forma definitiva a la pieza cerámica, como es el caso de los ladrillos.

Cortado y prensado

El cortado se realiza con hilos metálicos en el carro cortador para dar a la pieza las dimensiones definitivas, claro esta si es necesario aplicarlo.

En el prensado, al igual que en la extrusión, se da la forma final a la pieza cerámica y consiste en aplicar presiones elevadas a la pasta cerámica que estará colocada en un molde con la forma requerida. Este proceso se utiliza sobre todo en el caso de tejas mixtas y planas. La presión de prensado debe ser la suficiente para evitar posibles laminaciones.

Secado

El secado consiste en la eliminación del agua que se ha utilizado para efectuar el moldeo de la pieza cerámica.

Es una de las fases más delicadas y trascendentes del proceso de producción puesto que un mal secado de las piezas puede arruinar por completo la misma.

Del mismo modo, el perfecto control de todas las variables del proceso de secado puede llevar a la optimización del mismo con el mínimo consumo energético.

Cocción

Se considera la fase más delicada e importante de la fabricación de las piezas, ya que en esta fase de producción se les confieren las propiedades definitivas. Consiste en una serie de transformaciones físico-químicas de la masa arcillosa debido al aporte de calor. En general se produce la desaparición de las especies minerales existentes en la pasta cerámica, con formación de otras nuevas o bien de fases amorfas.



Para lograr la optimización del proceso de cocción y evitar la aparición de defectos que durante el mismo pudieran producirse es necesario conocer perfectamente las reacciones que tienen lugar en la pieza durante el mismo (absorción y desprendimiento de calor, desprendimiento de gases, dilataciones y contracciones, etc.). También hay que tener en cuenta, para efectuar una buena cocción, existen determinados intervalos de temperatura en los que se producen fuertes contracciones o dilataciones del material; estas son las zonas críticas donde se producen fisuras de precalentamiento, cocción y enfriamiento.

Por lo tanto, en estos intervalos de temperatura se deberá tener en cuenta la velocidad de cocción, temperaturas de cocción, volumen de carga y disposición y separación de las piezas, estableciendo una curva de temperaturas consideradas como la curva ideal de cocción.

Tratamiento final

Una vez realizada la cocción, son conducidas a las máquinas desapiladoras, y seguida a las paletizadoras, pasando posteriormente el producto a la fase de tratamientos finales.

1.3 Objetivos del proyecto

Objetivos generales

El proyecto tiene por objetivo general el diseño de una máquina laminadora para arcilla que permita variaciones considerables en los tamaños de materias primas o materiales a utilizarse.

Análisis de resultados a través del programa Working Model 2D.

Objetivos específicos

Se debe tomar en cuenta los siguientes puntos como objetivo:

Analizar parámetros operativos del sistema de molienda para la industria cerámica (tales como funcionamiento, seguridad, costo, etc).

Calcular parámetros de diseño (tales como fuerza, velocidad, potencia, etc) en el sistema.

Obtener tamaños de grano de la arcilla en seco, dentro de los parámetros utilizados por la industria cerámica tradicional, a una distancia entre rodillo (1.6 a 3.2 mm); por lo que queremos obtener una mejora en la materia prima a utilizarse en el procesamiento de cerámicos y por ende la producción de estos.

1.4 Estudio comparativo entre la cerámica hecha por los artesanos y el otro con tecnología más avanzada

Por lo general los ladrilleros artesanales han venido empleando métodos antiguos, en el procedimiento para la elaboración de productos cerámicos, sin haberle aplicado ningún cambio a través de los años, ya que han tenido problemas en el amasado, en la consistencia misma del ladrillo al dejarlo secar, esta información se obtuvo en el mismo lugar de los hechos (vía perimetral), y con la ayuda de la referencia No.5, esto será brevemente analizado a continuación:

Extracción y homogeneización

Los ladrilleros extraen la arcilla tomándola de cualquier yacimiento sin tener en cuenta las diferencias entre los diferentes estratos, entonces dada la heterogeneidad que pueden presentar algunos yacimientos, con posibles diferencias entre distintos frentes de la cantera, pueden ser necesario la formación de lechos de homogeneización y envejecimiento del material. La irregularidad en la composición de la materia prima es una de las causas más frecuentes de aparición de defectos en el producto acabado.

La formación de los lechos de homogeneización tiene una importancia decisiva para conseguir la uniformidad y constancia en las características de la materia prima a emplear en la fabricación del producto cerámico, aunque siempre tendrá propiedades diferentes si se la obtiene de diversos lugares.

Almacenamiento

Los artesanos lo hacen directamente, en el caso que sea por vía húmeda el objetivo a conseguir con el envejecimiento de las arcillas en los estratos es aumentar la plasticidad, ya que provoca una mejor resistencia en seco, mediante la disgregación y el esponjamiento de los terrones de arcilla.

Este aumento de plasticidad se consiguen gracias a la unión entre las partículas de agua y de arcilla produciéndose un aumento de cohesión. Esto también ocurre por los materiales orgánicos existentes en ciertas arcillas, como las arcillas de bola (ball clays).

En el caso de la producción por vía seca (las arcillas entran en el proceso de molienda secas) el envejecimiento se realiza en el pudridero, de donde la materia prima debe salir con una cantidad

de agua próxima a la que se empleará en el posterior amasado y moldeo.

Dosificación y mezclado

Los artesanos desconocen de este proceso pero es necesario ya que al instalar los dosificadores de materia prima se consigue independizar el funcionamiento de las máquinas instaladas antes y después de los alimentadores, optimizando así el proceso de la producción y además se consigue mezclar en cualquier proporción diferentes arcillas, desgrasantes y posibles aditivos.

Molienda

Algo muy sorprendente fue que los artesanos no utilizan un sistema de molienda, el lugar donde se encuentra la arcilla forman un charco, en algunos casos podría decirse que los más tecnificados llevan la arcilla a unas pequeñas piscinas para amasar, la tesis se enfoca en el diseño de un sistema de molienda.

Cualquiera que sea la vía de molturación utilizada, nunca se deberá utilizar una masa arcillosa lista para el moldeo con partículas superiores a los 2 mm; estas inciden muy

negativamente sobre el acabado superficial y la resistencia mecánica del producto cocido, pudiendo dar lugar a la aparición de micro fisuras en la superficie de la pieza, denominadas "patas de araña".

Amasado y extrusión

Los artesanos toman la arcilla y la amasan en piscinas, para luego llevar la masa a los moldes hechos por ellos mismos, por lo general moldes de madera, dándole la forma definitiva al ladrillo.

La extrusión se efectúa, por lo general a vacío para mejorar la cohesión entre las distintas partículas de la pasta cerámica, evitándose en gran medida posibles laminaciones y otra serie de defectos graves que anteriormente se explico cuando se trabaja con un vacío insuficiente.

Secado

Este es un proceso delicado, los artesanos utilizan un secado económico, exponen la cerámica en forma inadecuada en ocasiones apiladas una sobre otras, a la acción de la atmósfera y el sol, pero lo negativo es que deben permanecer entre 6 a 8 días.

el sol, pero lo negativo es que deben permanecer entre 6 a 8 días.

Es de vital importancia durante el secado conocer y tener controlados diversos factores como la velocidad de secado, gradiente de temperatura, circulación de aire, separación y disposición de las piezas y tiempo de secado, ya que, un mal control ocasionaría múltiples defectos.

Cocción

Es un método antiguo, ya una vez secada la cerámica, los artesanos construyen pirámides de 1000 a 3000 ladrillos, en la parte inferior hay dos cámaras, se le suministra calor a través de unos mecheros alimentados de gas licuado (doméstico), los ladrillos más próximos al calor tendrán sus propiedades definitivas como son resistencia mecánica, rigidez, mientras que los más alejados no alcanzarían la propiedades requeridas debido a que no se le proporciona suficiente calor, y por lo general no sirven.

La reducción superficial es un defecto que se presenta con frecuencia cuando se trabaja con gasificadores de combustible

que salpican y manchan las caras de la pieza próxima al quemador.

El combustible acumulado sobre la superficie de la pieza produce una atmósfera reductora local que impide la reoxidación de óxido de hierro.

Factibilidad de construir una laminadora para cerámica

La demanda de productos cerámicos tales como ladrillos, tejas, bloques, etc. en los momentos actuales debido al crecimiento acelerado de las construcciones, hace pensar en una producción elevada. Esto fue comprobado por la Cámara de Construcción de Guayaquil, se obtuvo información en lo referente a materiales para la construcción donde se revela una alta demanda comparada con la de años anteriores.

Esta demanda aumentaría en el futuro ya que Guayaquil está sufriendo un cambio total de su fisonomía, en construcciones de todo tipo.

CAPITULO 2

.. PROCESO EXPERIMENTAL

2.1 Prueba de Compresión Simple

Esta prueba se la realiza aplicando un esfuerzo axial a un espécimen, sin la etapa previa de presión hidrostática.

Existe la etapa de carga que conduce del suelo a la falla; sin embargo, en vías de simplificación podría considerarse como primera etapa al estado inicial de la muestra, sin esfuerzos exteriores.

Cálculo para la fuerza cortante de la arcilla

La fuerza cortante fue calculada en forma experimental y consistía de las siguientes etapas:

Materiales:

Arcilla común

Procedimiento:

La primera etapa los esfuerzos totales son nulos y el agua adquiere una tensión de magnitud igual, teóricamente a la presión de pre-consolidación (γ_z) que el suelo tuviere en la naturaleza; esta tensión del agua comunica a la estructura sólida los esfuerzos efectivos necesarios para que la muestra mantenga su volumen.

La segunda etapa la muestra es llevada a la falla con la aplicación del esfuerzo axial (q_u) que mide su resistencia en este tipo de prueba, originando a la vez una presión adicional neutral u_2 .

Se realizó tres muestras para calcular el máximo esfuerzo cortante.

Resultado:

Los esfuerzos efectivos que aparecen al final de la prueba:

$$\sigma_3 = 0 - u = -(u_1 + u_2) = -(-\gamma_z + u_2) = \gamma_z - u_2$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + q_u = \gamma_z - u_2 + q_u$$

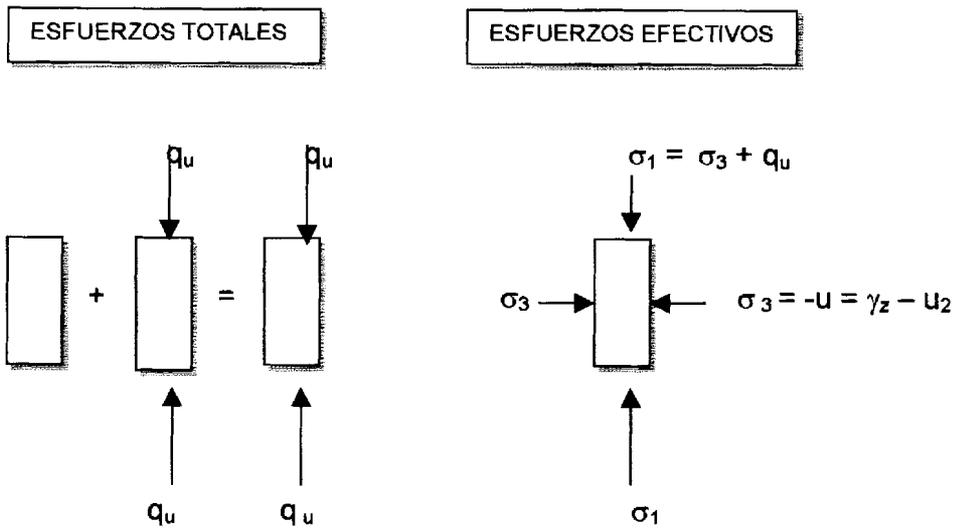


Figura 2.1.a: Distribución de esfuerzos totales y efectivos en pruebas de compresión simple

La resistencia de compresión simple se ha usado como medida de sensibilidad de la estructura de un suelo en la formación, se define así la sensibilidad o "sensitividad" de un suelo como:

$$s_t = \frac{q_u(\text{inalterado})}{q_u(\text{remoldeado})}$$

El diagrama de Mohr del ensayo de compresión simple

Es una circunferencia tangente en el origen de coordenadas que no tiene confinamiento lateral. La tensión máxima: máxima es igual a la cohesión C

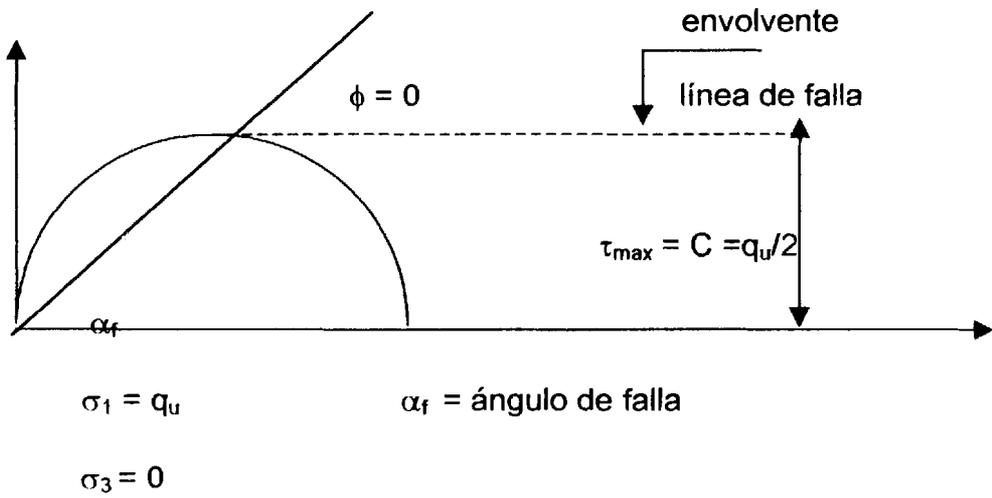


Figura 2.1.b: Diagrama de Mohr

Se logro hacer las pruebas experimentales en el laboratorio de mecánica de suelos en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra obteniéndose los siguientes datos:

TABLA 2: Prueba No.1

CARGA		DEFORMACION VERTICAL				
Dial 0.0001	Kg	DIAL lc-8	$E=Ah/h$	1-e	AREA CORREGIDA	ESFUERZO DE COMPRESION
1	0.1916304	10	0.0035278	0.9964722	10.214796	0.0187601
2.2	0.4215869	20	0.0070556	0.9929444	10.251087	0.0411261
3.2	0.6132173	30	0.0105834	0.9894166	10.287638	0.0596072
4.5	0.8623368	40	0.0141111	0.9858889	10.32445	0.0835238
5	0.958152	50	0.0176389	0.9823611	10.361526	0.0924721
5.8	1.1114563	60	0.0211667	0.9788333	10.39887	0.1068824
6.2	1.1881085	70	0.0246945	0.9753055	10.436484	0.1138418
6.8	1.3030867	80	0.0282223	0.9717777	10.474371	0.1244072
7.2	1.3797389	90	0.0317501	0.9682499	10.512534	0.131247
7.5	1.437228	100	0.0352778	0.9647222	10.550976	0.1362175
8.2	1.5713693	120	0.0423334	0.9576666	10.62871	0.147842
9	1.7246736	140	0.049389	0.950611	10.707598	0.1610701
9.8	1.8779779	160	0.0564446	0.9435554	10.787665	0.1740857
10.2	1.9546301	180	0.0635001	0.9364999	10.868939	0.1798363
11	2.1079344	200	0.0705557	0.9294443	10.951447	0.19248
11.8	2.2612387	220	0.0776113	0.9223887	11.035217	0.2049111
12.5	2.39538	240	0.0846668	0.9153332	11.120279	0.2154065
13.8	2.6444995	260	0.0917224	0.9082776	11.206662	0.2359757
14.2	2.7211517	280	0.098778	0.901222	11.294398	0.2409293
15	2.874456	300	0.1058335	0.8941665	11.383518	0.2525103

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

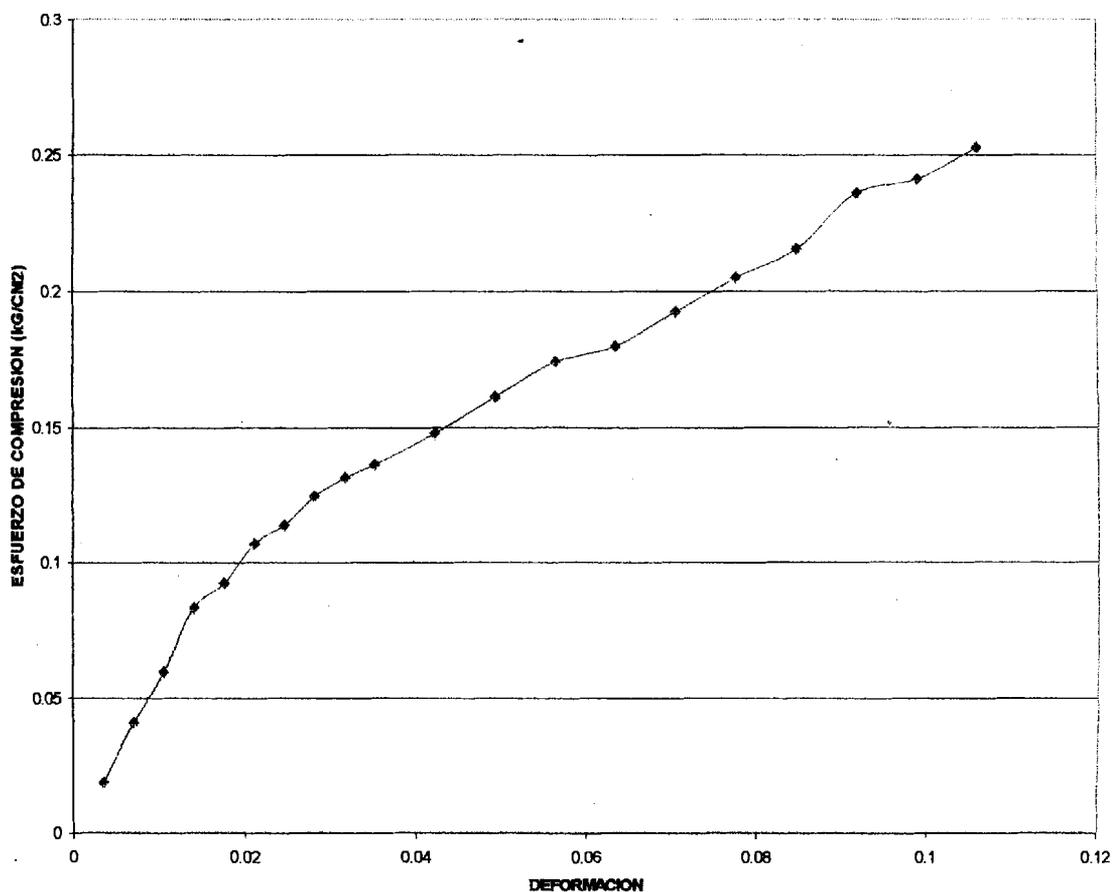


Fig. 2.1.c: Esfuerzo cortante (prueba 1)

Podemos observar que la carga máxima es $q_u = 0.2525 \text{ Kg/cm}^2$, por lo definido en el diagrama de morh el esfuerzo cortante máximo es $q_u/2$ entonces $1 \text{ kg/cm}^2 = 98066.5 \text{ N/m}^2$, esto da 12380.89 N/m^2

TABLA 3: Prueba No.2

CARGA		DEFORMACION VERTICAL				
Dial 0.0001	Kg	DIAL lc-8	E=Ah/h	1-e	AREA CORREGIDA	ESFUERZO DE COMPRESION
1.8	0.3449347	10	0.0035278	0.9964722	10.214796	0.0337681
2.8	0.5365651	20	0.0070556	0.9929444	10.251087	0.0523423
4	0.7665216	30	0.0105834	0.9894166	10.287638	0.074509
5	0.958152	40	0.0141111	0.9858889	10.32445	0.0928042
6	1.1497824	50	0.0176389	0.9823611	10.361526	0.1109665
7	1.3414128	60	0.0211667	0.9788333	10.39887	0.128996
8	1.5330432	70	0.0246945	0.9753055	10.436484	0.1468927
9	1.7246736	80	0.0282223	0.9717777	10.474371	0.1646565
9.5	1.8204888	90	0.0317501	0.9682499	10.512534	0.1731732
10	1.916304	100	0.0352778	0.9647222	10.550976	0.1816234
11.2	2.1462605	120	0.0423334	0.9576666	10.62871	0.2019305
12.5	2.39538	140	0.049389	0.950611	10.707598	0.2237084
13.2	2.5295213	160	0.0564446	0.9435554	10.787665	0.2344827
14.2	2.7211517	180	0.0635001	0.9364999	10.868939	0.2503604
15.2	2.9127821	200	0.0705557	0.9294443	10.951447	0.2659723
16	3.0660864	220	0.0776113	0.9223887	11.035217	0.2778456
16.8	3.2193907	240	0.0846668	0.9153332	11.120279	0.2895063
17.5	3.353532	260	0.0917224	0.9082776	11.206662	0.2992445
17.5	3.353532	280	0.098778	0.901222	11.294398	0.2969199
18	3.4493472	300	0.1058335	0.8941665	11.383518	0.3030124

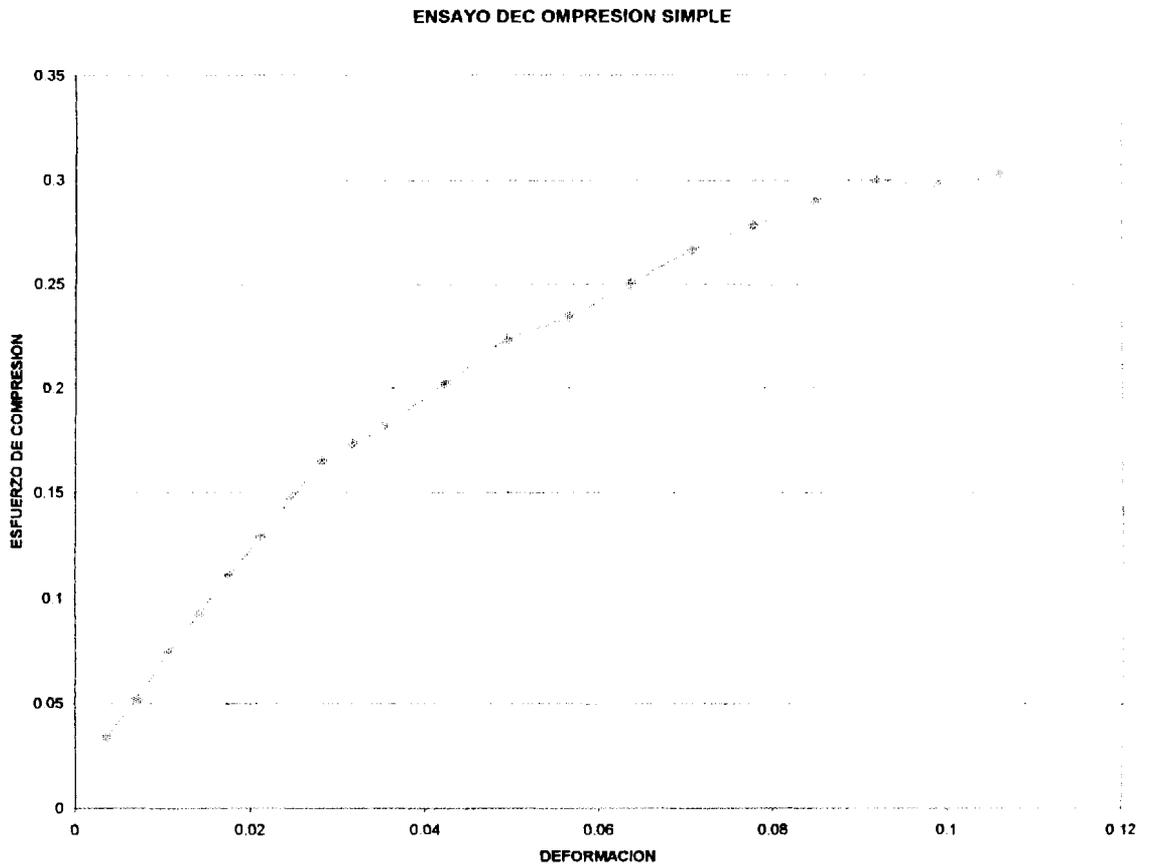


Fig. 2.1.d: Esfuerzo cortante (prueba 2)

La carga máxima es $q_u = 0.3030 \text{ Kg/cm}^2$ entonces el esfuerzo cortante da 14857 N/m^2 .

TABLA 4: Prueba No.3

CARGA		DEFORMACION VERTICAL				
Dial 0.0001	Kg	DIAL lc-8	E=Ah/h	1-e	AREA CORREGIDA	ESFUERZO DE COMPRESION
2	0.3832608	10	0.0035278	0.9964722	10.214796	0.0375202
4	0.7665216	20	0.0070556	0.9929444	10.251087	0.0747747
5	0.958152	30	0.0105834	0.9894166	10.287638	0.0931362
6	1.1497824	40	0.0141111	0.9858889	10.32445	0.111365
6.8	1.3030867	50	0.0176389	0.9823611	10.361526	0.125762
7.5	1.437228	60	0.0211667	0.9788333	10.39887	0.13821
8.2	1.5713693	70	0.0246945	0.9753055	10.436484	0.150565
8.8	1.6863475	80	0.0282223	0.9717777	10.474371	0.1609975
9.2	1.7629997	90	0.0317501	0.9682499	10.512534	0.1677045
9.5	1.8204888	100	0.0352778	0.9647222	10.550976	0.1725422
10.5	2.0121192	120	0.0423334	0.9576666	10.62871	0.1893098
11.5	2.2037496	140	0.049389	0.950611	10.707598	0.2058118
12.5	2.39538	160	0.0564446	0.9435554	10.787665	0.222048
14	2.6828256	180	0.0635001	0.9364999	10.868939	0.2468342
15	2.874456	200	0.0705557	0.9294443	10.951447	0.2624727
15.8	3.0277603	220	0.0776113	0.9223887	11.035217	0.2743725
16.2	3.1044125	240	0.0846668	0.9153332	11.120279	0.2791668
17	3.2577168	260	0.0917224	0.9082776	11.206662	0.2906947
17.8	3.4110211	280	0.098778	0.901222	11.294398	0.30201
18	3.4493472	300	0.1058335	0.8941665	11.383518	0.3030124

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

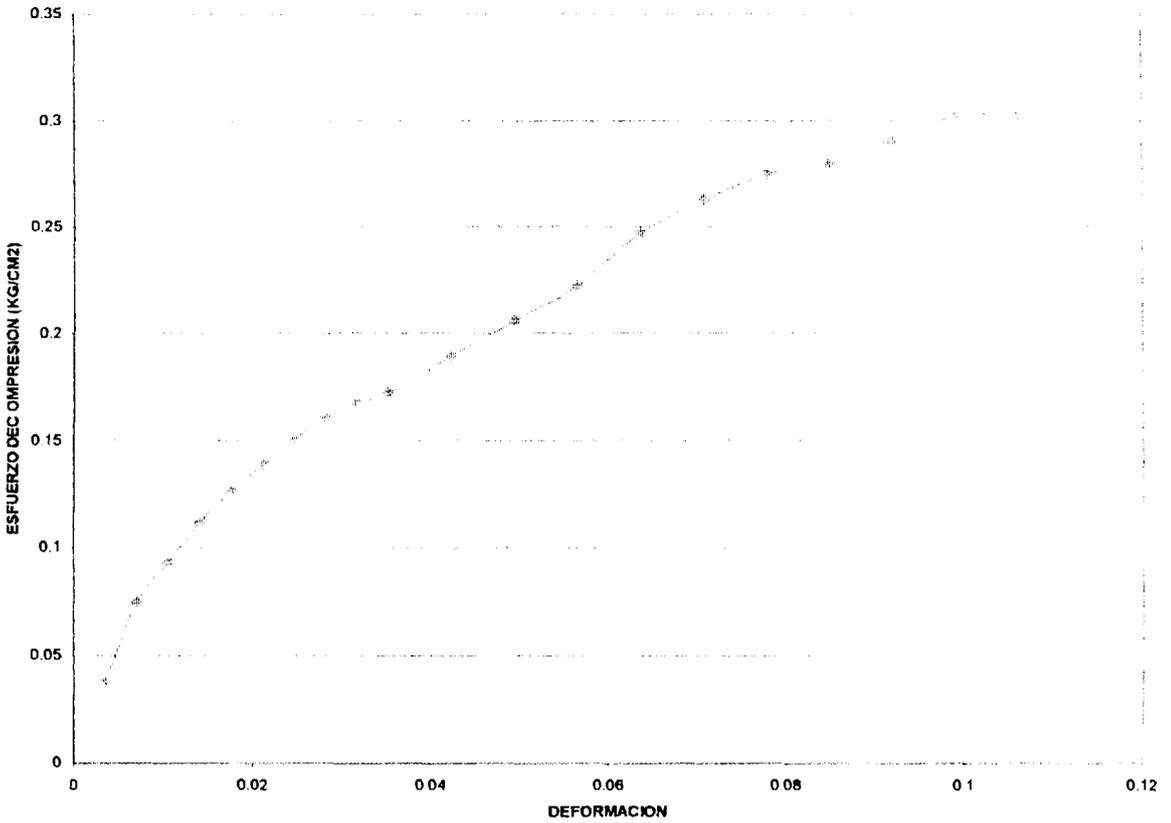


Fig. 2.1.e: Esfuerzo cortante (prueba 3)

La carga máxima es 0.3030 Kg/cm^2 , y el esfuerzo cortante es 14915.9 N/m^2 .

En el Laboratorio de Suelos y Resistencias de Materiales hay dos formas de realizar el ensayo de compresión simple:

1. Por deformación controlada
2. Por carga controlada

Por deformación controlada:

El aparato que se utiliza da el máximo de perfección en el ensayo, pues permite determinar íntegramente la curva.

En el ensayo por carga controlada que para nuestro caso fue la que empleamos, se dan valores determinados a las cargas y se ve su deformación. La carga está dada en libras, se resta de la carga inicial si la hay, y se divide para 2.2 a fin de obtener su valor en Kg.

Para realización de este ensayo hay tres tipos de probetas: grande, mediana y pequeña, pero siempre su altura es el doble del diámetro, para que no se produzca pandeo.

La deformación en rotura varía con la velocidad de aplicación de la carga, para que no haya mayor variación, el ensayo deberá durar unos 10 minutos.

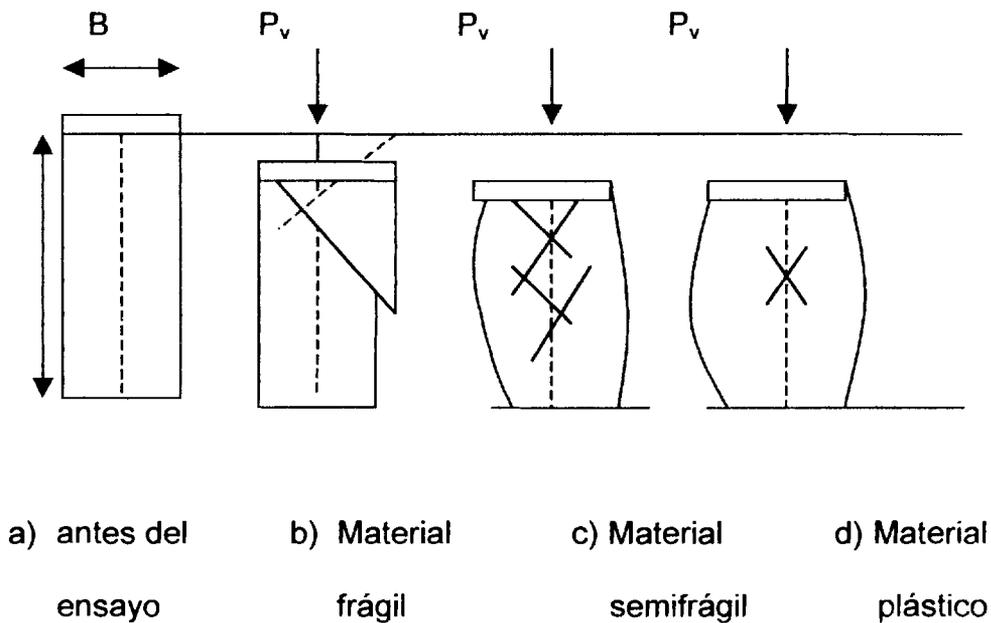


Figura 2.1.f: Probetas antes y después del ensayo

Conclusión:

Del experimento obtuvimos un esfuerzo cortante máximo de 0.15210 Kg/cm^2 , lo que es igual $14\,915.9 \text{ N/m}^2$.

Obtención del coeficiente de fricción a través de la Ley de Coulomb en suelos "friccionantes"

En la teoría se considera que el empuje sobre un muro se debe a la cuña del suelo limitada por el paramento del muro, la superficie del relleno y una superficie de falla desarrollada dentro del relleno, a la que se supone plana, (fig.2.1.g).



La cuña OAB tiende a deslizarse bajo el efecto de su peso y por esa tendencia se producen esfuerzos de fricción tanto en el respaldo del muro como a lo largo del plano OB. Supuesto que las resistencias friccionadas se desarrollen por completo, las fuerzas E_a y F resultan inclinadas respecto a las normales correspondientes a los ángulos δ y, de fricción entre muro y relleno y entre suelo y suelo respectivamente.

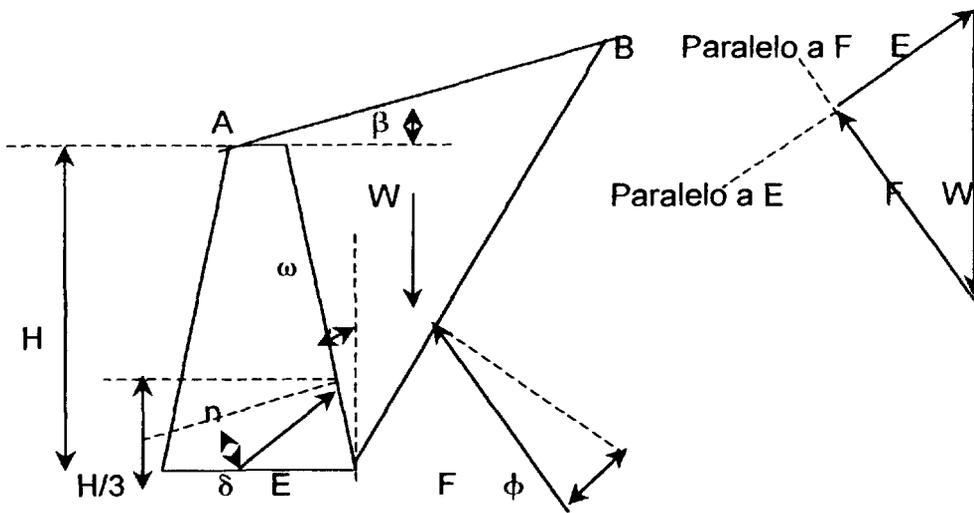


Figura 2.1.g: Ley de Coulomb

El valor numérico del ángulo δ evidentemente está acotado, de modo que:

$$0 \leq \delta \leq \phi$$

En efecto, $\delta = 0$ corresponde al muro liso y es inconcebible un valor menor por un ángulo de fricción. Por otra parte, si $\delta > \phi$, lo cual en principio es posible, la falla se presentaría en la inmediata vecindad del respaldo del

muro, pero entre el suelo y suelo; este caso es prácticamente igual a que el deslizamiento ocurriese entre muro y suelo, por lo que el máximo valor práctico que puede tomarse en cuenta para δ es precisamente ϕ . Siguiendo indicaciones de Terzaghi, el valor de δ puede tomarse en la práctica como:

$$\frac{1}{2}\phi \leq \delta \leq \frac{2}{3}\phi$$

Donde ϕ es el ángulo de fricción interna de la arcilla.

Pero como no sabemos el valor de θ pero tenemos que este es igual $\frac{1}{2}\phi$; ϕ es el ángulo de fricción interna

$$\begin{aligned} \frac{\phi}{2} &\leq \delta \leq \frac{2}{3}\phi \\ \frac{\phi}{2} &\leq \frac{\xi}{2} \leq \frac{2}{3}\phi \\ \phi &\leq 2\delta \leq \frac{4}{3}\phi \end{aligned}$$

El valor del coeficiente de fricción esta entre 1 y 1.3 tomando en consideración esta ley será se trabajara con el máximo $\mu = 1.3$.

Obtención de la densidad del material a laminar

Se define como gravedad específica a la relación entre el peso sólido del material y el peso del volumen de agua de dicho sólido desalojado.

La densidad fue calculada en forma experimental y consistía de las siguientes etapas:

Equipos y Materiales:

Balanza sensible a 0.001 gr.

Estufa Horno de secado a temperatura constante de 105°C.

Termómetro graduable 0° a 50°C con divisiones de 0.1°.

Matraz calibrado de 500cc de capacidad.

Cápsulas de porcelana.

Pipeta.

Embudo de vidrio.

Arcilla (ensayo de la anterior prueba)

Procedimiento:

1. - De la muestra preparada que haya pasado por la malla No. 40, se toman unos 200 gr. , se colocan en una cápsula de porcelana y se dejan secar en el horno a temperatura constante de 105°C durante 12 horas.

Luego, si ha estado en el horno, se lo pone al medio ambiente y se deja enfriar (a la temperatura ambiente) en un lugar seco, de manera que no adquiera humedad, y se pesan 50 gr.

2. - Se lava perfectamente un matraz de 500cc, calibrado con anterioridad, con agua, jabón y un escobillón que puede introducirse en el matraz con agua hasta el cuello, y se pesa: W_{bw} .

3. - Los 50 gr. De material seco se vacían en el matraz y luego se llena éste con agua destilada hasta el cuello; esta operación se facilita mediante un embudo de vidrio.

4. - Se pone el matraz en baño de María a fin de expulsar el aire contenido en el matraz; si se cuenta con una bomba de vacío, su uso mejora la operación, permitiendo además, hervir la suspensión a temperatura más baja, para materiales arcillosos requieren hasta 30 min. de hervido.

5. - Se saca el matraz en baño de María se deja enfriar; una vez que adquiera la temperatura ambiente se agrega agua destilada hasta llenarlo al nivel de la marca de aforo e inmediatamente se toma la temperatura a 0.1°C introduciendo el termómetro hasta el centro de la suspensión.

6. - Después de tomarse la temperatura debe aforarse perfectamente, de manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración del matraz; esto se logra con ayuda de una pipeta.

7. - Debe evitarse que quede agua adherida al interior del cuello del matraz sobre la marca de aforo, para lo cual se introduce un rollito de papel secante

o absorbente para eliminarla. También debe secarse perfectamente el matraz en su parte exterior.

8. - Después de aforado y limpio, se pesa el matraz con una precisión de 0.001 gr. Anotando el peso en el renglón W_{bwn} del registro de cálculo.

9. Se echa todo el contenido del matraz en una cápsula de porcelana y se coloca en el horno. Luego se obtiene el peso seco de la muestra W_s y se anota. (La expresión $W_s + W_{bw} - W_{bws} =$ representa el peso del volumen de agua desalojada por los sólidos a la temperatura de la prueba).

A continuación en la tabla No.5, se muestra los cálculos de la densidad, realizadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos (A. Ruffilli) de la Universidad Estatal de Guayaquil.

TABLA 5: CÁLCULO DE LA DENSIDAD

Peso de pastilla cubierta de parafina	$W_o + W_p$ (gr)	67.3
Peso de pastilla (suelo seco)	W_o (gr)	61.9
Peso de la parafina	W_p (gr)	5.4
Densidad de la parafina	Gr/cm ³	0.87
Volumen de la parafina	$V_p (W_p/0.87)$	6.207
Peso del suelo seco cubierto de parafina (en el aire)	W_{sp} (gr)	87.8
Peso del suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	W_{sa} (gr)	48.7

(en el aire)		
Peso del suelo seco cubierto de parafina (en el agua)	W_{sa} (gr)	48.7
Volumen del suelo seco cubierto de parafina	V_{sp} (cm ³)	39.1
Volumen del suelo seco	V_o (cm ³)	32.9
Densidad	W_o/V_o (gr/cm ³)	1.88

Conclusión

La densidad que obtuvimos el Laboratorio fue 1.88 gr/cm³.

2.2 Control de parámetros que inciden en la molienda

Control de parámetros que inciden en la molienda se relaciona mucho al material que se va triturar, partimos con:

1. El Tamaño de grano,
2. La plásticidad del material,
3. Condiciones de la molienda, vía seca o húmeda,
4. Si es solamente material homogéneo o mezclado, en nuestro caso sería solamente arcilla, a veces mezclado con piedras pequeñas dependiendo del terreno.

2.3 Equipos para molienda y su clasificación.

Las principales clases de máquinas para reducción de tamaño

son:

- I. Trituradoras (gruesos y finos)
 - A. Trituradoras de mandíbulas
 - B. Trituradoras giratorias
 - C. Trituradoras de rodillos

- II. Molinos (intermedios y finos)
 - A. Molinos de martillos, de impacto
 - B. Molinos giratorios de compresión
 1. Molinos de rodillos
 2. Molinos de barras
 - C. Molinos de fricción
 - D. Molinos giratorios
 1. Molinos de barras
 2. Molinos de bolas y gjarros
 3. Molinos de tubos; molinos compartimentados

- III. Molinos de ultrafinos
 - A. Molinos de martillos con clasificación interna
 - B. Molinos que utilizan la energía de un fluido

IV. Maquinas cortadoras

A. Cortadoras de cuchilla, de cuadrados y de tiras.

2.4 Consumos de energía

Aunque gran parte de la potencia necesaria para el funcionamiento de los trituradores y molinos, el mayor consumo es vencer el rozamiento mecánico, la energía real utilizada en la reducción de tamaños tiene interés; teóricamente es proporcional a la nueva superficie creada, supuesto que el material no experimente otro cambio que la variación de tamaño y de superficie específica.

Relaciones entre energía y reducción de tamaño

Una relación empírica entre la energía y la reducción de tamaño que se ha propuesto

$$\Delta E_o = -K\Delta \frac{d}{d^{f_n(d)}} \quad (2.4.a)$$

(E_o = energía específica necesaria para suministrar la energía de superficie de la nueva superficie; d = tamaño de la partícula). Esta ecuación se reemplaza $f_n(d)$ por una constante n , es decir,

$$\Delta E_o = -K\Delta \frac{d}{d^n} \quad (2.4.b)$$

La Fig. 2.4 muestra la forma general de la relación entre energía y la reducción de tamaño, y claramente n no es constante en toda la gama de tamaños de partículas. Sin embargo, dentro de intervalos limitados de tamaños puede usarse un valor constante para n .

Esta ecuación empírica (ecuación 2.4.b) es entonces la forma generalizada de las ecuaciones teóricas y empíricas de energía-reducción de tamaño de Rittinger, Kick, Bond, Holmes, Charles, Svensson y Murkes, y otros.

A continuación se ilustra en la figura 2.4.a, la curva de energía y reducción de tamaño, mostrando las diversas teorías de molienda que ocupan las relaciones existentes entre el requerimiento de energía de un lado y el tamaño de partícula del producto resultante de un tamaño determinado de material de alimentación por el otro lado. Existe aun desacuerdo considerable sobre esta relación.

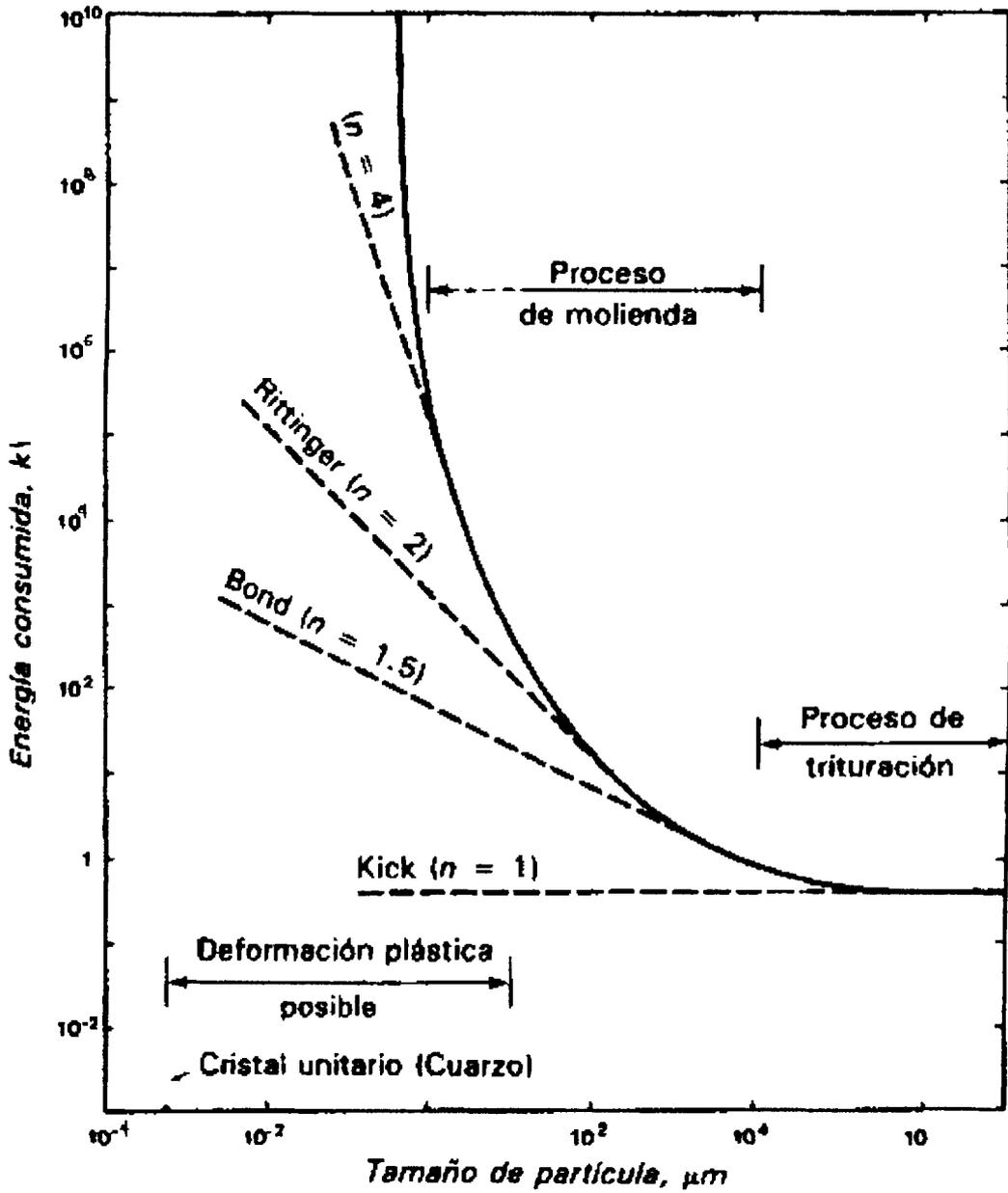


Figura 2.4.a: Curva de energía y reducción de tamaño

Teoría de la trituración. Ley de Rittinger.

La ley de trituración propuesta por Rittinger esta basada en la hipótesis de que la energía necesaria para el proceso es proporcional a la superficie cortada. Consideremos el cubo de material representado en la fig. 2.4.b. Cada arista de este cubo tiene una longitud D ; supongamos que este cubo se rompe para obtener cubos pequeños, en que las aristas de cada uno tiene una longitud d .

En la fig. 2.4.b, la relación de D a d se ha tomado de 4:1; este

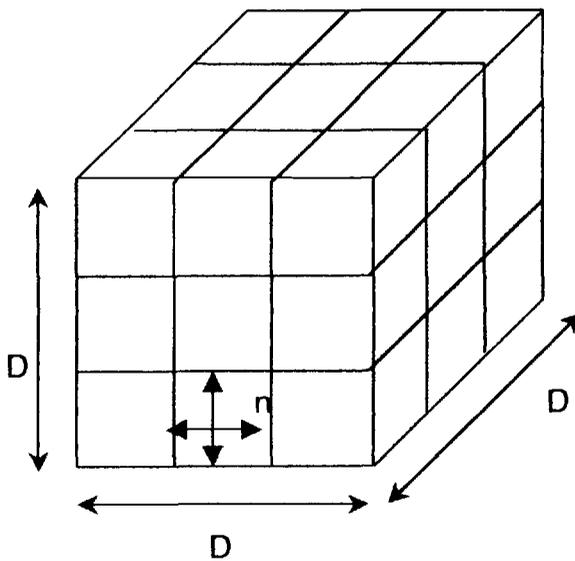


Figura 2.4.b: Desarrollo de la ley de Rittinger

cociente puede representarse por n . En la figura se ve existen $(n-1)$ planos de fractura en cada una de las tres direcciones.

La ley de Kick.

La ley de Kick supone que la energía necesaria para triturar un material es proporcional al logaritmo del cociente entre los diámetros inicial y final. Esto indica que, si se necesita una cantidad determinada de energía para subdividir un peso determinado de cubos de 25 mm a cubos de 12.5 mm, la misma cantidad de energía reducirá los cubos de 12.5 mm a 6.25 mm ó de 6.25 mm a 3.125 mm, y así sucesivamente. Por ejemplo, de acuerdo con esta ley, se necesitará unas dos veces más energía para efectuar una reducción a la novena parte que para reducir a una tercera parte. La ley de Kick puede expresarse por la ecuación:

$$CV = K * \log \frac{D}{d} \quad (2.4.c)$$

Donde K es una constante y D y d son los tamaños iniciales y finales, respectivamente. La ley de Kick nunca ha sido eficazmente defendida.

Estado actual de la teoría de la molienda. Trabajos recientes han puesto de manifiesto que ni la teoría de Rittenger ni la de Kick son generalmente válidas. Comparando la cantidad de energía necesaria por unidad de superficie nueva producida en las pruebas de molido con la energía superficial teórica calculada por consideraciones termodinámicas (con un número considerable de hipótesis) dan eficacias del orden de 0.1 a 1%.

Método de Bond

Con base en trabajo experimental muy extenso, Bond determinó que “el trabajo total útil en la fractura que se ha aplicado a un peso dado de material homogéneo quebrado es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de las partículas del producto”. (El diámetro de la partícula se define como el 80% del tamaño acumulativo que pasa dA, 80, expresado en micrómetros). Así,

$$W = \frac{K}{\sqrt{d}} \quad (2.4.d)$$

(W= trabajo) de manera que para una reducción del tamaño d_i al d_o , el trabajo total W es

$$W = W_o - W_i = \frac{K}{\sqrt{d_o}} - \frac{K}{\sqrt{d_i}} \quad (2.4.e)$$

Para eliminar la constante K, se define el índice de trabajo W_i como el trabajo total necesario para reducir una partícula desde el tamaño infinito a $100 \mu\text{m}$, y sustituyendo estos valores en la ecuación 2.4.e:

$$W = \frac{K}{\sqrt{d}} \quad (2.4.f)$$

Si se combinan las ecuaciones 2.4.e y 2.4.f se obtiene la ecuación

$$W = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d_o}} - \frac{1}{\sqrt{d_i}} \right) \quad (2.4.g)$$

El índice de trabajo es básicamente una medida de la dureza del material, pero incluye también la eficiencia mecánica de la máquina (en cuanto que ~1% de la potencia de la máquina se convierte a nueva superficie útil, notable que este método trabaje tan bien como lo hace). En la tabla 6 se ilustran algunos valores típicos de W_i .

TABLA 6: VALORES TIPICOS DE W_i

Material	kWh/t
Todos los materiales	15.19
Barita	6.86
Basalto	22.45
Clinker de cemento	14.84
Arcilla	7.81
Carbón mineral	12.51
Mineral de Cobre	14.44
Dolomita	12.44
Mineral de hierro	16.98
Caliza	12.77
Cuarzo	14.05
Taconita	16.36

El índice de trabajo puede evaluarse por pruebas normales de laboratorio que hayan sido correlacionadas empíricamente con equipo normal. La

prueba de trituración abarca la medición de la resistencia a la trituración K_{cs} (en m.kg/m) de 10 trozos de roca, de la cual

$$W_i = 476 \frac{K_{cs}}{\rho_s} \quad (2.4.h)$$

Control del producto requerido

Se hizo referencia al control de calidad que debe tener cualquier producto cerámico, en el capítulo anterior.

Lo que se requiere básicamente es cumplir con cada uno de los requerimientos dispuestos para optimizar nuestro producto, y obtener un mejor control de calidad, ya que nuestro país carece de servicio y tiende al conformismo.

En el Apéndice A. TABLA A se tiene la normalización aprobada por el INEN, para los diversos clases de fabricación de cerámicos.

CAPITULO 3

3. CARACTERISTICAS DEL DISEÑO

3.1 Selección de la Molienda

Para hacer una debida selección del tipo de maquina para molienda debió previamente tener en cuenta al campo que se lo aplicaría, nuestro caso es la cerámica, siendo arcilla un material blando, ya sea por vía húmeda o seca.

Debe tener un mantenimiento fácil y rápido, para el propio artesano lo pueda hacer.

Además tener como fuente de energía la electricidad y consumirla menor cantidad de energía posible, de forma tal que no encarezca del mismo.

3.2 Diseño preliminar y alternativas de solución

En el diseño de la maquina laminadora de arcilla hemos obtenido tres alternativas:

1. - Molino de martillos con dos rotores, diseño practico operan mas impacto que por presión. El eje se hace girar a alta velocidad y la fuerza centrifuga hace que los martillos salgan hacia fuera de los platos. El material frágil tal como carbón resina, piedra caliza, es golpeado por impacto contra los platos rompedores, y cae a través del tamiz.

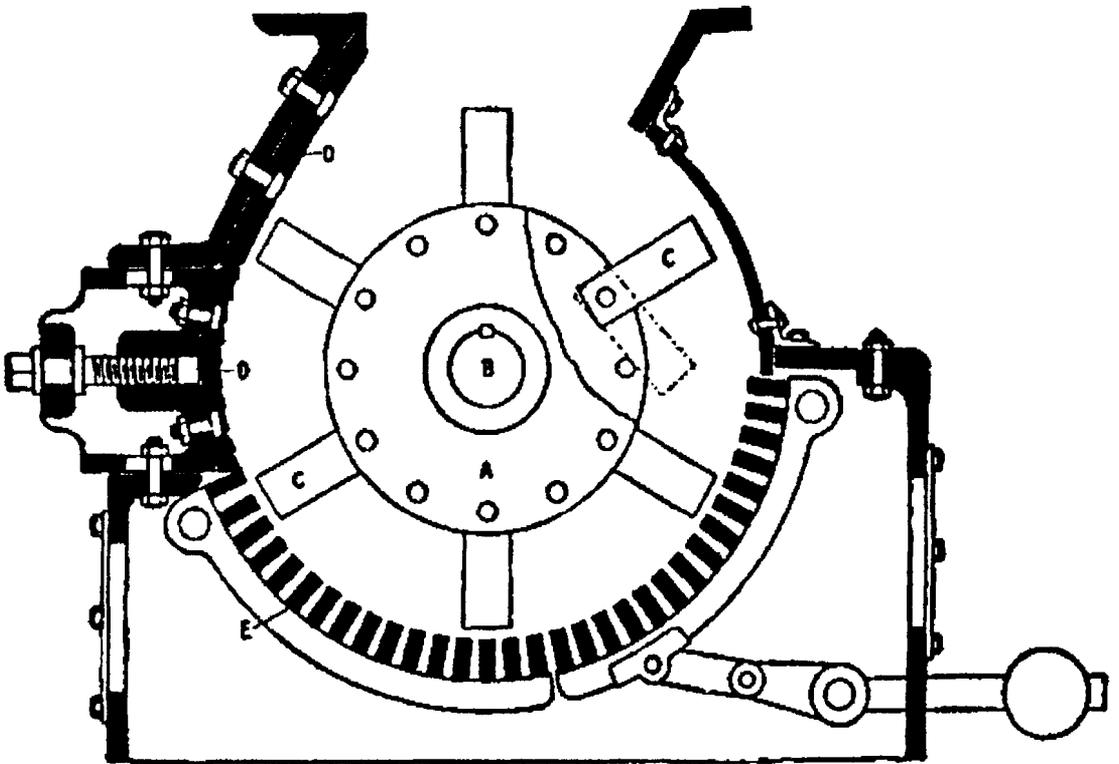


Fig.3.2.a: Detalle de un molino de martillos

3.3 Matriz de decisión

Haciendo un análisis técnico de manera general, necesitaremos una matriz de decisión para identificar mejor la solución, teniendo en cuenta los factores de manera sistemática, el cuerpo de la matriz se llena entonces con números que jerarquizan cada diseño, según la escala conveniente (tomamos escala 1 a 10 a cada una de las alternativas) como resultados:

TABLA 7: MATRIZ DE DECISIÓN

	Factor de ponderación	M.Martillo		M.Rulos		M.Laminador	
FUNCIONAMIENTO	0.35	7	2.45	7	2.45	8	2.8
SEGURIDAD	0.2	4	0.8	7	1.4	8	1.6
MANTENIMIENTO	0.15	6	0.9	7	1.05	7	1.05
COSTO	0.15	3	0.45	2	0.3	4	0.6
CONFIABILIDAD	0.15	7	1.05	5	0.75	7	1.05
Escala de 1 a 10		5.65		5.95		7.1	

Funcionamiento, seguridad y confiabilidad, son considerados como:

(1-2-3) bajo, (4-5-6) medio, (7-8-9) alto

mantenimiento y costo, son considerados como:

(1-2-3) alto, (4-5-6) medio, (7-8-9) bajo

El molino de martillo obtuvo un valor de 5.65

El molino de rulos obtuvo un valor de 5.95

El molino laminador obtuvo un valor de 7.1

La mejor elección es la alternativa 3, se la estudio a través de las características que presentaba para realizar este tipo de trabajo.

3.4 Cálculo y diseño de sub.-ensambles

3.4.1 Cálculo y diseño del sistema de molienda

Cálculo y diseño de rodillos o volantes

En el diseño de los rodillos existe una teoría para calcular las fuerzas ejercidas sobre una partícula esférica en el momento de entrada, además tendremos como datos los esfuerzos que soportan las llantas o volantes que serán de material reciclado.

Aplico la ecuación demostrada en el Apéndice D-1. Por razones prácticas se utilizaría un molino con un diámetro estandarizado de los rodillos ya sea de ϕ 800 ó 813 mm. Los parámetros restantes deben ajustarse en consecuencia.

Como dato adicional hemos tomado en cuenta el tamaño de la partícula asumiendo de unos 51 mm aproximadamente (arcillas) para obtener partículas de 1.6 mm.

$$\begin{aligned} \text{Cos}\alpha &= \left(\frac{r+d}{r+R} \right) \\ \text{Cos}\alpha &= \left(\frac{0.4065+0.0008}{0.4065+0.0255} \right) \\ \text{Cos}\alpha &= 0.94282 \end{aligned}$$

Pero lo que necesitamos es el ángulo de mordedura, entonces:

$$\alpha = \cos^{-1}(0.94282)$$

$$\alpha = 19.468^\circ$$

Del experimento en el laboratorio se obtuvo el esfuerzo cortante

$$\tau_{\max} = 14916 \frac{N}{m^2}$$

Ahora procedemos a obtener la fuerza

$$F_t = \tau_{\max} * A$$

En donde el área

$$A = w * b$$

$w =$ ancho del rodillo (m), $b =$ *perimetro de la seccion* (m)

Ahora

$$b = \frac{\Pi}{180} * r * \alpha$$

$$b = \frac{\Pi}{180^\circ} * 0.4065 * 19.468^\circ$$

$$b = 0.13806 \text{ m}$$

Entonces

$$A = w * b$$

$$A = w * 0.13806$$

El ancho será calculado una vez obtenido algunos datos adicionales que requiero en la formula.

$$F_t = \tau_{\max} * A$$

$$F_t = 14916 * 0.13806 * w$$

$$F_t = 2059.3 * w$$

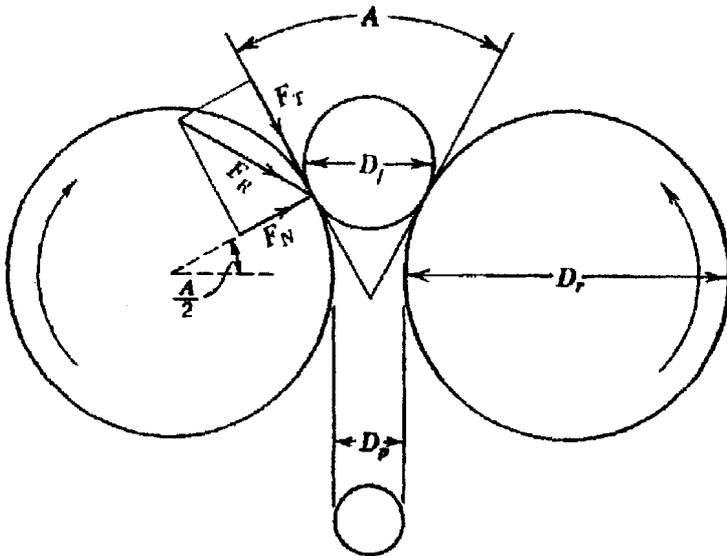


Figura 3.4.1: Fuerzas ejercidas por un triturador de rodillos sobre una partícula esférica en el momento de la entrada de esta.

La otra fuerza como se puede apreciar en la Fig.3.4.1 $F_t = \mu * F_n$; en donde F_t es la fuerza tangencial, μ es el coeficiente de rozamiento y F_n la fuerza normal o radial, estas serán las componentes que actuarán en los rodillos.

Ahora μ es igual 1.3 por lo explicado en el capítulo 2 referente a la ley de Coulomb, además para exista laminación θ debe ser siempre mayor que $\tan \alpha$, esto se cumple:

$$\text{la } \tan \alpha = \tan 19.46 = 0.3533$$

Entonces

$$F_t = \mu * F_n$$

$$\frac{F_t}{\mu} = \frac{2059.3 * w}{1.3}$$

$$F_n = 1584.08 * w$$

Ahora para calcular la velocidad del molino de acuerdo con la formula del Apéndice D-2,

$$n_{crit} = \frac{42.3}{\sqrt{D_i}}$$

en donde:

n_{crit} es la velocidad crítica del molino (seg^{-1})

D_i es el diámetro del rodillo (m)

$$n_{crit} = \frac{42.3}{\sqrt{.813}}$$

$$n_{crit} = 46.91 \text{ rad / seg}$$

En la tabla siguiente se dan valores prácticos para el porcentaje de la velocidad crítica:

TABLA 8: PORCENTAJE DE VELOCIDAD CRÍTICA

Grado de llenado	Tipo de placas de blindaje del molino	% de velocidad crítica K
Bajo	Blindaje con elementos	63 - 64 %
Alto	Blindaje liso	74 - 75 %

Dependiendo de la aplicación, las velocidades normales de operación de los molinos laminadores en la industria de la cerámica fluctúan actualmente entre 70 y 76 % de la crítica, pero para pequeña producción esta entre 65 y 72 %.

Entonces la velocidad de operación, según la fórmula del Apéndice D-2:

$$n = k * n_{crit}$$

$$n = 0.63 * 46.91$$

$$n = 29.55 \text{ rad/seg.}$$

Entonces para \emptyset del rodillo lento es 282.21 r.p.m.,

$$n = k * n_{crit}$$

$$n = 0.65 * 46.91$$

$$n = 30.5 \text{ rad/seg.}$$

\emptyset para rodillo rápido es 291.2 r.p.m., que para comodidad se trabaja con 280 y 290 r.p.m. Se debe tomar en cuenta que la fundición del volante debe:

Teóricamente, la velocidad de rotación de los rodillos puede ser tan elevada como se quiera, siempre que los rodillos tengan un ángulo de mordedura adecuado.

Cálculos de esfuerzos en volantes

Tenemos el esfuerzo de tensión en el borde de rotación, cuando la llanta incrementa la velocidad tiende a expandirse, esto causa un esfuerzo de tensión axial en el borde y también esfuerzo de tensión de los rayos:

$$\sigma_t = \frac{r_m^2 * rpm^2}{124400}$$

donde

rm: radio medio de la llanta

RPM: velocidad de rotación del volante

Entonces

$$\sigma_t = \frac{30^2 * 290^2}{124400}$$

$$\sigma_t = 608.45 \text{ psi}$$

Esto es 4.2 Mpa

El esfuerzo de flexión del borde esta dado

$$\sigma_b = \frac{r_m^2 * rpm^2}{6300 * n^2 * K_1}$$

donde

n: numero de rayos en el volante

K1: espesor para radio medio de la llanta

Seleccionamos $K_1 = 20\%$ y $n = 6$, de la Ref. No.12

$$\sigma_b = \frac{30^2 * 290^2}{6300 * 6^2 * 0.2}$$

$$\sigma_b = 1668.65 \text{ psi}$$

Esto es 11.5 Mpa que puede soportar.

El esfuerzo resultante en el borde de la llanta para el diseño de estas maquinas es:

$$\sigma_t = \frac{3}{4} \left(\frac{r_m^2 * rpm^2}{124400} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{r_m^2 * rpm^2}{6300 * 6^2 * 0.2} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{3}{4} \left(\frac{30^2 * 290^2}{124400} \right) + \frac{1}{4} \left(\frac{30^2 * 290^2}{6300 * 6^2 * 0.2} \right)$$

$$\sigma_t = 6.022 \text{ MPa}$$

Cálculo de la potencia requerida y selección del motor

El cálculo de la potencia del motor se trabajó tanto con la capacidad teórica de los rodillos y bandas.

Capacidad teórica y cálculo del ancho del rodillo.

La capacidad teórica de los rodillos es igual al peso de una cinta de la misma anchura que el largo de los rodillos, de espesor igual a la distancia entre estos, y de una longitud igual a la velocidad periférica de los rodillos.

Aplicamos la formula:

$$Q = 0.185 * D * N * w * d * s$$

En donde:

Q es la capacidad teórica (ton/hr)

D es el diámetro de los rodillos (m)

w es la anchura de los rodillos (m)

N es la velocidad del rodillo (r.p.m)

d es la mitad de la separación entre los rodillos (m)

s es el peso específico del material (arcilla)

Debido a que estima una producción de 20 ton/hr, requerimos de un producto mínimo de 1.6 mm entonces la mitad de la separación entre los rodillos es 0.8 mm, y con los demás datos previamente calculados y obtenidos, procedemos a obtener el ancho del rodillo,

$$20 = 0.185 * 0.813 * 290 * w * 0.0008 * 1880$$

$$w = 0.3048 \text{ m}$$

Con el dato obtenido (ancho del rodillo), procedemos a obtener la fuerza tangencial (F_t):

$$F_t = 628.4 \text{ N}$$

y la fuerza radial (F_n):

$$F_n = 483.4 \text{ N}$$

Selección de bandas

Debido a que es un trabajo medianamente pesado y que la potencia que se estima para este tipo de operaciones esta entre 11 kW a 37 kW (20 a 50 HP), para producciones entre 15 a 40 ton/hr, entonces se utilizara bandas de sección transversal en V, para tipo industrial.

Para determinar la selección de la banda, se procede a buscar en catalogo, para ver cual se ajusta mas a los requerimientos, según la potencia del motor, el diámetro de la polea impulsora, el diámetro de la polea impulsada, y la distancia entre centros. De la tabla E-1 se selecciono la banda tipo C, se estimo un diámetro 263.7 mm (10.38 pulg.), para la polea impulsora.

La relación de velocidad angular es

$$\frac{N_{entr.}}{N_{sal.}} = \frac{D_{entr.}}{D_{sal.}}$$

$$\frac{D_{entr.}}{D_{sal.}} = \frac{813}{264}$$

$$\frac{D_{entr.}}{D_{sal.}} = 3.08$$

Entonces calculamos las revoluciones para el rodillo lento que requiere nuestro motor:

$$\frac{N_{entr.}}{N_{sal.}} = 3.08$$

$$N_{entr.} = 280 * 3.0$$

$$N_{entr.} = 840 \text{ rpm}$$

Calculamos de nuevo el diámetro que debería tener la polea impulsada para el rodillo lento

$$D_{sal.} = 3 * 264$$

$$D_{sal.} = 791 \text{ mm}$$

Ahora calculamos las revoluciones para el rodillo rápido que requiere nuestro motor:

$$N_{entr.} = 290 * 3.0$$

$$N_{entr.} = 870 \text{ rpm}$$

En el mercado se encuentran motores de 850 a 900 RPM.

Entonces

$$\frac{N_{entr.}}{N_{sal.}} = \frac{850}{290}$$

$$\frac{N_{entr.}}{N_{sal.}} = 2.9$$

Calculamos de nuevo el diámetro que debería tener la polea impulsada para el rodillo rápido

$$D_{sal.} = 2.9 * 264$$

$$D_{sal.} = 765.6 \text{ mm}$$

Utilizando la ecuación (17-13) de Shigley, se halla la longitud de paso o efectiva (L_p) dada en pulgadas:

$$L_p = 2 * C + 1.57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 * C}$$

donde

C es la distancia entre centros

D diámetro de paso de la polea impulsada

d diámetro de paso de la polea motriz

La distancia entre centros se selecciona tentativamente 80.9 pulg esto es 2054.86 mm

$$L_p = 2 * 80.9 + 1.57(10.38 + 31.5) + \frac{(31.5 - 10.38)^2}{4 * 80.9}$$

$$L_p = 239 \text{ pulg}$$

El tamaño estándar o normal más próximo, es C240, se toma de la referencia No.13, si la banda tiene una longitud de paso 242.9 pulg.

Para el otro rodillo la distancia entre centros se selecciona tomando como referencia al primero a 48.83 pulg. que es 1240.26 mm.

$$L_p = 2 * 48.83 + 1.57(10.38 + 30.4) + \frac{(30.4 - 10.38)^2}{4 * 48.83}$$

$$L_p = 163.73 \text{ pulg}$$

Se requiere una banda C173.

De la referencia No.7, interpolando, obtenemos el factor de corrección de la longitud igual a 1.02, para el C173, 1.07 para el C240.

Calculamos la velocidad de desplazamiento de la banda dada en pies/min:

$$V = \frac{\pi * D * N}{12}$$

en donde

D es diámetro de la polea del motor (pulg.)

N (RPM) de salida del motor.

$$V = \frac{\pi * 10.38 * 870}{12}$$

$$V = 2364.21 \text{ pies / min.}$$

De la referencia No.7, interpolando, la potencia nominal de la banda es 16 HP.

Cálculo el ángulo de contacto para la polea:

$$\phi = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * C} \right)$$

donde

D es el diámetro de la polea mayor (pulg)

d es el diámetro de la polea menor (pulg)

C distancia entre centros (pulg)

$$\phi = \Pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{31.5 - 10.38}{2 * 80.9} \right)$$

$$\phi = 165^\circ$$

De la referencia No.13 a los valores de corrección para el ángulo de contacto, y se tiene 0.9512 para el C173, 0.91 para C240. En consecuencia, la potencia corregida por banda es:

$$H = 0.9512 * 1.02 * 16$$

$$H = 15.52$$

$$H = 0.91 * 1.07 * 16$$

$$H = 15.57$$

Calculamos la potencia del motor:

$$P = T * \omega$$

$$P = F * R * \omega$$

donde

F es la fuerza máxima (N)

R es el radio de la polea impulsada (m)

ω es velocidad angular (rad/seg)

$$P = 628.4 * 0.3956 * 89.012$$

$$P = 22128W$$

en HP es 29.63

Y así el número de bandas requerido es

$$N = \frac{29.63}{15.52} \qquad N = \frac{29.63}{15.57}$$

$$N = 1.91 \qquad N = 1.90$$

Por consiguiente dos bandas de sección C será para cada polea.

Cálculo y diseño del árbol

Aquí aplicaremos la ecuación para un eje sometido a flexión con inversiones y torsión constante, el esfuerzo crítico por flexión se localizará en un punto de concentración de esfuerzo.

La formula del diámetro es:

$$d = \left\{ \frac{32 * N_f}{\Pi} \left[\left(\frac{K_f * M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{K_{fs} * T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

donde

N_f : factor de seguridad

K_f : factor de concentración de esfuerzos

M_a : momento principal o de mayor magnitud

S_e : limite corregido de resistencia a la fatiga

K_{fs} : factor de concentración de esfuerzos en fatiga bajo torsión

T_m : torque medio

S_y : Limite de resistencia a la tensión

Limite corregido de resistencia en fatiga (S_e): para obtener este valor, se selecciona un acero adecuado con valores de conocidos.

Se escogió un acero comercial de denominación 1020 rolado en frío, con valores de resistencia:

$$S_y = 393 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 469 \text{ MPa}$$

$$S_{e_2} = 0.504 * S_{ut}$$

$$S_{e_2} = 234.5 \text{ MPa}$$

Este ultimo valor es él limite original de resistencia en fatiga, para obtener el valor corregido se utiliza la formula:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_{e_2}$$

en donde

K_a : factor de acabado superficial

K_b : factor de tamaño

K_c : factor de carga

K_d : factor de temperatura

K_e : efectos diversos

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Para acero maquinado, $a = 4.51$; $b = -0.265$

$$K_a = 4.51(469)^{-0.265}$$

$$K_a = 0.883$$

$K_b = 1$, $K_c = 1$, $K_d = 1$, $K_e = 1$

$$S_e = 0.883 * 1 * 1 * 1 * 1 * 234.5$$

$$S_e = 207.2 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad (N_f): valor recomendado para este tipo de maquinaria esta entre 2.5 a 6, tomaremos un valor de 4.7.

Factor de concentración de esfuerzos en fatiga bajo flexión (K_f): se obtiene por la formula:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

donde

q : factor de sensibilidad del material para muesca, que en la referencia se obtiene un valor de 0.785.

K_t : factor geométrico de concentración de esfuerzos en flexión, (tabla 18) cuyo valor para este caso es 1.67, entonces:

$$K_f = 1 + 0.785(1.67 - 1)$$

$$K_f = 1.526$$

Factor de concentración de esfuerzos en fatiga bajo flexión (K_{fs}) se obtiene mediante la fórmula:

$$K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1)$$

donde

q : factor de sensibilidad del material para muesca, que en la referencia se obtiene un valor de 1.

K_{ts} : factor de concentración de esfuerzos en torsión, cuyo valor para este caso es 1.45.

$$K_{fs} = 1 + 1(1.45 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.45$$

Momento principal (M_a): Para obtener este valor, se hace un diagrama de cuerpo libre del eje, con los diagramas de fuerza cortante y momento flector.

La constante elástica del material es $E = 207 \text{ GPa}$,

Se considera al eje sometido a una fuerza puntual (peso de la polea) en su extremo en voladizo y una fuerza uniformemente distribuida entre sus apoyos.

De la referencia No. 7, se obtuvo el peso de la polea de dos canales 73.7 lb que es aproximadamente 327.7 N, esto representa la carga puntual en voladizo.

El peso del volante es aproximadamente 12.112.5 N, ocupando una longitud de 305 mm.

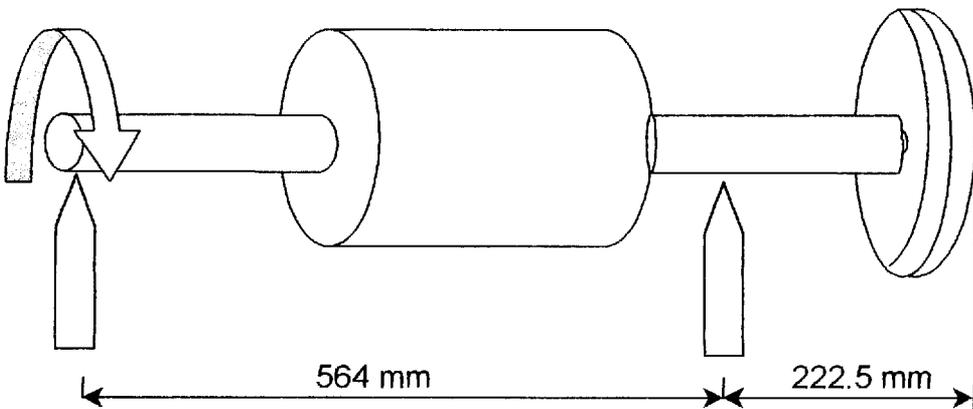


Fig.3.4.2.a: Eje con cargas

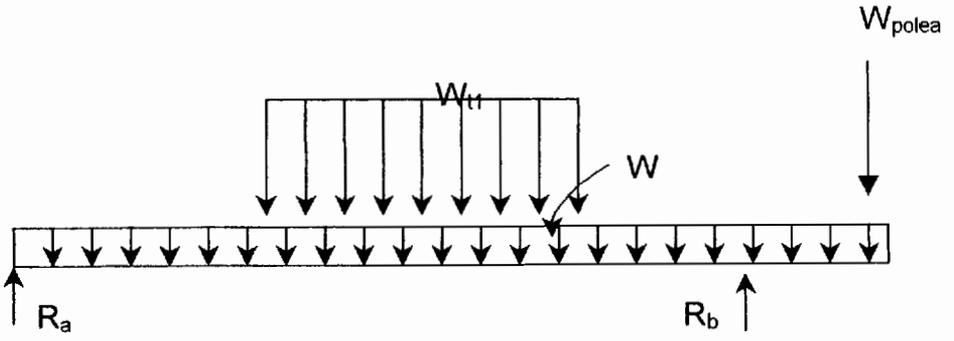


Fig.3.4.2.b: Diagrama de fuerzas

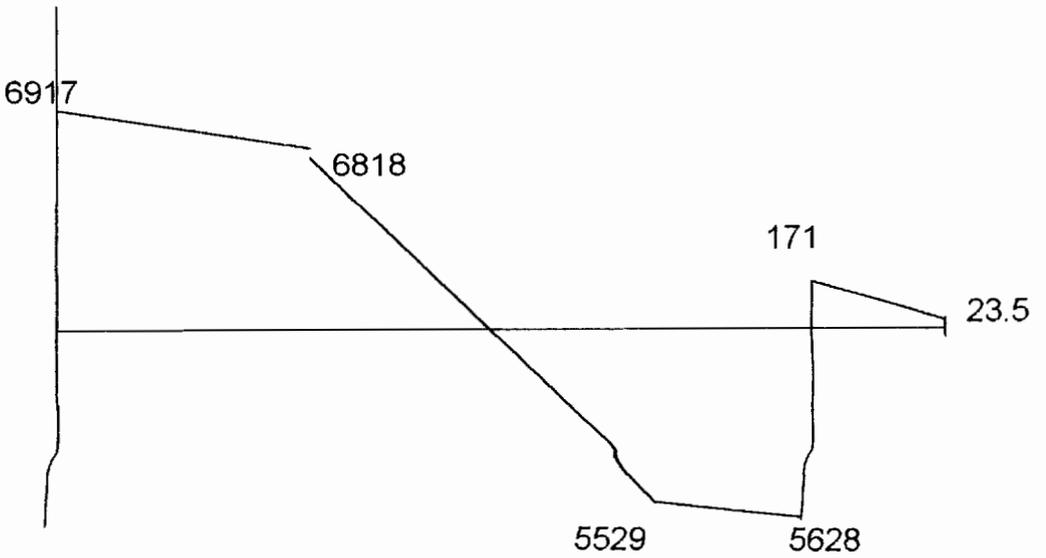


Fig.3.4.2.c: Diagrama de esfuerzo cortante

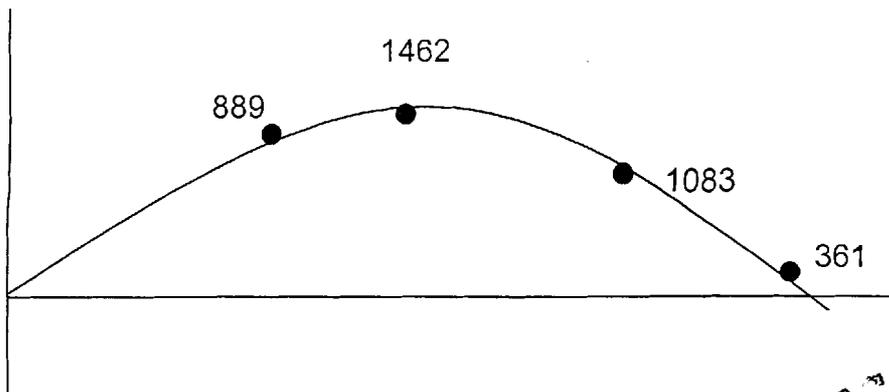


Fig.3.4.2.d: Diagrama momento flector



El peso total del eje es aproximadamente 603.8 N, ahora tenemos que distribuirlo a lo largo de todo el eje, en la parte simplemente apoyada 432.7 N y otra parte en voladizo 171.1 N

De la sumaria de fuerzas y momentos se obtiene las reacciones

$$\sum M_a = 0 \text{ y } \sum R = 0$$

$$-W_{polea} * 756.4 - W_{volante} * 282 - W_{t1} * 282 + R_b * 564 - W_{t2} * 675.5 = 0$$

$$R_a - W_{polea} - W_{volante} + R_b - W_{t2} - W_{t1} = 0$$

Obtenemos las reacciones

$$R_b = 6917 \text{ N}$$

$$R_a = 5800 \text{ N}$$

En el diagrama, el momento máximo ocurre según el gráfico, su

magnitud es

$$M_a = 1462 N$$

Como se ha obtenido todos los datos, se los reemplaza en la formula:

$$d = \left\{ \frac{32 * 9}{\Pi} \left[\left(\frac{1.53 * 1462}{207.2 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{1.45 * 255.5}{393 \times 10^6} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 101 mm$$

Para comodidad de poder conseguir eje y rodamientos en el mercado lo aproximamos a 110 mm.

Selección de los rodamientos

El tipo de rodamiento escogido es el de bolas autocentrales porque tienen la capacidad de soportar tanto cargas axiales como radiales; debido a la rudeza del trabajo el eje tiende a descentrarse y con este tipo de rodamiento se logra su autolineamiento.

Tomando en consideración que los gránulos más duros de arcilla tienen un esfuerzo de compresión de 14915 N/m² (0.3030 Kg/cm²), el rodamiento autoalineamiento debe soportar esa carga.

La duración o vida útil de un cojinete en particular se define como el número total de revoluciones, o el número de horas de giro a una velocidad constante dada, de operación del cojinete para que se desarrolle el tipo de falla considerado.

$$L_{10h} = \frac{10000}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^a$$

Ahora del catalogo SKF, tenemos la formula:

$$f_l = \frac{C}{P} f_n$$

En donde

$$f_l = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}}$$

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

Para este tipo de maquinas el número de horas que se requiere es de 20.000 horas y el número de revoluciones por minuto será de 300.

Tomando de referencia el catalogo SKF, $f_n = 0.481$ y $f_l = 1.59$, y despejando obtenemos $C/P = 3.33$, la carga equivalente dinámica es $P = 12.112,5$ N, lo que significa que la carga dinámica es $C = 40.334,63$ N, si vemos en el catalogo esta carga dinámica esta dentro del rango para este tipo de

rodamiento. Véase Tabla 9, mostrando sus características para diferentes diámetros.

TABLA 9: CARACTERÍSTICAS DE LOS RODAMIENTOS

Dimensiones principales (mm)				Capacidad básica de carga (N)		números de rodamientos
d	D	B	Peso (kg)	dinámica	Estática	Tipo
90	160	30	2.5	57.200	32.000	1218
95	170	32	3.1	63.700	36.500	1219
100	180	34	3.7	68.900	40.500	1220
105	190	36	4.35	74.100	44.000	1221
110	200	38	5.15	88.400	52.000	1222

La vida de este rodamiento se la estima considerando que es una maquinaria que va a estar soportando carga con choques moderados y que la vida útil del equipo es larga considerando un trabajo mayor a ocho horas diarias. Ver Apéndice. Tabla F.

Montura-soporte del rodamiento

Los soportes de rodamiento son sencillos y baratos, y son obtenidos por las dimensiones requeridas a través del diámetro de flecha y del diámetro exterior del rodamiento, Fig. 3.4.3.a

El espesor de la pared proporcional al área necesaria del rodamiento, puede ser aumentada sin variar su costo.

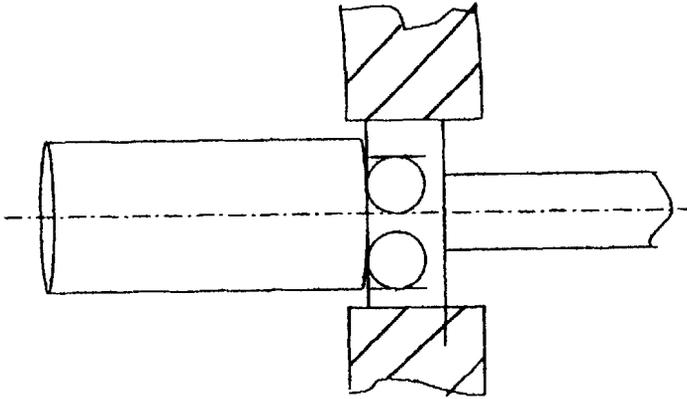


Figura 3.4.3.a: Soportes de rodadura para eje de flecha

De manera adicional los soportes de rodamiento, pueden conectarse a un collar por medio de soldadura. Este tipo de anillos están diseñados para este tipo de cargas.

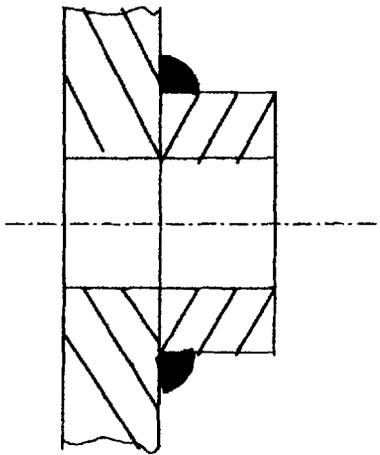


Figura 3.4.3.b: Soportes de rodadura soldadura en filete

Su construcción es también sencilla y de costo bajo y puede ser adheridos por soldadura en filete, Fig. 3.4.3.b. El diseño sin embargo tiene sus limitaciones. En extremas ocasiones es necesario localizar la posición apropiada, sino se tiene cuidado con los alineamientos, la posibilidad de llegar a tener cuñas en el árbol, creando esfuerzos en el collar por el lado de la pared.

Ahora si utilizamos soldadura por el lado de la pared, proveniente de la superficie continua del rodamiento, Fig. 3.4.3.c Con soldadura en filete dentro y fuera, los soportes de rodadura tienen esfuerzos y resistencias grandes a la flexión.

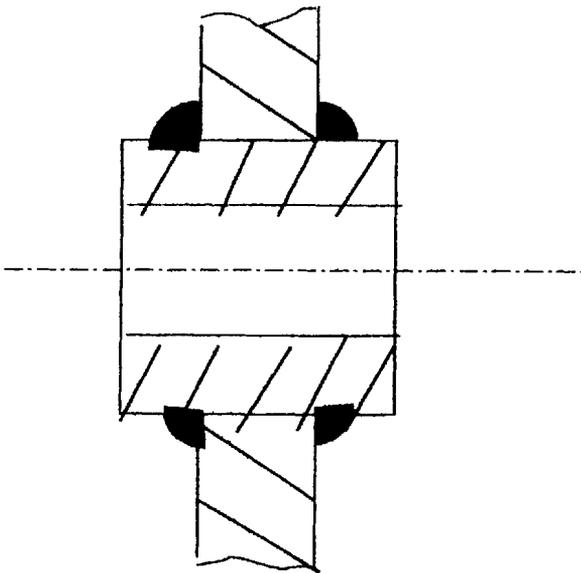


Figura 3.4.3.c Montura sobre el rodamiento

Puede ser insertada de diferentes maneras, tanto para placas de acero, como para barras sólidas o tuberías.

Divisiones de la cubierta para el rodamiento

Los soportes necesariamente localizados son divididos en una transmisión o en otras cubiertas pueden ser hechas de diversas formas, Fig. 3.4.3.d

Para rodamientos pequeños, la división de los soportes de rodamientos, puede ser fabricado para la placa curva y la soldadura en filete para la cubierta. El soporte puede ser hecho de acero para tubería dividido longitudinalmente. Las secciones intrincadas requieren de sellos de aceites y lubricación.

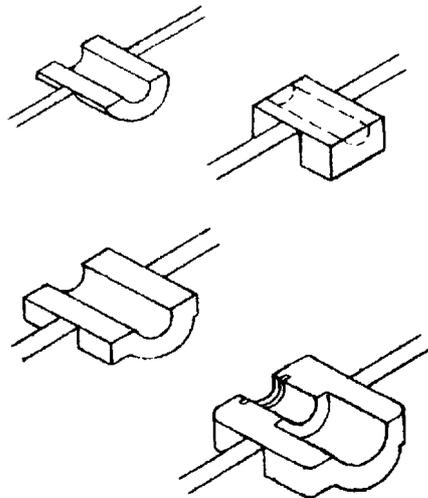


Figura 3.4.3.d: Divisiones de la cubierta para el rodamiento

3.4.2 Cálculo y diseño de tolvas de llenado

En la operación de molienda para arcilla resulta una gran molestia la cantidad de polvo que se genera en la trituración; este polvo es muy fino, cuando está seco, por lo que fácilmente se adhiere en las paredes y se propaga en el ambiente lo cual provocaría una afección a la salud de los operadores de la planta.

Con el propósito de evitarlo se ha considerado un sistema de tres trampas de polvo, pudiendo almacenar antes de la operación 0.063 m^3 de material que actúa como filtro.

Los acoples de este sistema de tolvas permiten un sellado hermético sin escapes de polvo lográndose un trabajo limpio.

Para una mejor comprensión véase plano de ensamble.

3.4.3 Cálculo y diseño de las tolvas de vaciado

Cuando la arcilla pasa por los rodillos se efectúa la molienda.

Los gránulos resultantes saltan al azar y generan gran cantidad de polvo, es necesario un colector que permita que todos los gránulos se orienten hacia la parte central inferior y no existan fugas de polvos.

Para solucionar este tipo de inconvenientes se ha optado por emplear una tolva (1) que dirige los gránulos hacia la parte central inferior; con la compuerta que debe estar cerrada mientras la molienda se esta realizando se logra que la tolva se llene y no haya fuga de polvos, una vez que la tolva (2) se haya llenado se abre la compuerta dejando caer los gránulos a un vagón, se cierra y se repite la operación. Ver apéndices Planos.

3.5 Cálculo y diseño del sistema de calibración para rodillos

Para poder determinar un adecuado sistema de calibración hubo que calcular como si tuviéramos un resorte helicoidal sometido a compresión. Entonces la fuerza radial (F_n) se la considero para este calculo, pero esta fuerza es una de las componentes, que tiende a ejercer presión en el momento que la partícula entra al rodillo, por multiplicamos por un factor de 5 a F_n , de manera que el resorte se retraiga bajo una carga mayor que 5 veces F_n . Entonces $F_r = 5 * 483.4 = 2417N$ con una longitud de operación 332 mm, a la que debe ejercerse, y $F_n = 483.4N$, y una longitud de 357 mm. Entonces calculamos la razón del resorte:

$$k = \frac{F_r - F_n}{L_n - L_r} = \frac{2417 - 483.4}{357 - 332} = 77344 \text{ N / m}$$

Entonces la longitud libre :

$$L_f = 357 + \frac{F_r}{k} = 357 + \frac{2417}{77.34} = 388.25 \text{ mm}$$

Estimo un diámetro medio de 81 mm, teniendo en mente que el diámetro medio será mas pequeño que el diámetro externo, mas grande que el diámetro interior, aplicando criterio, especifico una tensión de diseño inicial, considerando el tipo de servicio, en este problema considero el servicio promedio, para un acero ASTM 231, una tensión de diseño nominal sería 760 MPa, esto es un estimado, el valor de K varia poco a lo largo de índices de resortes, $K = 1.17$

$$d = \left[\frac{8 * K * F_r * D}{\Pi * \tau_d} \right]^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{8 * 77344 * 2417 * 81}{\Pi * 760 \times 10^6} \right]^{\frac{1}{3}} = 9.15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Selecciono un diámetro estándar de las tablas, el cual para este problema es de 9.2 mm el tamaño de alambre estándar, tiene una tensión de diseño de 768 MPa, luego determino la tensión tolerable para el material con ese diámetro, Los valores reales de K y C, el índice del resorte y factor de Wahl

$$C = \frac{D}{d} = \frac{81}{9.2} = 8.8$$

$$K = \frac{4C' - 1}{4C' - 4} + \frac{0.615}{C'} = \frac{4(8.8) - 1}{4(8.8) - 4} + \frac{0.615}{8.8} = 1.16$$

calculo la tensión real que se espera debido a la fuerza de operación

$$\tau_d = \frac{8 * K * F_r * D}{\Pi * d^3} = \frac{8 * 1.16 * 2417 * 0.081}{\Pi(0.0092)^3} = 742 \text{ MPa}$$

Calculo el numero de espiras activas

$$N_a = \frac{G * d}{8 * k * C^3} = \frac{77.2 \times 10^9 * 0.0092}{8 * 77334 * 8.8^3} = 5.86$$

Ahora la longitud comprimido

$$L_s = d(N_a + 2) = 0.0092(5.86 + 2) = 0.072 \text{ m}$$

Entonces la fuerza en longitud comprimido es

$$F_s = k(L_f - L_s) = 77.34(388.0 - 72.3) = 2436.8 \text{ N}$$

La tensión o esfuerzo es directamente proporcional a la fuerza, entonces el esfuerzo en longitud estando totalmente comprimido es:

$$\tau_s = \tau_d \left(\frac{F_s}{F_r} \right) = 742 \times 10^6 \left(\frac{2436.8}{2417} \right) = 748 \text{ MPa}$$

Cuando se compara con la tensión máxima permisible, 956 MPa, es segura y el resorte no presentara cedencia cuando se comprima hasta su longitud estando totalmente comprimida. El sistema que se acerca a estos requerimientos es el de palanca y tornillo sin fin conectados a un tren de deslizamiento, a su vez presionados con un resorte como se muestra en apéndice planos.

3.6 Diseño de ensamble

Véase apéndice Planos

3.7 Diseño detallado para fabricación

Véase apéndice Planos

3.8 Consideraciones Ambientales

Polvo

El polvo constituye un riesgo latente, sobre todo para los obreros de las fábricas de cerámica fina y de construcción.

Mientras que en el medio húmedo de los procesos plásticos no se produce apenas polvo, en la preparación, modelado y secado se adoptan numerosas medidas, entre ellas la limpieza continua de las plantas, como las de hormigón y a veces barnizado de los suelos, captaciones de polvo eficaces, lijado en húmedo de la porcelana y productos sanitarios, a fin de limitar en lo posible el desprendimiento de polvo.

Los valores límite exigidos para el polvo de cuarzo se sitúan en un valor MAK (concentración máxima en el puesto de trabajo) de 0,15 mg/Nm³ de polvo fino, debiendo haber en el aire sólo 4 mg/Nm³ de polvo fino que contenga más de 1 % en peso de cuarzo.

Conforme a estudios realizados, el contenido de polvo total no debe sobrepasar 50 mg/Nm³ en el gas de escape a un flujo másico superior a 0,5 kg/h, ni 150 mg/Nm³ a un flujo másico de hasta 0,5 kg/h inclusive.

Ruido

En la mayor parte de los procesos de producción de la industria cerámica hay una emisión de ruido que puede sobrepasar 85 dB(A).

En la extracción de materias primas pueden producirse breves impactos sonoros a causa de explosiones, y las consiguientes sacudidas, que a veces causan graves molestias a la vecindad. Pero mediante métodos de detonación adecuados se pueden reducir considerablemente tales molestias por ruido. Las máquinas utilizadas hoy para la extracción cuentan con una insonorización que satisface las exigencias de la protección contra el ruido.

En la preparación se originan ruidos molestos producidos, por ejemplo, por quebrantadoras de impacto y por molinos para la trituración de materiales duros. Estas instalaciones de trituración y las de preparación a ellas asociadas se pueden encapsular o insonorizar para proteger el entorno frente a efectos sonoros graves.

En las fases de trabajo de secado y cocción es preciso usar ventiladores, que pueden producir niveles de ruido superiores a 85 dB. Estas fuentes sonoras han de instalarse fuera de los puestos de trabajo permanentes. En procesos de fabricación especiales de cerámica de construcción y fina, por ejemplo, en la escisión de baldosas hendidas y en el uso de planchas, bastidores o paletas metálicas destinadas a sistemas de transporte internos, surgen problemas de ruido típicos. Adoptando medidas adecuadas, por ejemplo, encapsulación de puestos de trabajo permanentes y amortiguación de los sistemas de transporte móviles con caucho, pueden reducirse tales cargas sonoras.

Para evitar las molestias por ruido, los valores de inmisión de las zonas habitadas próximas a los talleres de producción cerámicos no deben sobrepasar 50 - 60 dB(A) de día y 35 - 45 dB(A) de noche. Las fábricas de cerámica deben estar a una distancia mínima de 500 m de las zonas urbanizadas.

Suelo

Actualmente se utilizan con frecuencia las minas de arcilla - una vez finalizada la extracción, dada su relativamente escasa permeabilidad al agua, para el almacenamiento de productos de desecho de todo

tipo. El deterioro del suelo por erosiones y acumulaciones de agua no puede evitarse en las minas antiguas, pues normalmente en la época de explotación la conducción de agua no se hacían de acuerdo con las normas actuales de protección ecológica.

El escombro de las fábricas de cerámica apenas contamina el suelo, puesto que las piezas rotas durante la producción se vuelven a utilizar en la propia fabricación o en otras fábricas de cerámica, y sólo con una gestión irracional del trabajo pueden originarse escombreras.

Agua

Para la comprobación de los valores especificados es preciso montar laboratorios de fábrica.

A fin de no superar los valores vigentes, el agua brotada en la zona de la mina debe pasar por tanques de reposo, si fuera necesario añadiendo agentes de sedimentación. El agua superficial surgida en el recinto de la mina ha de evacuarse por separado.

El consumo de agua fresca es reducido en las fábricas de cerámica modernas, ya que el agua requerida para el proceso pasa al circuito interno. Una parte del agua utilizada se desprende como vapor de

agua durante la preparación de los granulados en la torre de rociado, o durante el secado de los productos.

Las aguas residuales resultantes contienen arcilla, fundentes y otras materias primas cerámicas, que se precipitan y retornan al proceso a través del circuito interno.

El agua sanitaria producida en las fábricas de cerámica fina y de construcción debe ser conducida y eliminada por separado.

Puesto de trabajo

En zonas de trabajo especiales, el personal de las plantas cerámicas puede correr riesgos de salud o sufrir molestias debido al ruido, al polvo y al calor.

Es preciso proteger los puestos de trabajo permanentes en zona de fuentes sonoras intensas adoptando medidas de insonorización. Si a pesar de estas medidas el nivel es de 85 dB(A), hay que disponer de protector de oídos, que se llevará obligatoriamente a partir de 90 dB(A) para impedir los consiguientes daños al oído. También durante una corta permanencia en zonas con ruido intenso tiene que llevarse protector de oídos.

En fábricas de cerámica fina, es indispensable, además de las medidas técnicas, una revisión médica periódica, con la que se puedan descubrir a tiempo alteraciones fibróticas (alteraciones de los alvéolos pulmonares) para preservar al operario de daños permanentes, cambiándole de puesto de trabajo.

Ecosistemas

Dado que el consumo de materias primas por fábrica no es muy grande, las zonas de explotación aisladas suelen ser también relativamente pequeñas. En cualquier mina de arcilla aparecen arcillas muy variadas. Mediante procedimientos de preparación eficaces, en los últimos años se ha conseguido también utilizar arcillas de calidad mediana, habiéndose podido reducir así la carga de escombros en la zona de las minas de arcilla.

La infraestructura comprende, por ejemplo, suministro y posibilidades de vivienda para personal femenino y masculino, sistemas y volumen de tráfico, industrialización existente y planificada de la zona.

Dado que la incidencia sobre el medio ambiente no se limita a la zona de la fábrica, los grupos de población afectados, sobre todo mujeres y niños, deben tener derecho a atención médica.

Resulta difícil una recuperación (reciclado) de bienes de consumo de cerámica fina después del uso en, o dentro de, edificios o en el hogar, dada la diversidad y pequeña cantidad existente en los respectivos lugares de consumo. Por el contrario, en la industria de materiales refractarios, sobre todo en las fábricas de acero, más del 30% de los productos refractarios se someten a recuperación.

3.9 Diseño final y simulación en computadora aplicando “Working Model 2D”

Para poder tener una idea de como seria nuestro sistema de molienda hemos dado paso a la utilización del programa de simulación y análisis working model 2D, donde explicaremos algunas secuencias en tiempos reales de las fuerzas, torques, posiciones, velocidades, aceleraciones, energía cinética, etc.

El programa es una herramienta de gran ayuda ya que nos permite construir modelos cinemáticas de mecanismos, a darle movimiento a estos mecanismos, y lo mas importante permite determinar valores de cualquier elemento construido, además también nos permite tentativamente darle propiedades a cada uno de los elementos construidos tales como la posición, ángulo de rotación, material.

Para simular el sistema de molienda aplicaremos el programa de Working model 2D, en donde nos dará valores aproximados a los estimados en el calculo de la maquina.

Aplicando working model 2D se ha construido el sistema de molienda:

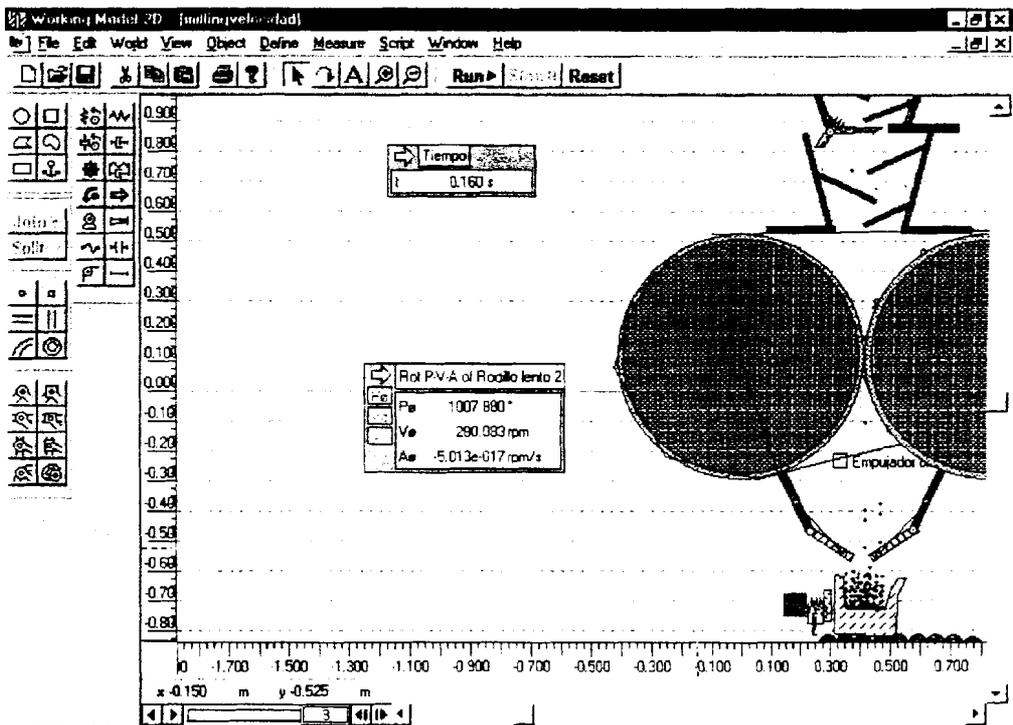


Figura 3.9.1: Velocidad del rodillo lento en el programa WM 2D

Para el rodillo lento, este gira con aproximadamente 280 RPM la llanta reciclada con diámetro de 813 mm y anchura 305 mm. Es armado con resortes para pasar los objetos de gran dureza evitando

daño a la máquina. Mantiene la tensión de las bandas por medio de una base con ajuste automático.

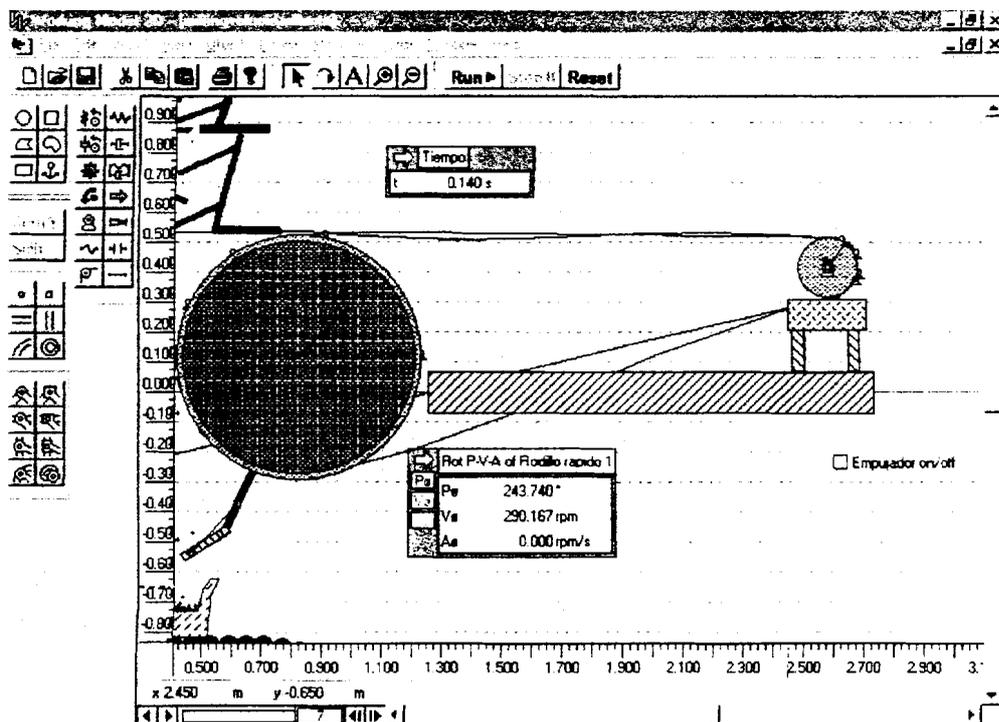


Figura 3.9.2: Velocidad del rodillo rápido en el programa WM 2D

Para rodillo rápido, gira aproximadamente 290 RPM, la llanta es reciclada. Este rodillo es fijo y no es armado con resortes.

Se ajusta el espacio entre los rodillos por medio de un tornillo de ajuste, con un tope cada 0.254 mm, con su propio reten.

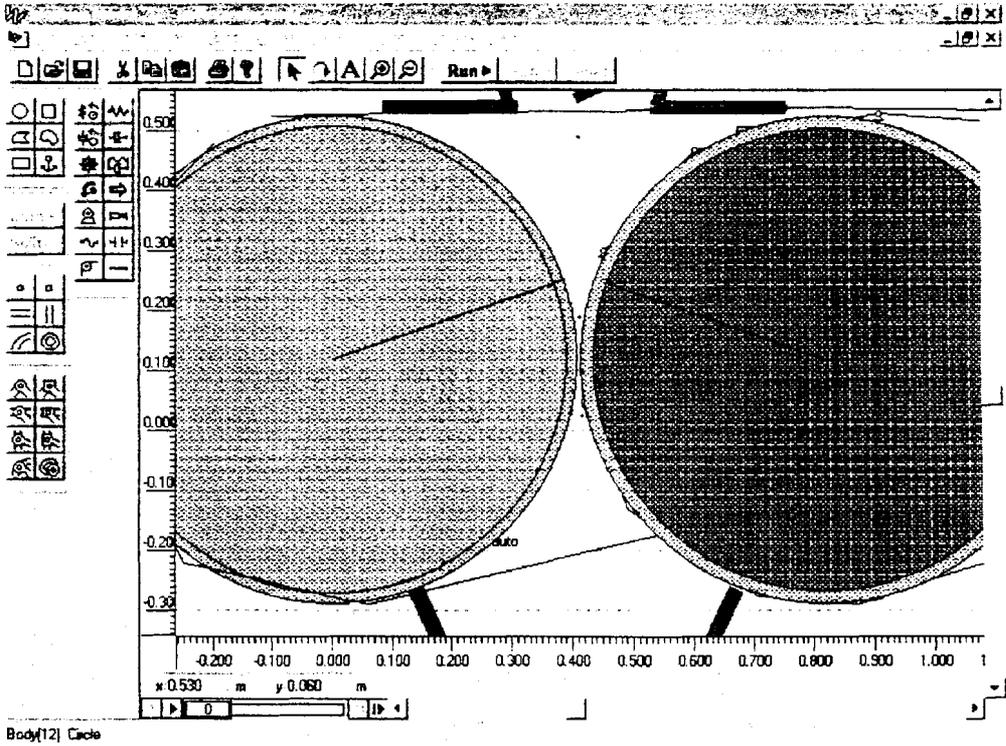


Figura 3.9.3: Espaciado entre rodillos en el programa WM 2D

Esta diferencia de velocidades asiste quebrando y limpiando las llantas, ayudándose se esta forma, sin la necesidad de asistirla cada vez y cuando.

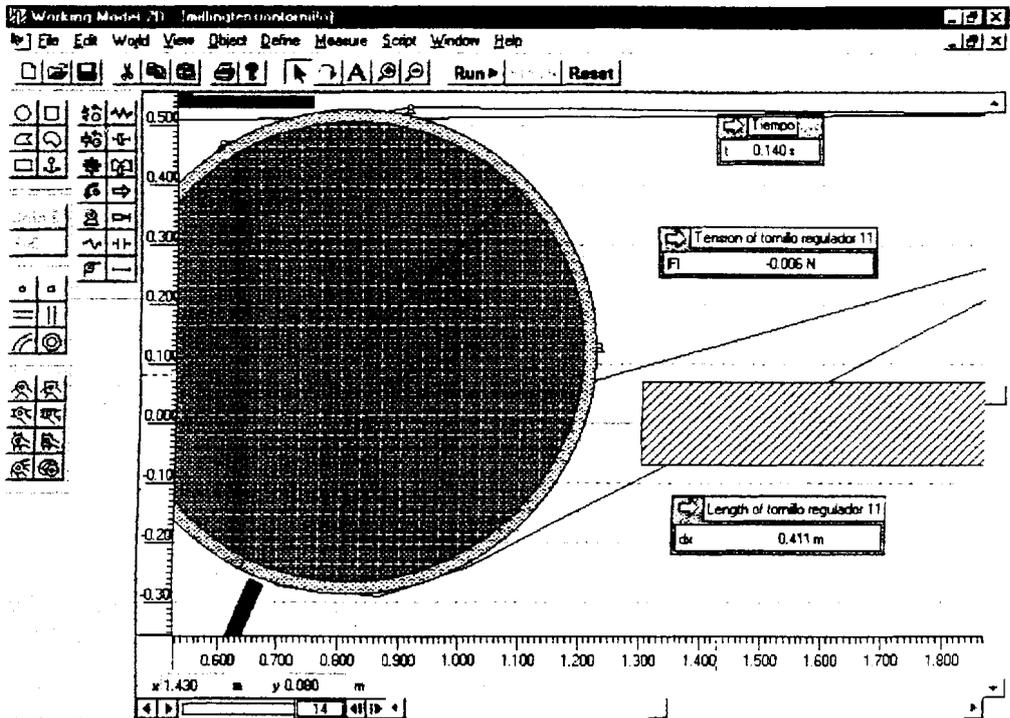


Figura 3.9.4: Longitud del tornillo regulador en el programa WM 2D

Podemos observar que el diseño de resortes helicoidales de compresión, consiste en especificar la geometría del resorte para que opere bajo límites específicas de carga y deflexión, en este caso la longitud se mantiene constante debido a la gran resistencia que posee k , la razón del resorte, además esto reduce vibración en el rodillo rápido cuando esta en movimiento.

En la tapa de la tolva primaria hemos colocado un resorte el cual dará paso al material, constantemente vaya cayendo.

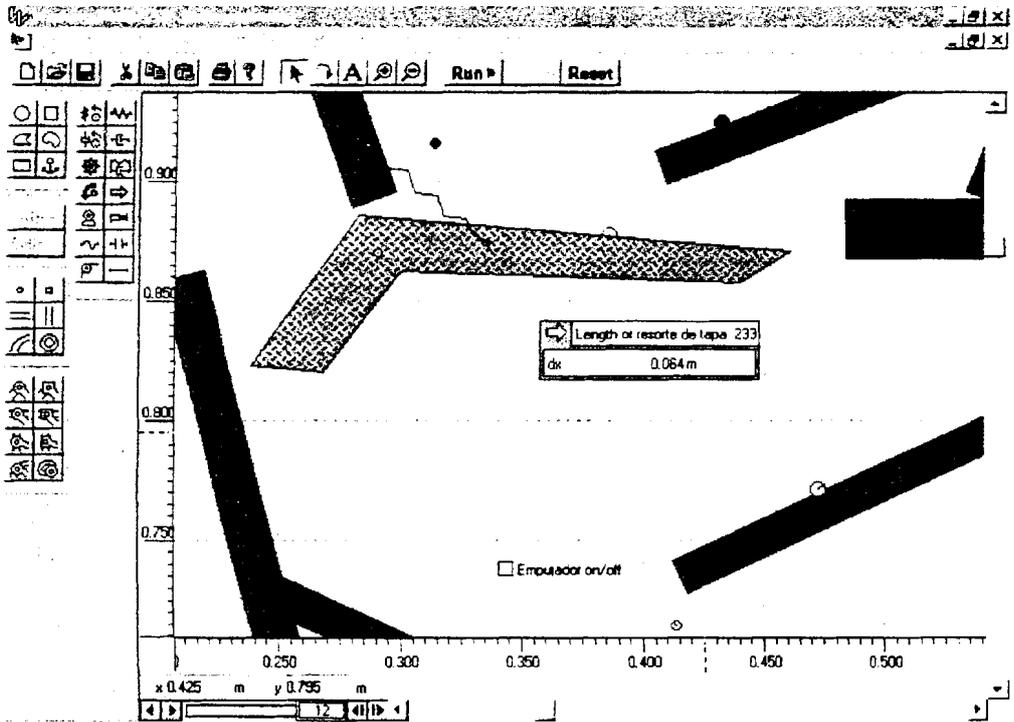


Figura 3.9.5: Tapa de la tolva primaria en el programa WM 2D

La tapa esta diseñada para que cuando vaya cayendo el material no haya fuga de polvo que es un problema del que ya hemos hablado, esto seria una de las mejoras al sistema, incluyendo los deflectores que posee cada tolva.

En la tolva de vaciado un sistema de compuertas que se abre en el momento que se enciende la maquina.

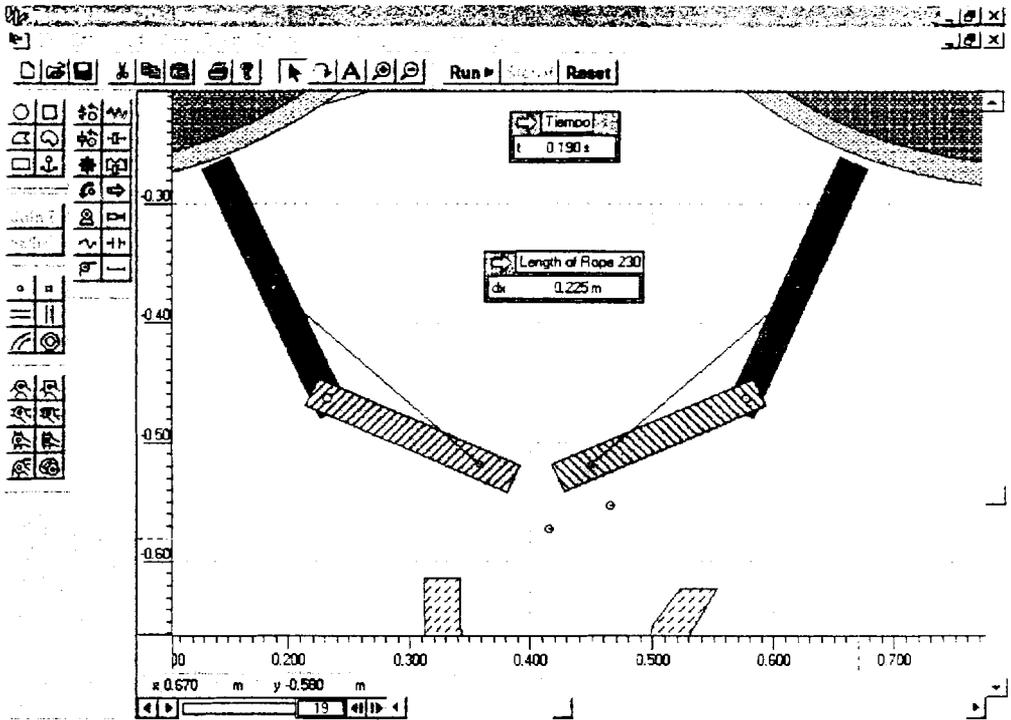


Figura 3.9.6: Tolva de vaciado en el programa WM 2D

El motor eléctrico se utiliza para proporcionar la energía motriz al sistema de molienda, tiene el torque necesario para realizar este tipo de labores (2.350 N.m), nos dará la potencia requerida en los cálculos realizados (22.5 Kw.), como se indicó en los planos tiene un tipo de armazón 286T, con una velocidad rotacional de 850 R.P.M difícil encontrar en los mercados nacionales, bajo ciertas especificaciones.

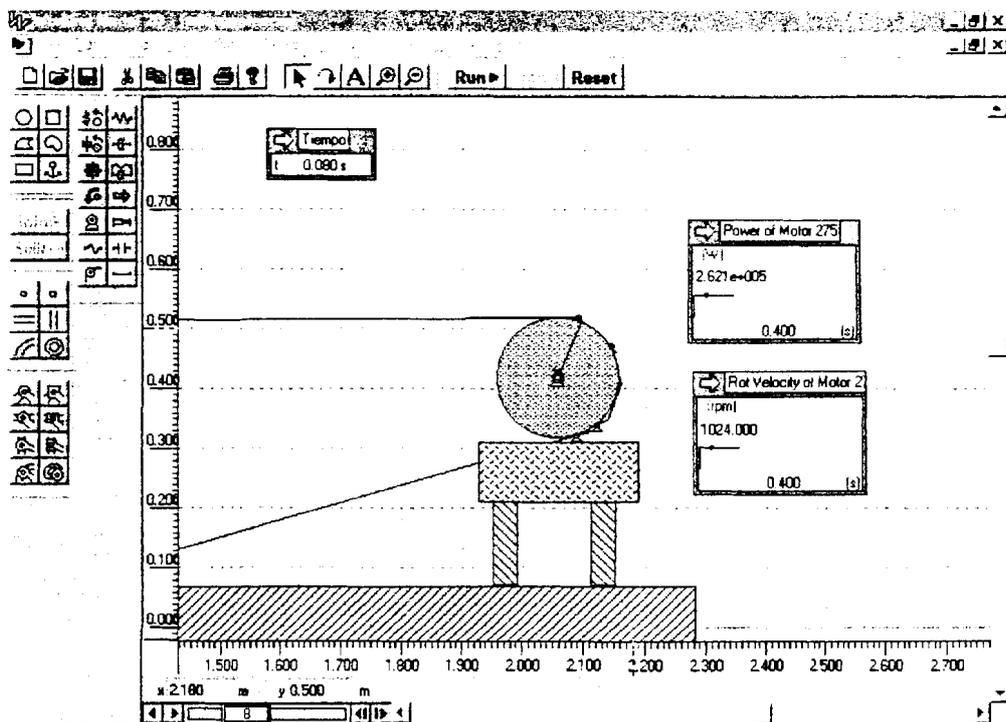


Figura 3.9.7: Potencia del motor en el programa WM 2D

La curva que presenta la potencia del motor podemos observar tiempo que parte existe un impulso hasta alcanzar su potencia requerida.

En adición hemos puesto un sistema de envío o impulsor de material procesado por medio de un transportador, este estará apoyado sobre rodillos de acero en donde a través de un impulso corto de fuerza que se manipulo en el programa.

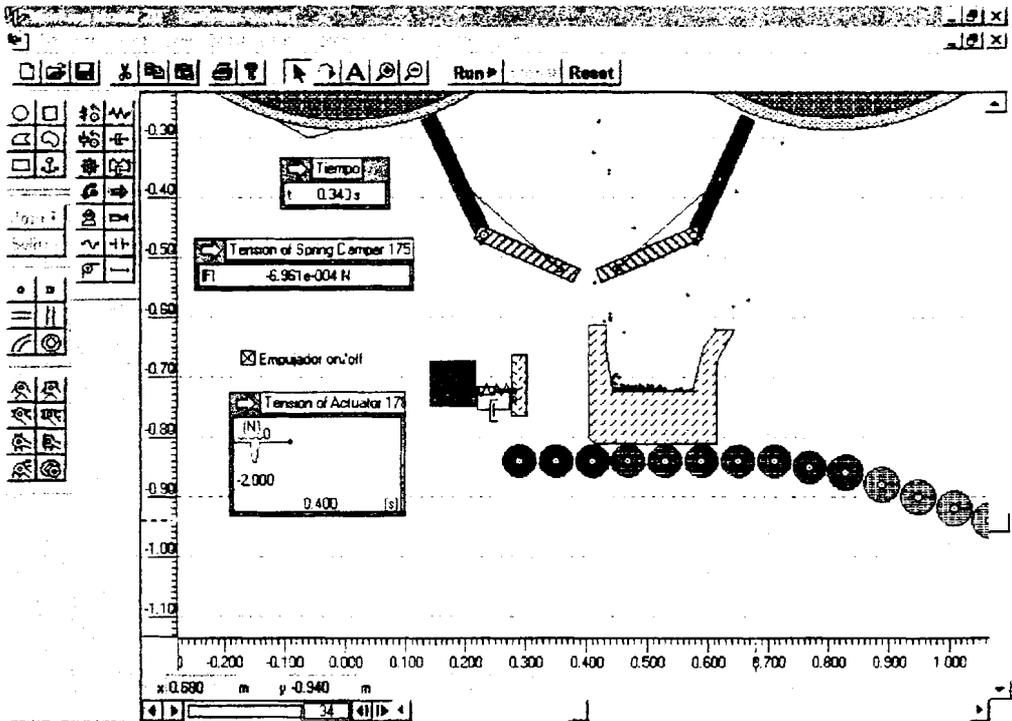


Figura 3.9.8: Tensión del actuador en el programa WM 2D

Ahora en el sistema resorte-amortiguador, como hemos aprendido, el mecanismo de amortiguación viscoso provee una fuerza de amortiguación que es proporcional a la velocidad de la masa.

También se puede observar en la figura 3.9.7, la posición del transportador, y el peso del transportador cuando esta en reposo, en el capítulo 5, se analizará las reacciones que se producen en los rodillos de acero el momento que el transportador empieza a cargarse.

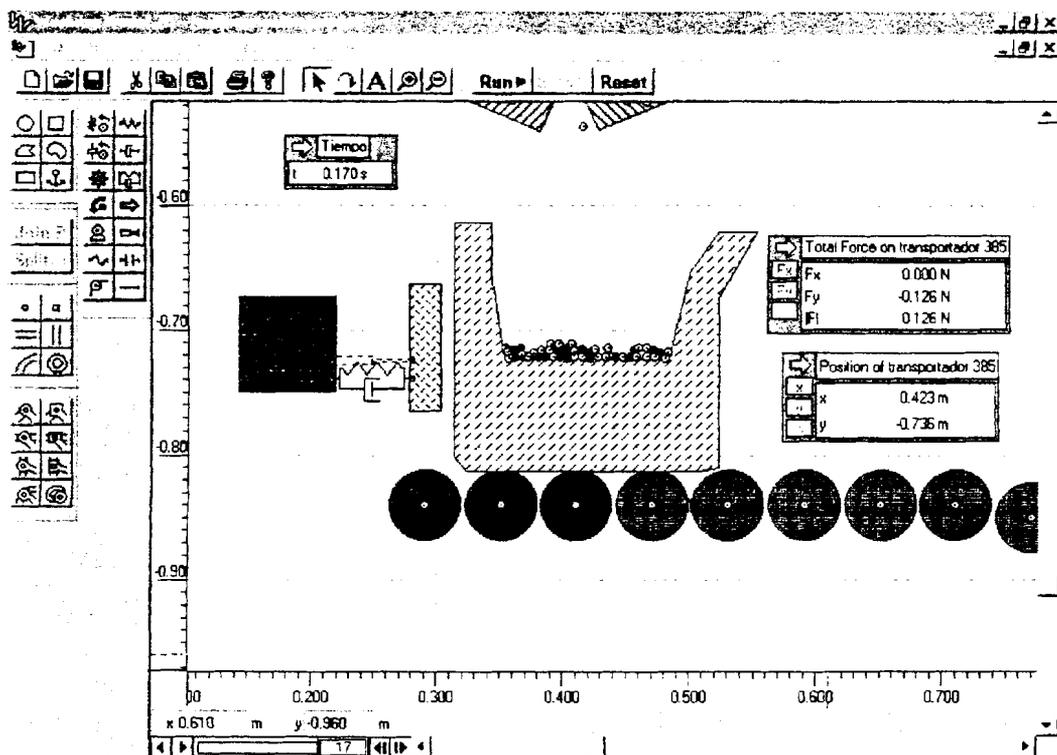


Figura 3.9.9: Posición y peso del transportador

El sistema se mejora con esto, si se lo implementará, ayudaría la parte del sistema de transportación, ya que se había pensado utilizar carretas maniobradas por obreros.

CAPITULO 4

4. ANALISIS DE COSTOS

4.1 Costo de materiales

En la selección de materiales se pudo encontrar todo en los diferentes mercados de nuestra ciudad, ya que lo que no podía comprar en las diferentes concesionarias que abastecen, había que construirlas como es el caso de las poleas, la fundición del soporte para los rodamientos, también se utilizó material reciclado como es el caso de las llantas o rodillos del sistema.

El costo del sistema de laminación para cerámica involucra los siguientes rubros: costo de operación que incluye el mantenimiento, costo del equipo de control de calidad.

A continuación presentamos detalladamente el costo de materiales de cada uno de las partes constitutivas de la maquina:

TABLA 10: COSTOS DE MATERIALES

ITEM	DESIGNACION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO DOLARES	COSTO TOTAL DOLARES
1	Plancha de acero Dimensión 1200x2400x3 mm	1 1/2	U	0.53/Kg	53.62
2	Polea de 264 mm 5 canales (motriz)	1	U	182.47	182.47
3	Pernos de 9 mm	8	U	0.11	0.88
4	Viga I-12 de ala ancha 120x120x7	1 1/2	U	0.57/Kg	98.11
5	Perfil en U-12 normal 120x55x7	1	U	0.44/Kg	7.21
6	Tornillo regulador	5	U	100	100
7	Pernos de 6 mm	4	U	0.03	0.12
8	Recubrimiento de llantas dia.762 mm	2	U	2/kg	392.68
9	Rastrillo Eje dia.20 mmx749 mm	1	M	1.5/kg	2.75
10	Flecha diámetro 110 mmx1111.5 mm	1	U	2/Kg	164.91
11	Rodamientos 1222 110x200x38	4	U	426.36	1705.44
12	Maquinado	1	U	20	20

13	Correas en V C-112	2	U	30	60
14	Pernos de 20 mm	4	U	0.47	1.88
15	Correas en V C-173	2	U	57.64	115.28
16	Polea de 772.8 mm	1	U	215	215
17	Polea de 800.4 mm	1	U	260	260
18	Pasador	2	U	0.40	0.80
19	Perno de 12 mm	8	U	0.23	1.84
20	Motor eléctrico de 22kW 460 V	1	U	600	600
21	Cable duplex No. 14 AWG	7.62 (25 ft)	M	7.06	7.06
22	Selector de on – off	1	U	5.10	5.10
23	Transporte del motor	1	U	150	150
24	Enchufe	2	U	0.20	0.40
25	Aros de camión- tractor de 762 mm	2	U	20	40
26	Soporte para rodamiento	4	U	20	80
27	Pernos de 8 mm	15	U	0.10	1.50
28	Electrodos para soldadura 6011		M	2.04/kg	2.04
29	Pintura	1	U	2.09	2.09

4.2 Costo de construcción mecánica

El costo de fabricación se implementaría mano de obra directa de un tornero, un soldador, un fundidor, y un trabajador en general, debido a que la maquina no es compleja y el tiempo de fabricación dependería solamente del motor, ya que como sabemos hay que pedirlo fuera del país. Además en la fundición cuando se hace el recubrimiento, es relativamente caro ya que esto lo hacen muy pocos fundidores, en este caso se recurriría a INTRAMET.

El obrero soldador, su labor fue la de soldar las partes de la carcasa y las tolvas de la maquina, la base de soporte y los anillos para el soporte de rodamientos.

El obrero tornero realizo trabajos finales para el acabado de pieza, tales como árbol, poleas, cilindro.

El trabajador en general que se encarga del ensamble y montajes de piezas.

El costo de la mano de obra de los tres individuos es de:

Soldador:	3 dólares por hora
Tornero:	3 dólares por hora

Trabajador: 2 dólares por hora

El costo total por hora de mano de obra es de: 8 dólares por hora

El tiempo estimado de fabricación de una máquina laminadora para arcilla es:

Tiempo de adquisición de materiales:5 días

Tiempo de montaje y elaboración de piezas:3 días

Tiempo de pruebas:1 día

Tiempo total de fabricación.....9 días

El tiempo que se tendría trabajando a los obreros es de 2 días al tornero y al soldador de 4 horas de dedicación cada uno, y de 1 día de 8 horas de dedicación a un trabajador.

El costo total de mano de obra es de: 64 dólares

4.3 Estimación de la inversión total

La inversión que se estima es relativamente baja en comparación a una maquina salida de la fabrica, en donde pude hacer averiguaciones estas maquinas tienen un costo bastante alto. Se necesita de 40.000 a 80.000 dólares norteamericanos, según la ton/hr que se requiera para la industria cerámica.

Los costos de operación se refieren a: la depreciación de la máquina, la depreciación de las partes más expuestas al trabajo y su reemplazo, costos de mantenimiento anual. Las consideraciones de estos costos conducen a la conclusión de que el mantenimiento debe ser minimizado si los materiales han sido elegidos correctamente.

El costo de construcción mecánica se lo incluye como un estimado referencial, además la tesis es solamente análisis del sistema.

Algunas de las partes constitutivas de la laminadora para arcilla, tales como motor, bandas, árbol de transmisión, etc, fueron cotizados en distintas casas comerciales importantes de la localidad, lo que garantiza repuestos.

En nuestra estimación es la siguiente:

COSTO DE MATERIALES:	4,305.18 dólares
COSTO DE MANO DE OBRA:	64 dólares
DIRECCION TECNICA: (10%)	430.51 dólares
COSTO TOTAL:	4,799.7 dólares

La maquina laminadora para arcilla, tiene un costo estimado de 4,800 dólares lo cual representa un costo elevado para una familia de

artesanos, pero la maquina puede ser comprada por unas diez familias.

El costo se reduce a 480 dólares por familia.

En el apéndice de la tabla B podemos observar la producción mensual de empresa ALFADOMUS del año 2000, entonces por consiguiente se puede hacer un estimado la maquina laminadora para arcilla debería producir 20 ton/hr, suponiendo que se trabajaría unas ocho horas diarias se obtendría:

$$20 \text{ ton/hr} \times 8 \text{ hr} = 160 \text{ ton}$$

Para producir ladrillos comunes, los mas pedidos en construcciones son 6 x 10 x 20 cm, lo que da: 1200 cm³ por ladrillo, la densidad de este material es de 1.88 gr/cm³, el resultado:

$$\begin{aligned} 1200 \text{ gr} \times 1.88 \text{ gr/cm}^3 &= 2\,256 \text{ gr} \\ 2256 \text{ gr} \times 1 \text{ kg/gr} &= 2.256 \text{ kg} \\ 2.256 \text{ kg} \times 1 \text{ ton/907 kg} &= 0.0024873 \text{ ton} \end{aligned}$$

Esto seria 0.0024873 ton/ladrillo, y a razón de 120 ton/día nos da:

$$\frac{160 \text{ ton/dia}}{0.0024873 \text{ ton/ladrillo}} = 64\,327 \text{ ladrillos/dia}$$

$$64\,327 \text{ ladrillos/dia} \times 26 \text{ dias} = 1\,672\,496 \text{ ladrillos / mensual}$$

El costo de un ladrillo corriente o utilizado en construcciones es de \$0.10 por unidad en el mercado y no de muy buena calidad, para

poder entrar en mercado tendríamos que ponerlo a \$0.05 superando al anterior al mejorar sus características físicas.

$$1\ 672\ 496 \text{ ladrillos} / \text{ mensual} \times 0.05 \text{ dolares} / \text{ ladrillos} = 83\ 624.8 \text{ dolares}$$

Ahora si en la realidad se pudiera producir tal cantidad de ladrillos la maquina pudiera ser pagada y obtener ganancias, pero la realidad es otra estas familias llegarían a lo mucho 6000 ladrillos/semana con el nuevo sistema, se podría producir 4000 tejas planas/semana de 15x30, da 450 cm³, y su masa 846 gr., esto es 0.0009327 ton/unidad a \$0.06/unidad, además el polvo de ladrillo también puede ser vendido por saco, 45.45 kg., esto es 0.050115 ton/saco a \$1.0/saco, siendo el objetivo para obtener mejor ganancias.

6000 ladrillos/semana	(14.92 ton/sem.)	\$ 300.00
4000 tejas/semana	(3.73 ton/sem.)	\$ 240.00
polvo de ladrillos	(581.34 ton/sem.)	\$ 581.34
		\$1 121.34

$1\ 121.34 / 10 = 112.13$ dólares por familia/semanal, de los cuales \$48.06 por familia x 10 familias = 480.6 dólares/mensual, lo que se estima que alrededor de 10 meses deben de haber terminado de pagar la maquina.

CAPITULO 5

5. ANALISIS DE RESULTADOS

Análisis de consumo de energía

Un requisito práctico es que consuma la menor cantidad posible de potencia para la trituración o moliendas deseadas.

El rendimiento de la molienda varía entre 6 y 25 por ciento, basado en medidas caloríficas, se han usado aparatos de caída de pesos para obtener relaciones de la superficie producida al trabajo consumido en condiciones ideales y para comparar con ellas los resultados de las maquinas comerciales; asi tambien se ha llegado obtener rendimientos de 25 a 60 por ciento.

El consumo específico de energía para un molino de rodillos es de 2 – 3 kWh/t.

Costo de operación

Los costos de operación de una máquina como este tipo son bajos, ya que el mantenimiento es mínimo, en lo referente a mantenimiento de bandas, rodamientos, limpieza del motor, y lo que tiene un costo elevado es el desgaste del recubrimiento de las llantas, y por supuesto el consumo de energía eléctrica. Se puede abaratar costos teniendo una fuente de arcilla cercana.

Análisis del sistema de molienda a través del programa de Working model 2D

La operación de reducción de tamaños consiste en esencia en la inmediata desintegración mecánica por tanto es disminuir el tamaño de los terrones, esta operación de desintegración no consiste solamente en obtener pequeños trozos a partir de grandes, en cuyo caso la efectividad de la operación se mediría por la finura del material obtenido, sino que también persigue la consecución de un producto que posea un determinado tamaño granular, comprendido entre límites preestablecidos. Para ello hay que provocar la fractura o quebrantamiento de los mismos, mediante la aplicación de presiones; los materiales sólidos poseen estructuras cristalinas, es decir que sus átomos se hallan distribuidos en cristales según patrones geométricos definidos que se repiten en el seno de su masa, según los cuales su

presión aplicada deberá ser lo suficiente para provocar la fractura, pero el deslizamiento a lo largo de los mismos produce una deformación y no la fractura del material, se denomina al fenómeno: "deformación plástica".

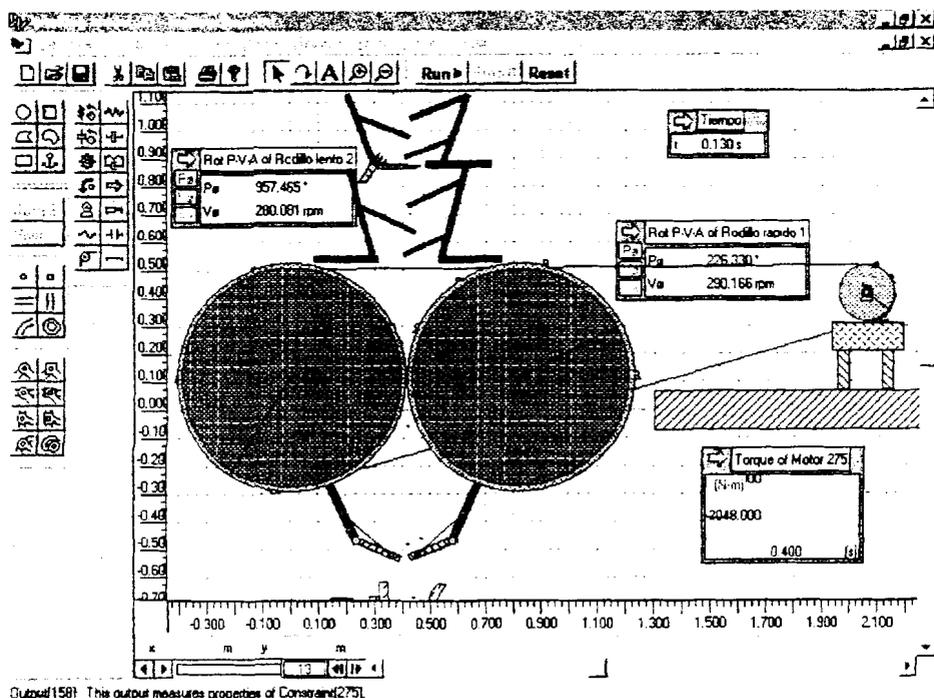


Figura 5.1: Torque del motor en el programa WM 2D

Debido al torque que produce el motor (2.350 N.m), obtendremos las presiones necesarias para producir el cizallamiento entre partícula y la superficie de los rodillos, las reacciones que actúan en los rodillos en el momento que entran las partículas, son también constantes y no varían.

Aquí se encuentra el tornillo regulador, en donde debido a la fuerza de resistencia del resorte difícilmente este entrara en resonancia.

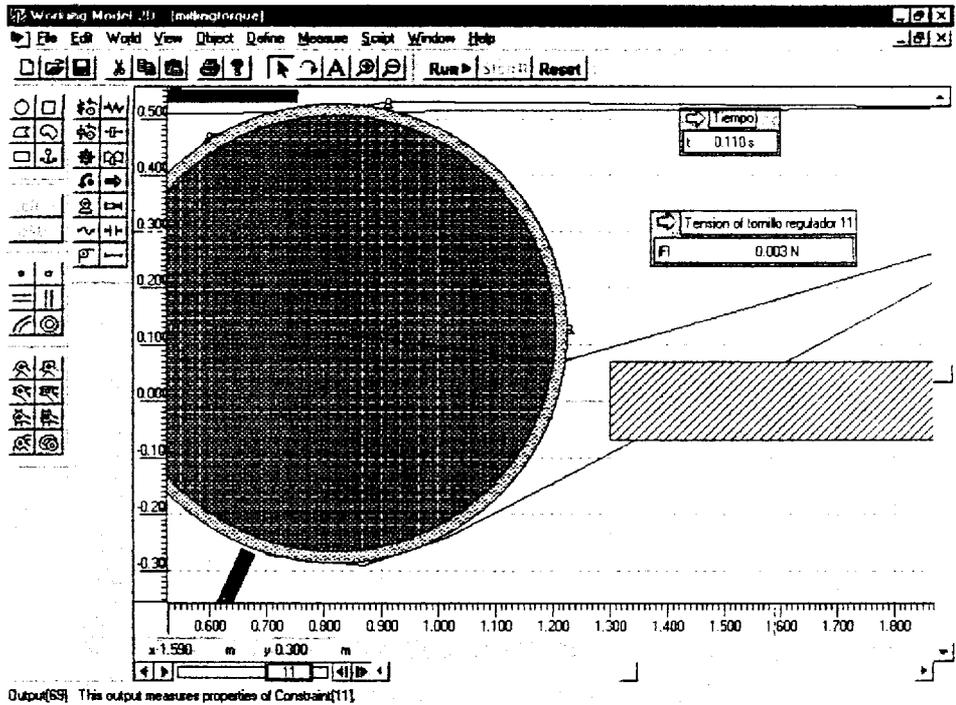


Figura 5.2: Tensión del tornillo regulador en el programa WM 2D

En la tapa de la tolva primaria podemos observar la curva de fuerza de resistencia del resorte, varia de acuerdo como va cayendo el material.

Podemos observar que se forma una curva muy parecida a la de movimiento armónico simple, esto debido a que el movimiento es simétrico alrededor de la posición de equilibrio, y también la razón del resorte es relativamente baja.

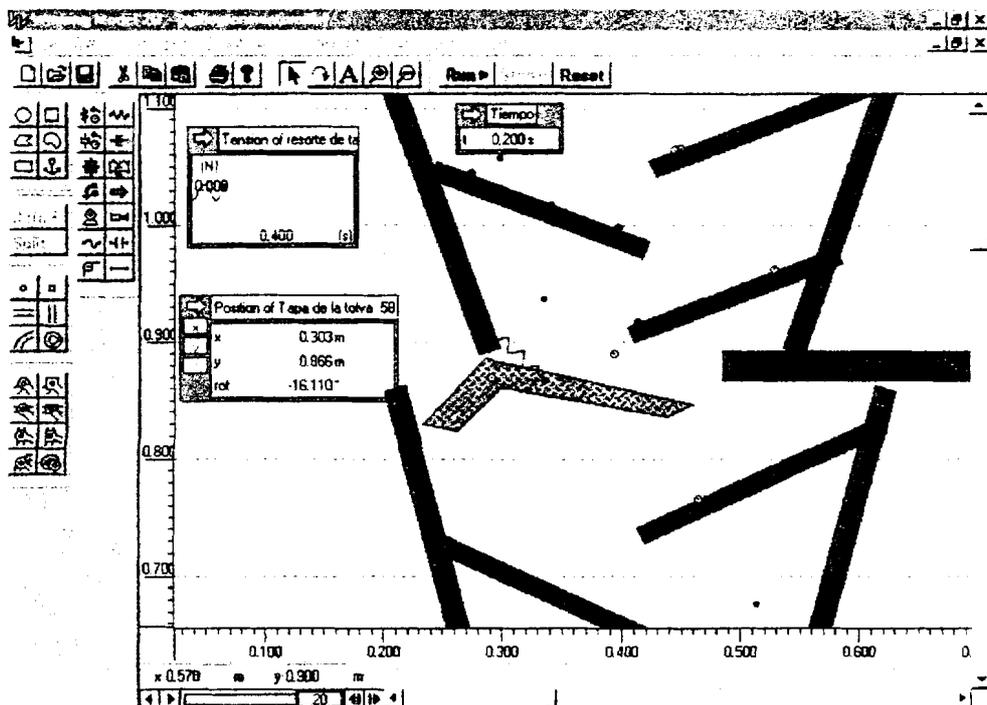


Figura 5.3: Tapa de tolva fuerza de resorte en el programa WM 2D

El lanzador de material se puede observar en el gráfico el momento que ocurre el impulso, después de que empieza a desplazar el brazo del actuador, esto se da un periodo muy corto de tiempo, por eso da paso a este movimiento, como se explico en el capítulo 3.

También se obtiene las reacciones de los rodillos, después de la descarga del material, también el posicionamiento del transportador.

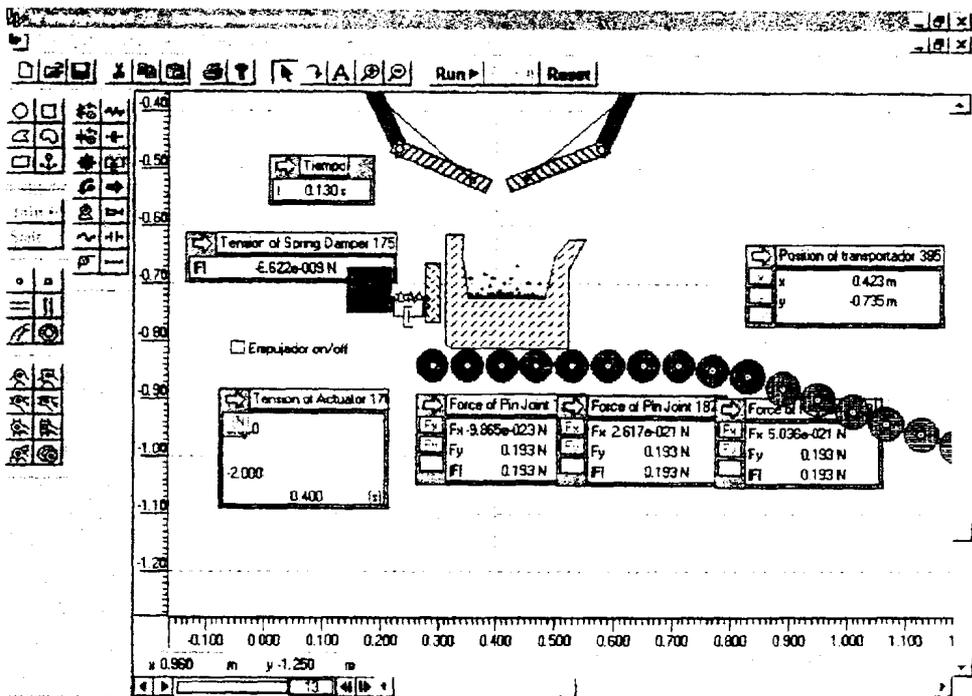


Figura 5.4: Reacciones en los rodillos en reposo

Las reacciones en los rodillos del transportador donde se asienta este, podemos ver que se mantienen constantes, lo que significa que las cargas están uniformemente distribuidas.

También se puede observar, debido a esta en reposo las reacciones en la dirección x, son pequeñas en comparación con la dirección en y.

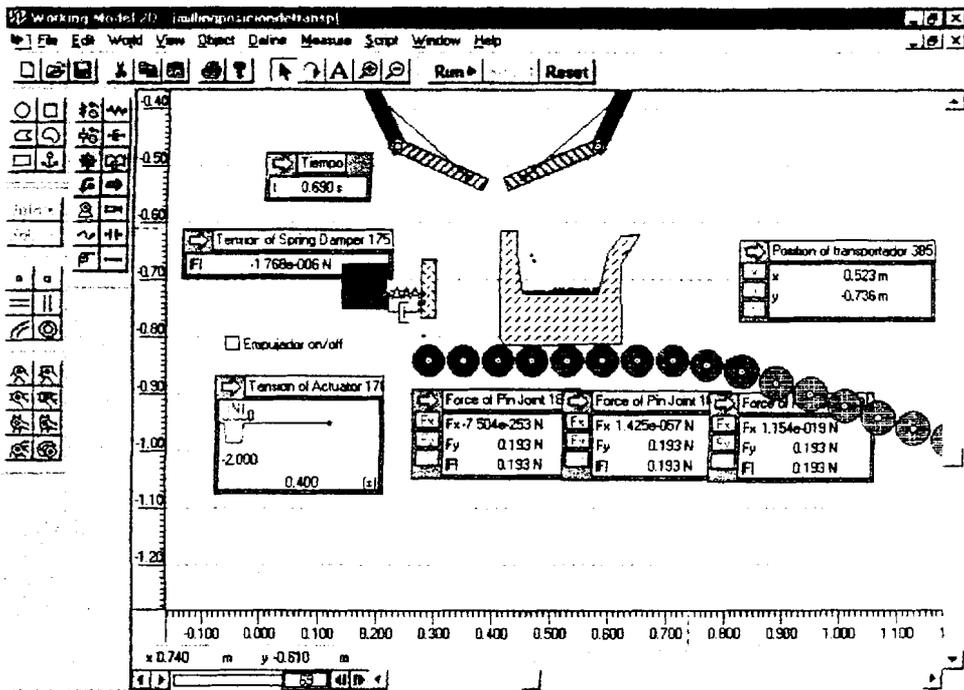


Figura 5.5: Reacciones en los rodillos en movimiento.

Las reacciones tienden a variar constantemente se vaya llenando el transportador, tomando en cuenta que el transportador tendrá una velocidad uniformemente variada.

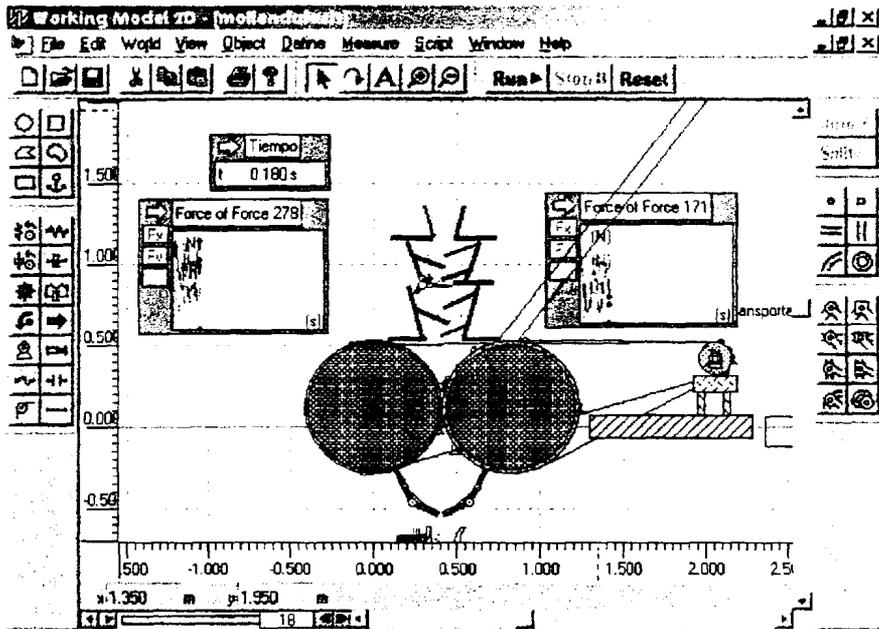


Figura 5.6: Fuerzas en los rodillos

Aquí en la grafica se puede apreciar como se producen las fuerzas, en el instante que el flujo de partículas entran a los rodillos, las fuerzas tienden a formar ondas senoidales de corto periodo, esto ocurre solo en el momento que el flujo de masa entra en contacto con los rodillos.

Análisis del sistema de molienda (Alternativas)

También se considero la oportunidad de poder sustituir el motor eléctrico por un motor de combustión interna, pero hubo dos problemas que se explicaran a continuación.

Para poder arrancar nuestro sistema necesita de una alta potencia, aproximadamente 30 HP (22.7 KW), entonces el único mercado que podía abastecer de un servicio seguro es CATERPILLAR, pero solamente están distribuyendo de 64 HP en adelante.

Ahora el otro problema es que por ser motores de combustión interna vienen con velocidades de rotación altas (RPM), 3600 RPM entonces como necesitamos mínimo 900 RPM la cuarta parte de lo que nos ofrece este motor, necesitamos acoplar una caja de reducción para poder trabajar, y esto implica un costo adicional bastante alto a nuestro diseño.

El sistema para 15 ton/hr lo que hice fue trabajar con un diámetro diferente (750 mm), habiendo realizado los debidos cálculos de potencia, se necesita un motor de 22 HP (16.3 KW), el ancho del rodillo es de 0.248 m, se obtuvo dos bandas por polea.

El sistema para 10 ton/hr se pudo obtener buenos resultados con diámetros de 600 y 500 mm.

Para el primer caso se necesitó una potencia de 18 HP (13 KW), el ancho del rodillo es de 0.210 m, se obtuvo dos bandas por polea.

Para el segundo caso se necesitó una potencia de 13 HP (9.1 KW), el ancho del rodillo es de 0.196 m, a diferencia de los otros se obtuvo tres bandas por polea.

El sistema para 5 ton/hr, con un diámetro (500 mm), la potencia previamente calculada, se necesita un motor de 9 HP (6.9 KW), el ancho del rodillo es de 0.196 m, en el cálculo de las bandas este sistema fue antieconómico, debido a que necesitamos poleas de diámetro mayor al del rodillo y con cuatro canales, además bandas tipo A, por lo general no son muy recomendadas para tipo de trabajo, por lo que la descartamos en nuestro análisis.

También se intentó realizar diseños con otros diámetros, pero se tuvo algunos inconvenientes, con respecto a las bandas y poleas, además de su velocidad de rotación (RPM), siendo antieconómico, teniendo presente estas características que influyen en el diseño.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Siendo la molienda uno de los procesos más importantes en la producción de cerámica, se decidió realizar el análisis y diseño de una máquina laminadora con el objeto de incrementar y mejorar la calidad de la producción artesanal de cerámica en nuestro país.

2. La producción de 20 Toneladas por hora de arcilla, resultaba un arduo trabajo de muchas semanas, tal vez meses, sin los niveles de calidad exigidos, por lo tanto no era adecuado diseñar una maquina laminadora manual. Por lo tanto se decidió seleccionar un motor eléctrico con la potencia requerida en los cálculos de diseño.

3. Se diseñó una máquina de bajo costo, utilizando material reciclado (en lo posible) para disminuir el impacto ambiental, y tomando en cuenta la facilidad y seguridad en su operación.

4. Con el objeto de determinar las cargas mecánicas a las que iba a estar sometida la máquina, se hicieron pruebas experimentales para determinar las propiedades de corte de los materiales arcillosos a ser molidos. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ciencias de la Tierra.

5. Se realizó la simulación de la máquina laminadora usando el software Working Model 2D, con el objeto de comprobar los cálculos teóricos realizados y también poder visualizar mejor la operación de la misma.

RECOMENDACIONES

1. La eficiencia del laminador depende del mantenimiento de la superficie de los rodillos, la cual debe tener su recubrimiento rectificado, el tiempo de vida útil del recubrimiento de los aros, depende del número de horas que se de uso, por lo general, si se utiliza entre 6 a 8 horas diarias, estos deben ser nuevamente rectificadas en un año y medio.
2. Cuando las bandas de transmisión son nuevas, debe vigilarse su tensión durante las 24 horas de operación, ya que durante este periodo ocurre el asentamiento y estiramiento inicial. También un templado excesivo en las bandas ocasionará un sobrecalentamiento en el sistema. Si el sistema trabaja con la carga nominal, el tiempo de vida útil de las bandas se estima en unos 2 años.
3. Se debería realizar un chequeo del estado de los componentes del sistema aproximadamente cada 6 meses por seguridad alas personas que maniobran cerca de la máquina.

APENDICES

APÉNDICE A. TABLA A: Control de calidad aprobada por el INEN

Materiales y productos minerales y cerámicos NTE INEN 0292:78 CO 02.07-201 5 p
Ladrillos cerámicos. Muestreo Ceramic bricks. Sampling NTE INEN 0293:78 CO 02.07-101 4 p
Ladrillos cerámicos. Definiciones. Clasificación y condiciones generales Ceramic bricks. Definitions, classifications and general conditions NTE INEN 0294:78 CO 02.07-301 6 p
Ladrillos cerámicos. Requisitos Ceramic bricks. Specifications NTE INEN 0491:81 CO 02.02-102 5 p
Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad Ceramic bricks. Determination of humidity absorption NTE INEN 0297:85 CO 02.07-401 4 p
Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la flexión Ceramic bricks. Determination of bending strength NTE INEN 0296:78 CO 02.07-303 4 p
Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la compresión Ceramic bricks. Determination of compression strength NTE INEN 0295:78 CO 02.07-302 5 p

APÉNDICE B. TABLA B: Lista de producción de cerámica por unidades
(ventas anuales del 2000)

Producto	Medida (cm)	Unidades por productos
Bloques vistos		
Rasilla	7x8x30	94.943
Rasilla 1	7x13x30	106.097
cara lisa 4H	6x9x29	195.830
rasilla esquinero	6x13x29	103.190
cara lisa esquinero 16	10x13x29	99.606
cara lisa 3H	6x9x19	129.661
Baldosas		
bald.gres natural	20x20	83.110
bald.gres natural	25x25	84.524
bald.gres natural	30x30	133.052
Baldosín gres antidez	10x20	105.900
Bloques de pared y losa		
Rasilla lisa	7x20x41	100.301
Rasilla rayada	7x20x41	957.585
8H liso	10x20x41	107.891
8H rayado	10x20x41	492.738
4H rayado	8x20x41	516.518
9H rayado	20x20x41	113.667
Adoquines		
Adoquín tipo H	6x16x21	100.602
Adoquín tipo quito	3.5x6x26	473.792
Adoquín antideslizante	2.5x10x20	2.675.550
Plaquetas		
Plaqueta natural	6x20	119.232
Plaqueta natural	7x25	819.499
Plaqueta natural	7x30	197.217
Tejas		
teja plana	15x30	352.626
teja curva	30cm	302.406
Macizos		
Rojo	6x10x20	35.756
refractarios		
Polvo de ladrillo	Mt ³	99

APÉNDICE C. TABLA C: Compresión simple

DIAL LC - 8 (0.001"); H = 2.83464"; Ao= 10.1787602cm²

$\Delta\eta$ (0.001")	$\epsilon = \Delta h / h$	$1 - \epsilon$	$A_c = A_o / (1 - \epsilon)$
0.01	0.003527785	0.996472215	10.214795802
0.02	0.007055570	0.992944430	10.251087462
0.03	0.010583355	0.989416645	10.287637919
0.04	0.014111139	0.985888861	10.324449952
0.05	0.017638924	0.982361076	10.361526378
0.06	0.021166709	0.978833291	10.398870056
0.07	0.024694494	0.975305506	10.436483887
0.08	0.028222279	0.971777721	10.474370812
0.09	0.031750064	0.968249936	10.512533816
0.10	0.035277848	0.964722152	10.550975929
0.11	0.038805633	0.961194367	10.589700222
0.12	0.042333418	0.957666582	10.628709815
0.13	0.045861203	0.954138797	10.668007873
0.14	0.049388988	0.950611012	10.707597606
0.15	0.052916773	0.947083227	10.747482274
0.16	0.056444557	0.943555443	10.787665186
0.17	0.059972342	0.940027658	10.828149699
0.18	0.063500127	0.936499873	10.868939221
0.19	0.067027912	0.932972088	10.910037212
0.20	0.070555697	0.929444303	10.951447186
0.21	0.074083482	0.925916518	10.993172707
0.22	0.077611266	0.922388734	11.035217396
0.23	0.081139051	0.918860949	11.077584930
0.24	0.084666836	0.915333164	11.120279042
0.25	0.088194621	0.911805379	11.163303521
0.26	0.091722406	0.908277594	11.206662218
0.27	0.095250191	0.904749809	11.250359042
0.28	0.098777975	0.901222025	11.294397963
0.29	0.102305760	0.897694240	11.338783016
0.30	0.105833545	0.894166455	11.383518296
0.31	0.109361330	0.890638670	11.428607965
0.32	0.112889115	0.887110885	11.474056252

APÉNDICE D-1: Selección de las trituradoras de rodillos. En la Fig. D.1 sean A_1 y A_2 los centros de los dos rodillos, y B una partícula esférica del material, en el momento en que es cogida entre los mismos. Existe una fuerza r que actúa sobre la partícula y que forma un cierto ángulo α con la línea A_1 y A_2 de los centros. Esta fuerza r puede descomponerse en las dos componentes m y n .

También existe una fuerza t , que tiende a arrastrar la

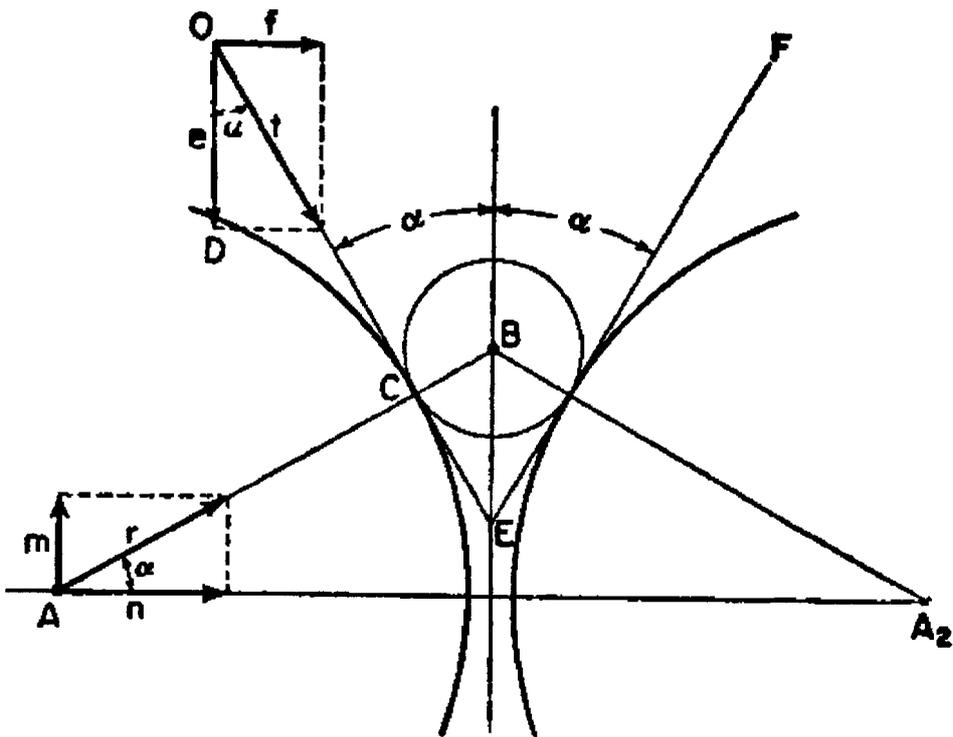


Figura D-1-a: Fuerza t aplicada a partícula

partícula entre los rodillos. Esta fuerza t depende de la fuerza r y del coeficiente de rozamiento entre el material que se tritura y la superficie del rodillo; puede descomponerse en las dos fuerzas e y f . Como la

línea OG es perpendicular a la dirección de la fuerza r , se deduce que el ángulo GOD es igual a α . Si θ es el coeficiente de rozamiento:

$$t = \mu * r \quad (D-1-a)$$

De lo anteriormente establecido se deducen las ecuaciones que siguen:

$$m = r * \text{sen } \alpha$$
$$e = t * \text{cos } \alpha = \mu * r * \text{cos } \alpha$$

Las fuerzas e y m tienen direcciones opuestas. La fuerza e tiende a arrastrar al material entre los rodillos, mientras que la m tiende a sacarlo fuera de ellos. Con objeto de que la partícula sea arrastrada entre los rodillos para ser triturada, se deduce que debe ser mayor que m o

$$\mu * r * \text{cos } \alpha$$
$$\mu \geq \text{tag } \alpha \quad (D-1-b)$$

En otras palabras, la tangente del ángulo α debe ser menor que el coeficiente de rozamiento; este coeficiente varía con los diferentes materiales, pero se ha encontrado que el valor medio de α es de 16° . El ángulo OEF, que es el doble de α , se denomina ángulo de mordedura o pasada.

Existe una relación definida entre el diámetro de los rodillos, el de la alimentación y del producto. En la Fig. D.2, sea R el radio de la partícula alimentada, d es igual a la mitad de la separación entre los

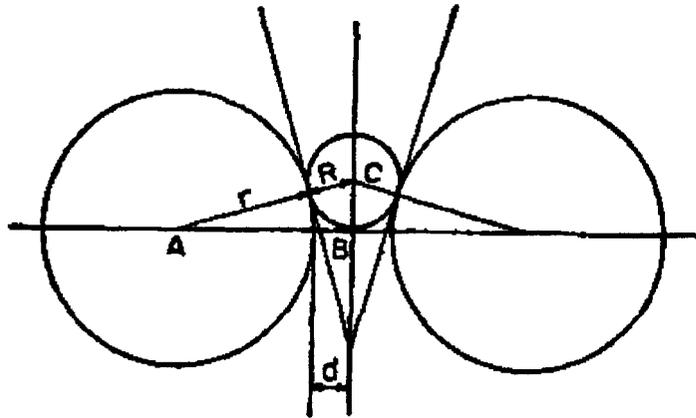


Figura D-1-b: Triángulo ABC, el ángulo

rodillos y r el radio del rodillo. En el triángulo ABC, el ángulo Figura D-2, CAB es igual a α , $AB = r + d$, y $AC = r + R$, con lo que:

$$\cos \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{r + d}{r + R}$$

El ángulo de mordedura varía en las diferente operaciones, pero pocas veces es mayor de 30 grados.



APÉNDICE D-2: Velocidad del molino. La velocidad de operación de un molino puede ser expresada en porcentajes de la velocidad crítica se obtiene cuando la fuerza centrífuga obliga a que las partículas de materia prima a girar con las placas de blindaje del molino. Esta condición impide la caída continua en cascada de las partículas, lo que depende de una molienda eficaz.

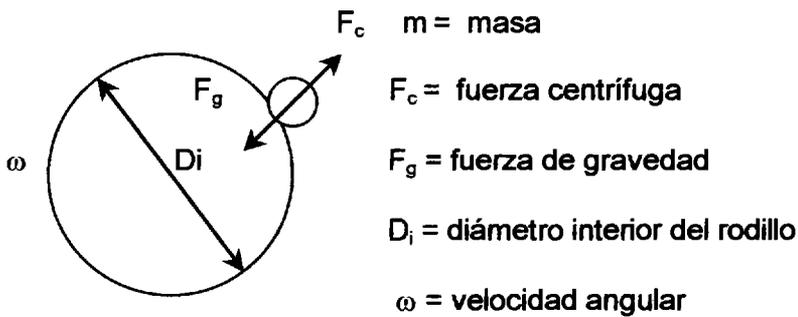


Figura D-2: Velocidad crítica de los molinos

La velocidad crítica se obtiene cuando la fuerza centrífuga F_c es igual a la fuerza de gravedad F_g :

$$F_g - F_c = m * g - m * \frac{D_i}{2} * \omega_{crit}^2 = 0$$

la velocidad angular crítica ω_{crit} será entonces:

$$\omega_{crit} = \sqrt{\frac{2 * g}{D_i}} = \frac{\pi * n_{crit}}{30}$$

la velocidad crítica del molino n_{crit} , por lo tanto, puede ser calculada en función del diámetro del molino D_i

$$n_{crit} = \frac{\Pi}{30} * \sqrt{\frac{2 * g}{D_i}}$$

$$n_{crit} = \frac{42.3}{\sqrt{D_i}} \quad (\text{seg}^{-1}) \quad (\text{D-2-a})$$

la velocidad de operación del molino se calcula entonces como:

$$n = k * n_{crit} \quad (\text{seg}^{-1}) \quad (\text{D-2-b})$$

n = velocidad de operación del molino (seg^{-1})

n_{crit} = velocidad crítica del molino (seg^{-1})

k = relación n/n_{crit} (%)

D_i = diámetro interno del molino (m)

APÉNDICE D-3. TABLA D: Datos técnicos del molido

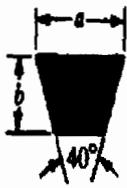
Capacidad total del molino: 160ton/día

Separación entre los rodillos: 1.6-3.2 mm

Consumo de energía para la trituración total para 20 ton es de 1.118

Kwh.

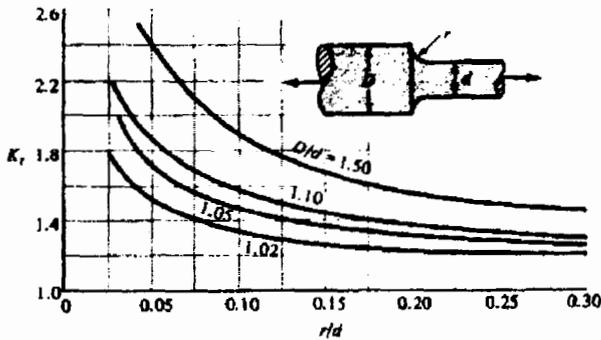
APÉNDICE E. TABLA E-1: Dimensiones para bandas A, B, C, D, E



SECCIÓN	ANCHO a , in	ESPESOR b , in	MINIMO DIÁMETRO DE POLEA, in	POTENCIAS PARA UNA O MÁS BANDAS, hp
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{16}$	3.0	1-10
B	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{16}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 o mayor

APÉNDICE E. TABLA E-2: Factores de concentración de esfuerzos

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)



Barra circular con entalle circunferencial sometida a tensión. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.

APÉNDICE F. TABLA F: Medidas correctivas en rodamientos

Tabla 3.9 Daño en los rodamientos y sus medidas correctivas

Daño	Descripción	Causas	Corrección
Des- carri- llado	La superficie de las pistas empieza a desgastarse. Poco después se hace notable la formación de ondulaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas excesivas o manejo inapropiado. • Montaje inapropiado. • Precisión inapropiada en el eje o alojamiento. • Juego insuficiente. • Contaminación. • Oxidación. • Disminución en la dureza debido a las temperaturas anormalmente altas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revise las condiciones de la aplicación. • Seleccione un tipo diferente de rodamiento. • Reevalúe el juego. • Mejore la precisión del eje y del alojamiento. • Reevalúe la distribución (diseño) del área alrededor del rodamiento. • Revise los procedimientos de ensamblaje • Revise el tipo de lubricante y los métodos de lubricación.
Atasca- miento	El rodamiento se recalienta y se decolora. Eventualmente el rodamiento se atasca.	<ul style="list-style-type: none"> • Juego insuficiente (incluyendo juegos que se han reducido por deformación local). • Lubricación insuficiente o lubricante inadecuado. • Cargas excesivas (presión excesiva). • Elementos rodantes sesgados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar si el juego es el apropiado (incremente la holgura) • Revise el tipo y la cantidad del lubricante. • Revise las condiciones de la aplicación. • Proceda a prevenir el desalineamiento. • Reevalúe el diseño del área alrededor del rodamiento (incluyendo el ajuste del rodamiento). • Mejore los procedimientos de ensamblaje.
Agrietamiento y deformaciones e muescas	Ocurre un descascarillado localizado. Aparecen pequeñas fisuras o muescas.	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva carga de impacto. • Interferencia excesiva. • Formación de grandes descascarillados. • Agrietamiento por fricción (fisura) • Hombros o bordes redondeados inadecuados. • Manejo indebido (gubias producidas por objetos extraños de gran tamaño). 	<ul style="list-style-type: none"> • Revise las condiciones de la aplicación. • Seleccione la interferencia apropiada y revise los materiales. • Mejore los procedimientos de ensamblaje y tenga más cuidado en la manipulación • Tome medidas para prevenir el agrietamiento por fricción (Revise el tipo de lubricante). • Reevalúe el diseño del área alrededor del rodamiento.
Daño en la jaula	Los remaches se quiebran o se aflojan ocasionando daño en la jaula.	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva carga de momento. • Velocidad alta o fluctuaciones excesivas de la velocidad. • Lubricación inadecuada. • Impacto con objetos extraños. • Vibración excesiva. • Montaje inadecuado (Desalineamiento en el montaje). • Incremento anormal de la temperatura (jaula de plástico). 	<ul style="list-style-type: none"> • Revise las condiciones de la aplicación. • Reevalúe las condiciones de lubricación. • Revise la selección del tipo de jaula. • Tenga más cuidado en la manipulación. • Investigue la rigidez del eje y del alojamiento.

TABLA F: continuación

Daño	Descripción	Causas	Corrección
Manchas, y asperezas superficiales	La superficie se vuelve áspera y se forman pequeños depósitos. El desgaste abrasivo, generalmente, se refiere a la aspereza del reborde de la pista y de los extremos de los rodillos.	<ul style="list-style-type: none"> • Lubricación inadecuada. • Presencia de partículas extrañas. • Rodillos distorsionados debido al desalineamiento del rodamiento. • Ruptura de la película de aceite del reborde debido a cargas axiales grandes. • Aspereza de la superficie. • Deslizamiento excesivo de los elementos rodantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reevaluación del tipo de lubricante y del método de lubricación. • Revisa las condiciones de operación • Ajuste adecuado de la precarga. • Mejorar el sellado. • Manipular el rodamiento adecuadamente.
Oxidación y corrosión	La superficie se torna parcial o totalmente oxidada y ocasionalmente el óxido también se presenta a lo largo de las líneas de paso del elemento rodante.	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones inadecuadas en el almacenaje. • Empaquetamiento inadecuado. • Insuficiente anti-oxidante. • Penetración de agua, ácido, etc. • Manipulación inadecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar medidas para prevenir la oxidación, durante el almacenaje. • Mejorar el desempeño del sellado. • Inspección periódica del aceite lubricante. • Tener cuidado en la manipulación del rodamiento.
Desgaste por rozamiento corrosivo (Fretting)	Hay dos tipos de desgaste por rozamiento corrosivo. En uno, se forma un polvo de óxido sobre las superficies de contacto. En la otra se identifican abolladuras que se forman en la pista a la altura del peso de los elementos rodantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia insuficiente. • Ángulo de oscilación pequeño, del rodamiento. • Lubricación insuficiente. • Cargas fluctuantes. • Vibración durante el transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revise la interferencia y aplique una capa de lubricante. • Empaquete el anillo interior y exterior separadamente para transportarlos. Cuando los dos no pueden ser separados, aplique una pre-carga. • Elija una clase diferente de lubricante. • Elija un tipo diferente de rodamiento.
Desgaste	Las superficies se desgastan produciendo como resultado la deformación dimensional. El desgaste frecuentemente va acompañado por asperezas y rayaduras.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de partículas extrañas en el lubricante. • Lubricación inadecuada. • Rodillos sesgados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revise el tipo de lubricante y los métodos de lubricación. • Mejore las condiciones del sellado. • Tomar las medidas necesarias para prevenir el desalineamiento.
Corrosión electrolítica	Se forman picaduras sobre la pista. Las picaduras crecen gradualmente hasta transformarse en ondulaciones.	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de arcos eléctricos entre los rodillos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desvíe la corriente eléctrica. • Aíale eléctricamente el rodamiento de tal forma que la corriente no pase a través de él.
Abolladuras y rayaduras	Rayado durante el ensamblaje, gubias debido a objetos extraños y duros; abolladura superficial debido a impacto.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de objetos extraños. • Penetración por impacto en el lado descargado. • Caídas u otros choques de impacto debido al manejo indebido. • Desalineamiento en el ensamblaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejore la manipulación y los métodos de ensamblaje • Tome medidas necesarias para prevenir la retención de objetos extraños. • Si el daño es causado por pequeños pedazos de metal, inspeccione completamente todas las otras superficies.
Deslizamiento o arrastamiento	El deslizamiento es acompañado de superficies brillantes (espejo) o descoloridas en el diámetro interior y exterior. También puede ocurrir desgaste abrasivo	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia insuficiente en la sección de apareamiento. • Aseguramiento inapropiado del manguito. • Incremento anormal de la temperatura. • Cargas excesivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Re-evalúe la interferencia. • Re-evalúe las condiciones de uso. • Revise la precisión del eje y del alojamiento.

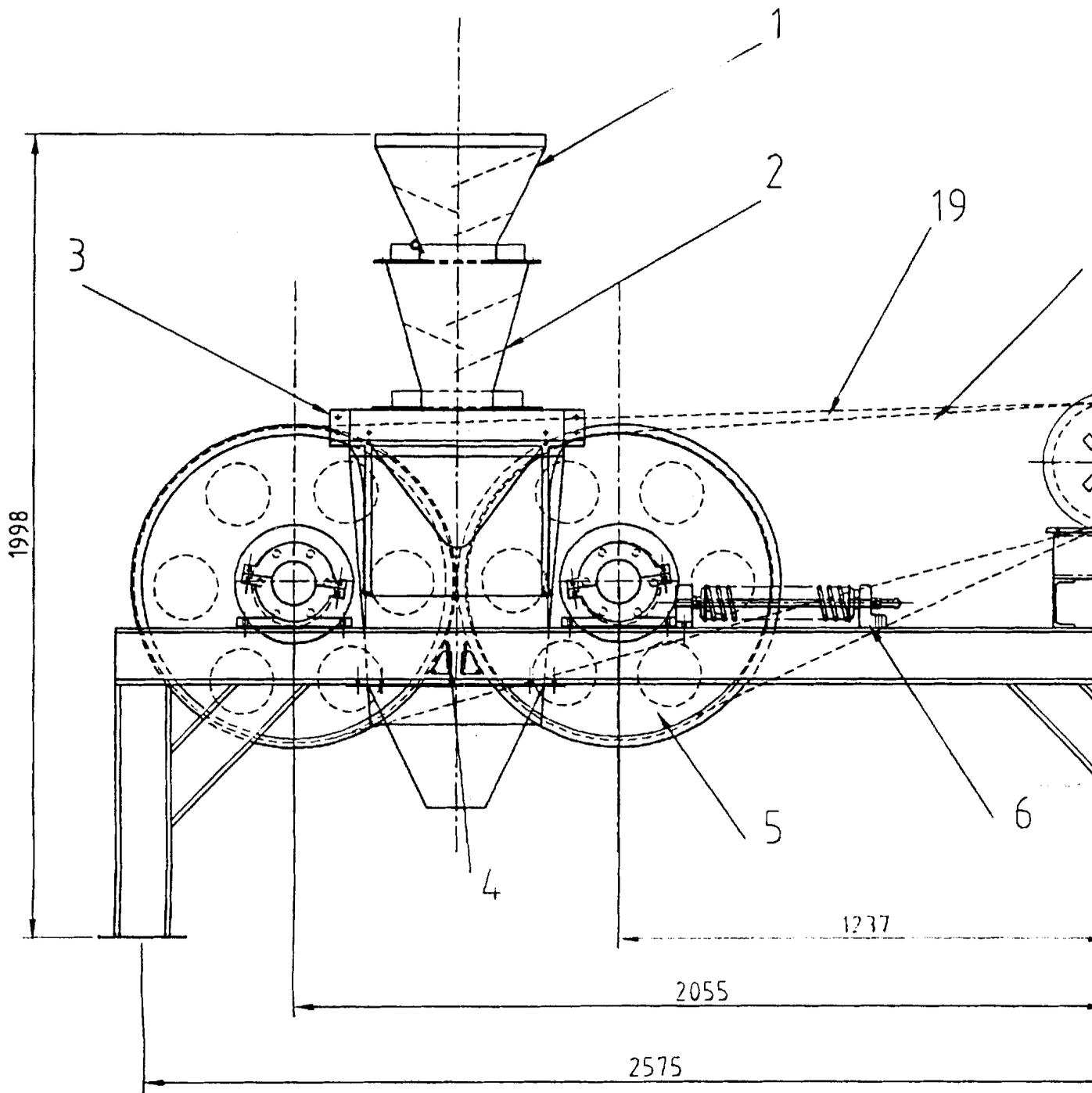
BIBLIOGRAFÍA

1. **BADGER WALTER & BANCHERO JULIUS**, Introducción a la Ingeniería Química.- Ediciones del Castillo S.A.
2. **BADILLO JUAREZ EULALIO**, Mecánica de Suelos Tomo I, 1963.
3. **BRICK AND LIME KILNS IN ECUADOR**, Energy, Environment and Development Series No. 13, The Stockholm Environmental Institute, Stockholm, 1992
4. **GRANDER GEORGE**, Operaciones básicas de la Ingeniería Química, Editorial Marín, S. A.
5. **GRIM RALPH**, Clay Mineralogy, second edition, Mc Graw Hill

6. KELLY ERROL G. & SPOTTISWOOD DAVID, Introducción al Procesamiento de Minerales, primera edición 1990, editorial Noriega Limusa.
7. MARTIN Sprocket & Gear, Inc. catálogo 1090
8. MOTT ROBERT L., Diseño de elementos de maquinaria, segunda edición, México 1995, Prentice Hall.
9. NORTON ROBERT, Diseño de maquinas, primera edición 1994, Mc Graw Hill.
10. NORTON ROBERT, Diseño de maquinaria, primera edición 1996, Mc Graw Hill.
11. PERRY Ph.D, Manual del Ingeniero Químico, editorial Mc Graw Hill
12. OMER W. BLODGETT, Design of Weldments, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation Cleveland, Ohio.
13. SHIGLEY J. EDWARD & MISCHKE CHARLES R., Diseño en Ingeniería Mecánica, quinta edición Mc Graw Hill

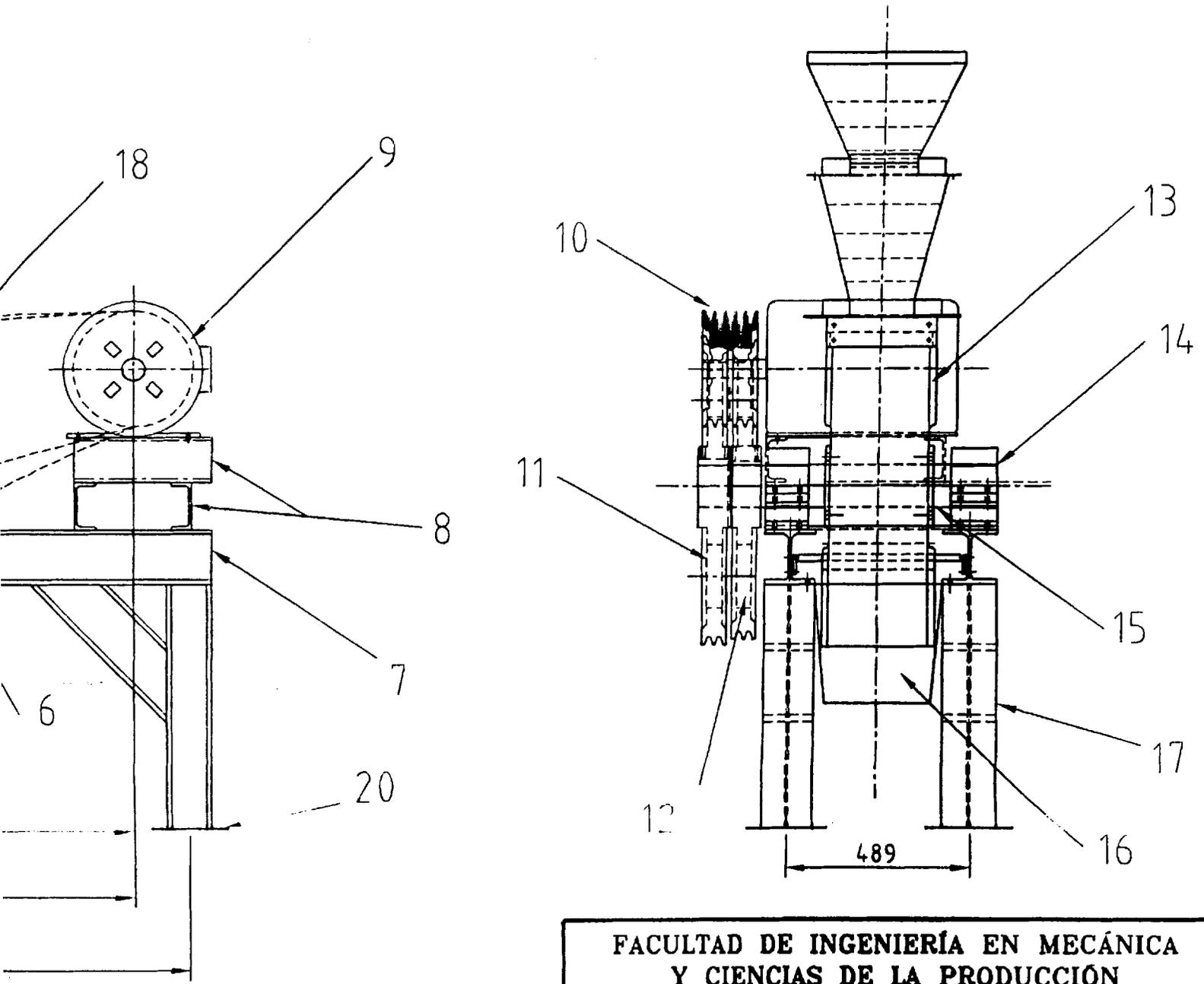
14. VIAN ANGEL & OCON JOAQUIN, Elementos de Ingeniería
Química, Ediciones Aguilar S.A.

PLANOS



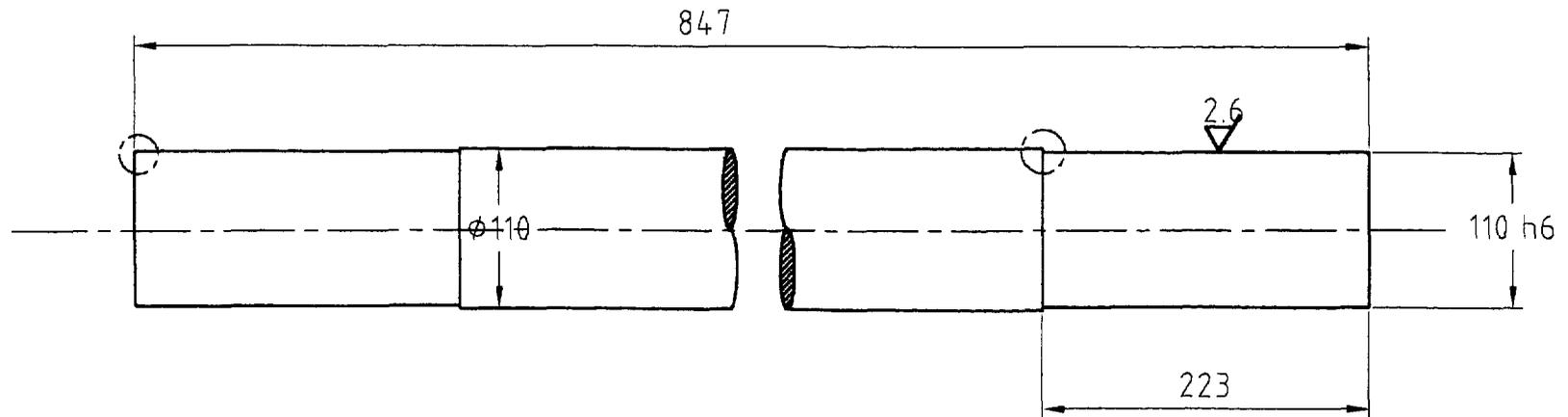
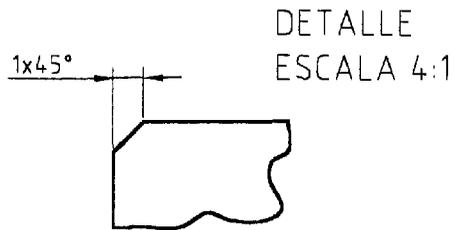
DESPIECE DE LA MAQUINA DE MOLIENDA PARA ARCILLA

1	TOLVA PRIMARIA	11	POLEA DE 2 CANALES DE 800.4 mm
2	TOLVA SECUNDARIA	12	POLEA DE 2 CANALES DE 772.8 mm
3	CARACA	13	RECUBRIMIENTO DEL ARO
4	RASTRILLOS	14	SOPORTES DE LOS RODAMIENTOS SERIE 6222
5	RODILLOS PARA MOLIENDA	15	FLECHA DE 110 mm
6	TORNILLO REGULADOR	16	TOLVA DE VACIADO
7	VIGA I DE ALA ANCHA	17	VIGA I DE ALA ESTRECHA
8	PERFIL EN U NORMAL	18	BANDA EN V PARA POLEA DE 2 CANALES DE 800.4 mm
9	MOTOR DE 22 kW 240/440V	19	BANDA EN V PARA POLEA DE 2 CANALES DE 772.8 mm
10	POLEA DE 5 CANALES DE 263.7 mm	20	SOPORTE DE LA ESTRUCTURA



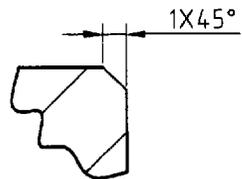
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab	26/09/01	P. TERÁN	DESPIECE DE LA MAQUINA DE MOLIENDA PARA CERAMICA	1:15
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		
			PLANO No.:	
ESPOL			01	

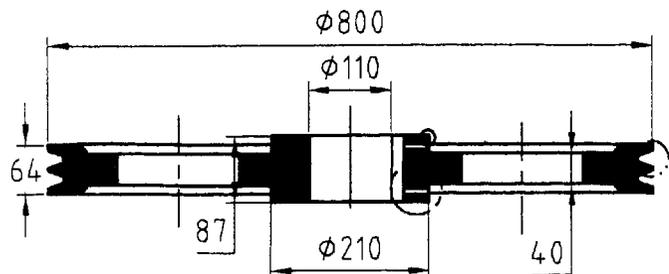


FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

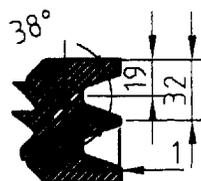
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERAN	FLECHA PARA RODILLOS DE LAMINADORA	1:5
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		
ESPOL			PLANO No.: 02	
			MATERIAL: ACERO 1020 PARA TRANSMISION	



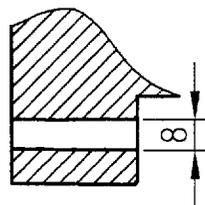
DETALLE
ESCALA 3:1



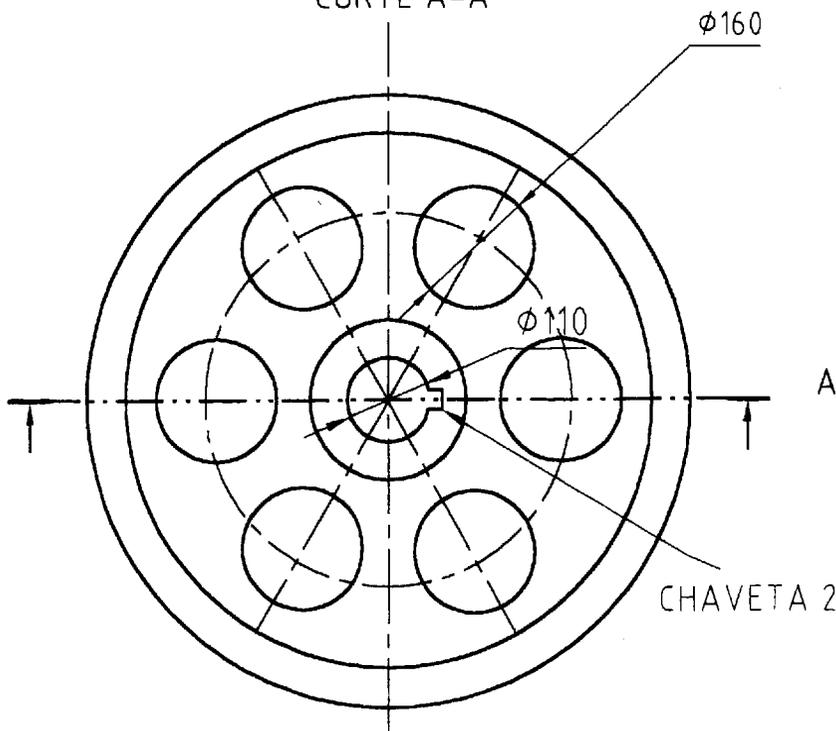
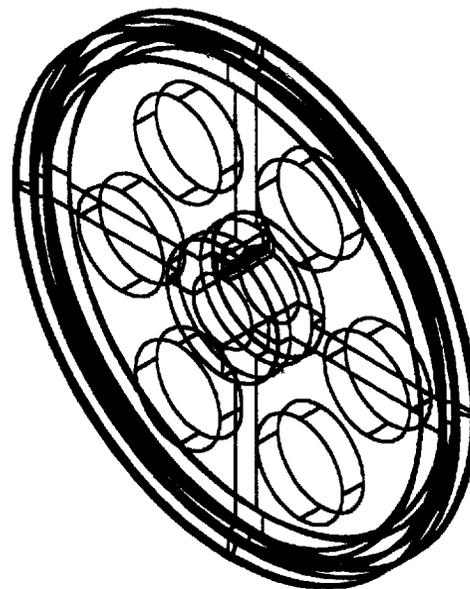
CORTE A-A



DETALLE
ESCALA 1:4



DETALLE
ESCALA 1:2

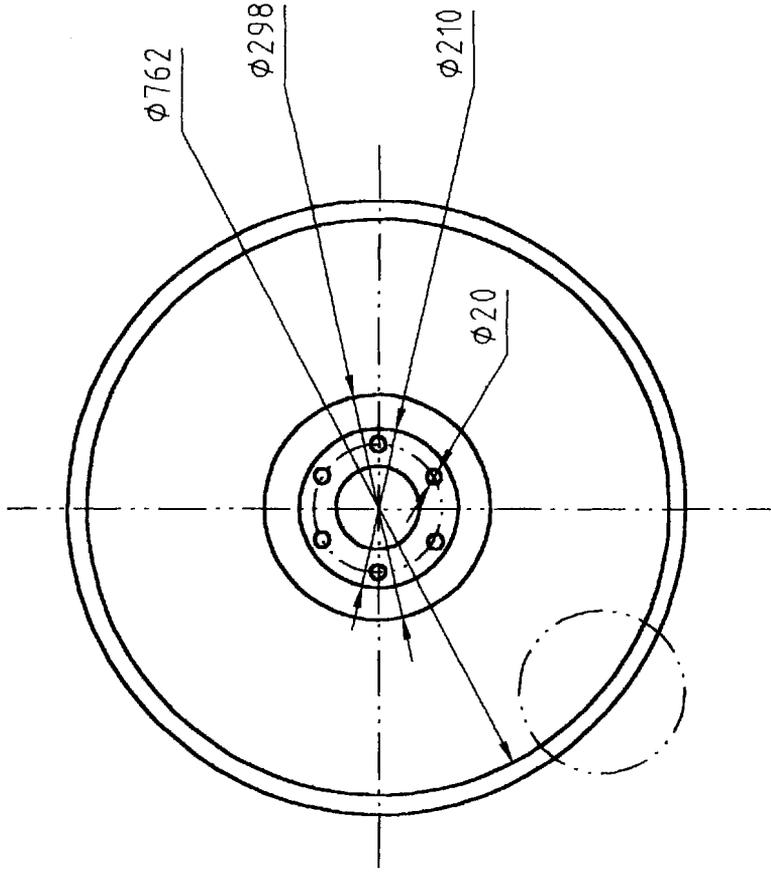
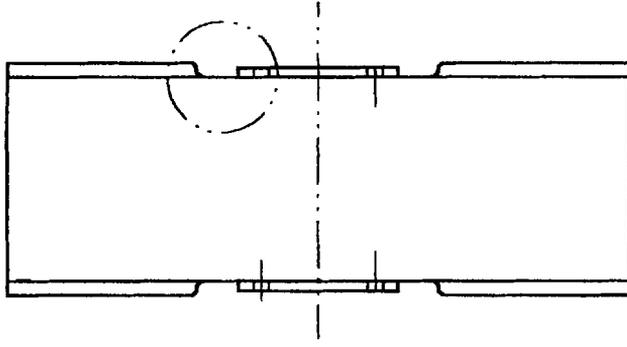


CHAVETA 25.4X18.5

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN				
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERÁN	POLEA DE DOS CANALES	1:10
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		
ESPOL		PLANO No.:	03	
		MATERIAL:	FUNDICION GRIS	



DETALLE
ESCALA 1:2



DETALLE
ESCALA 1:2

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab. 26/09/01	P. TERAN	ARO DE CAMION-TRACTOR	1:10
Rev.	E. ORCES	RECUBIERTO	
Apr.	E. ORCES		

PLANO No.:

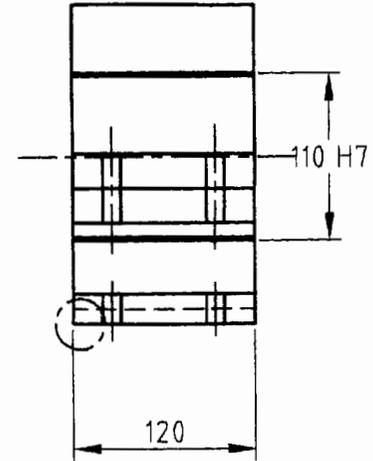
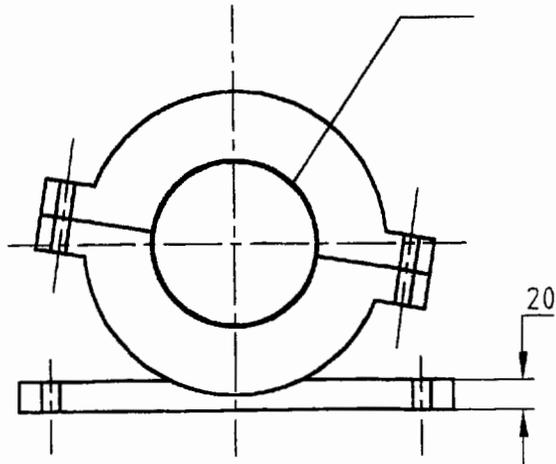
04

MATERIAL: ACERO AL MANGANESO

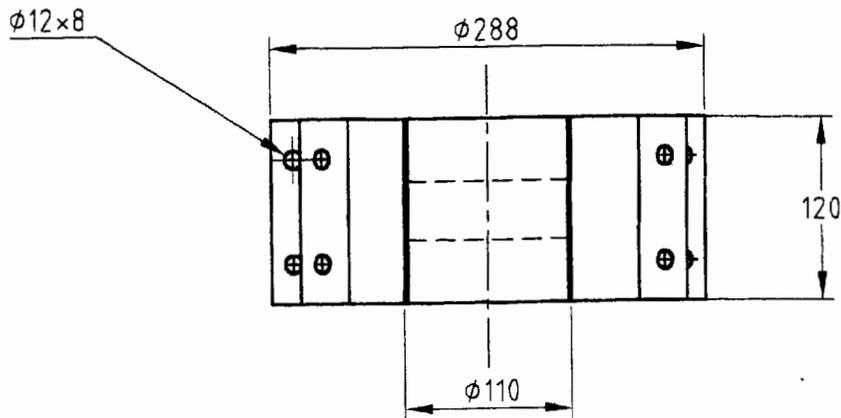
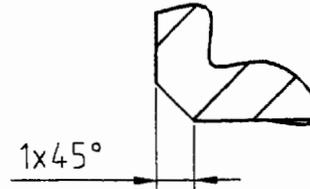
ESPOL



RODAMIENTO
SKF-1222

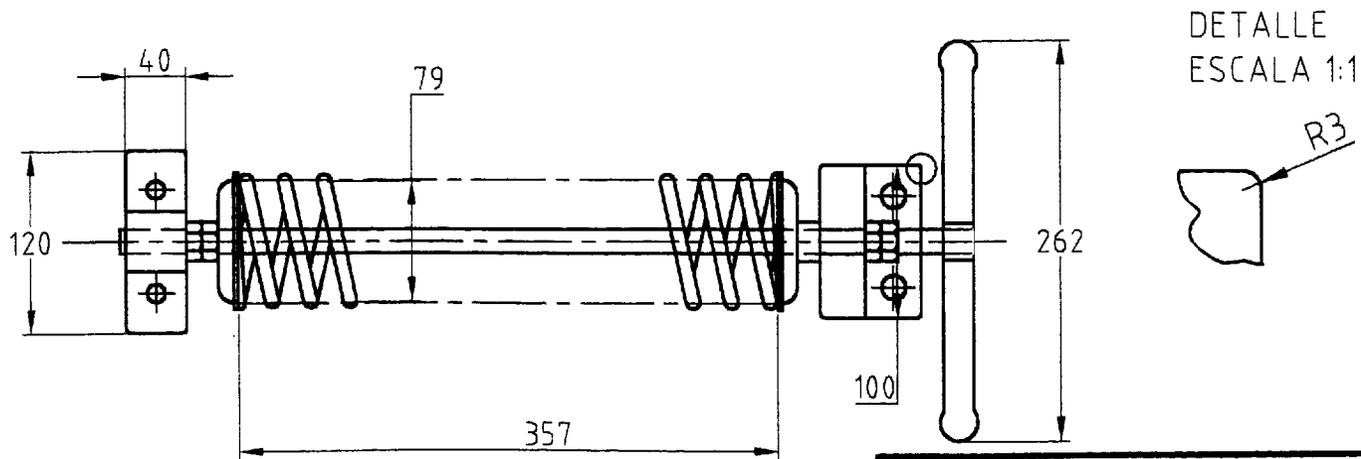
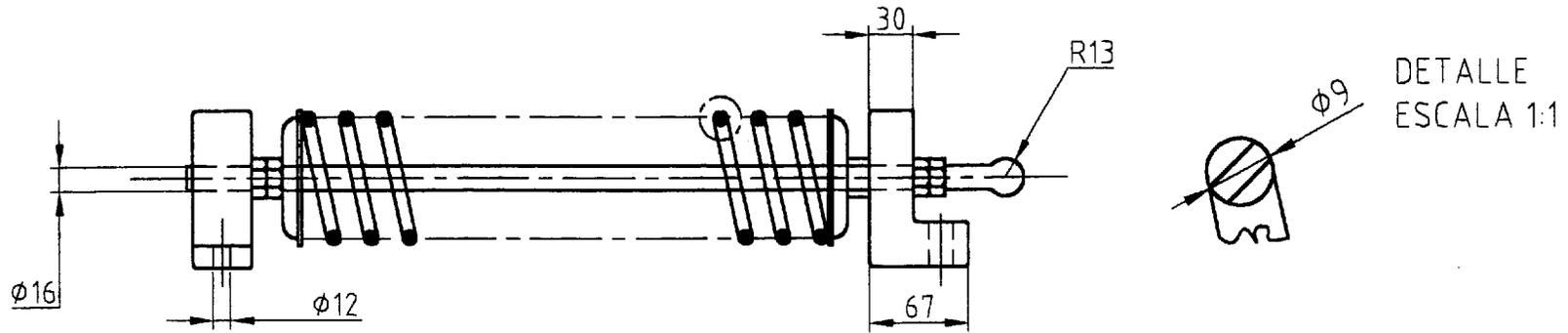


DETALLE
ESCALA 4:1



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab. 26/09/01	P. TERÁN	SOPORTE PARA RODAMIENTOS	1:5
Rev.	E. ORCÉS		
Apro.	E. ORCÉS		
PLANO No.:		05	
MATERIAL: PLANCHA DE ACERO DE 3 mm			

ESPOL

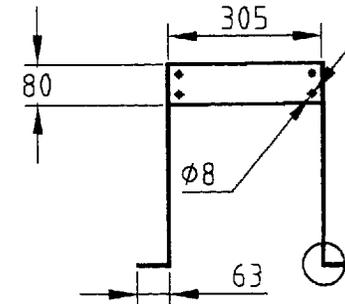
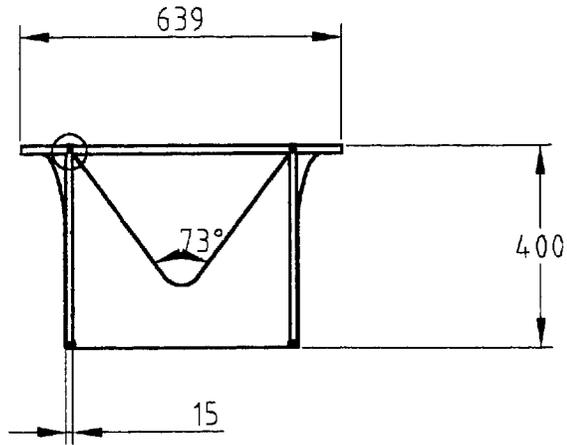
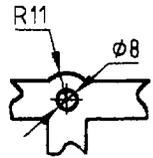


FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

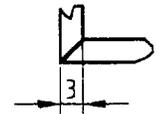
FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab. 26/09/01	P. TERÁN	TORNILLO REGULADOR	1:25
Rev.	E. ORCÉS		
Apro.	E. ORCÉS		
PLANO No: 06			
MATERIAL: FUNDICION DE HIERRO			

ESPOL

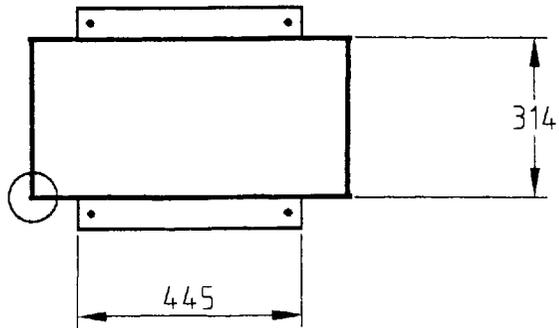
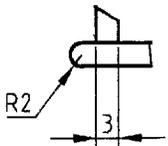
DETALLE
ESCALA 1:3



DETALLE
ESCALA 1:1



DETALLE
ESCALA 1:1



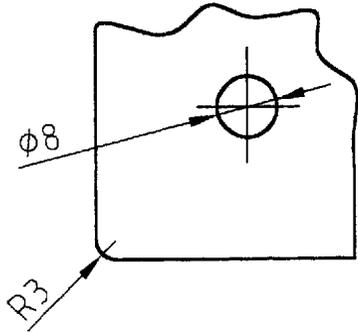
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERÁN	CUERPO CARCASA I	1:15
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		
PLANO No.:			07	
MATERIAL:			PLANCHAS DE ACERO DE 3 mm	

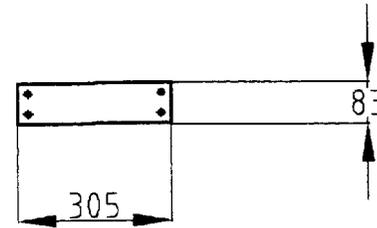
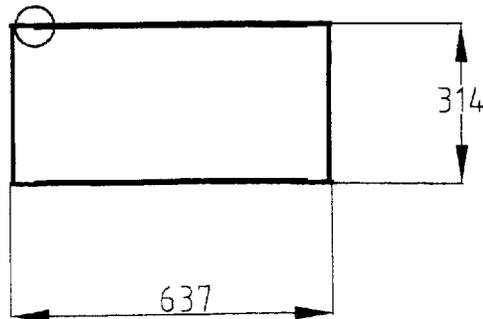
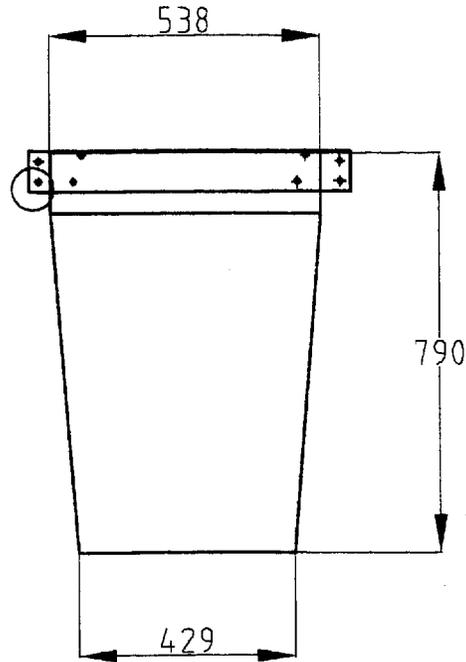
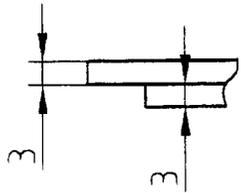
ESPOL



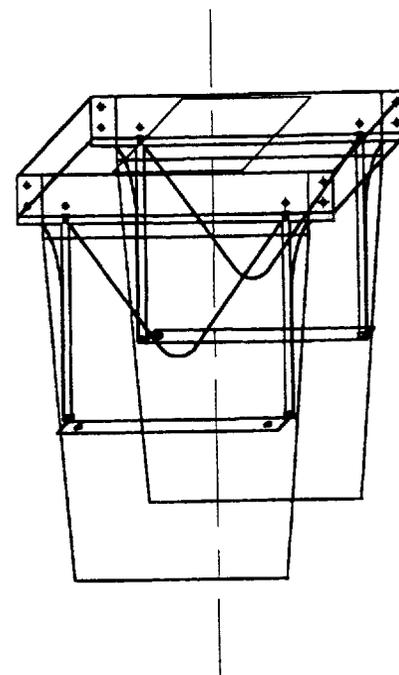
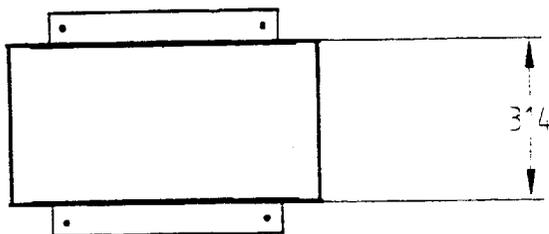
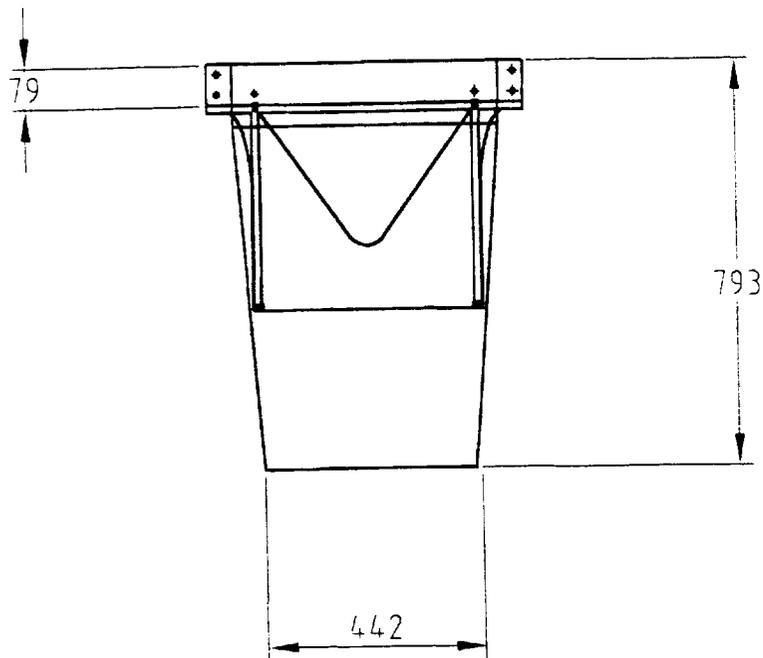
DETALLE
ESCALA 1:1



DETALLE
ESCALA 1:1



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN				ESCALA:
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	
Elab.	26/09/01	P. TERÁN	CUERPO CARCASA II	1:15
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		
ESPOL			PLANO No.: 08	
			MATERIAL: PLANCHAS DE ACERO DE 3 mm	

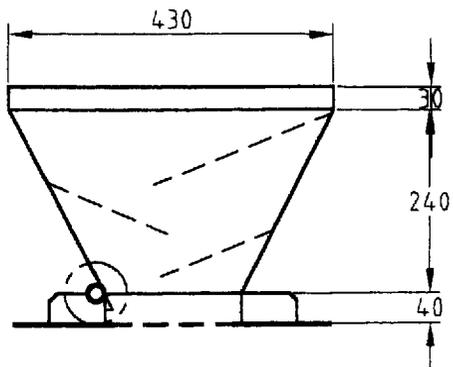
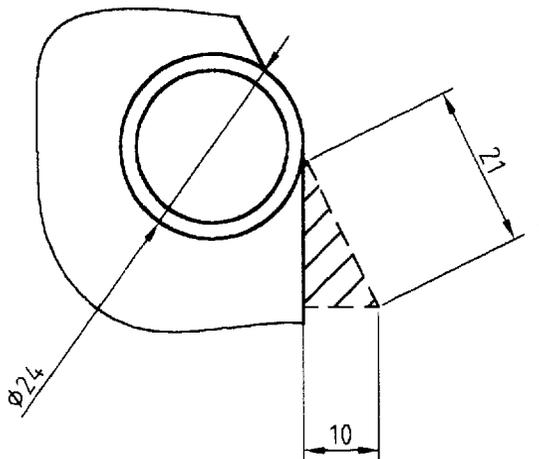


VISTA ISOMETRICA DE LA CARCASA

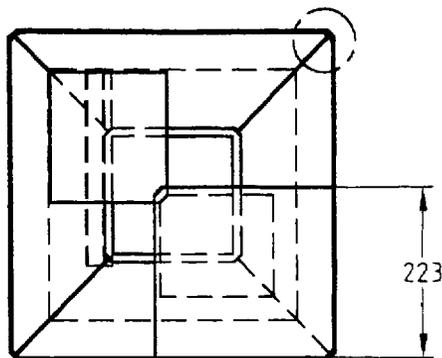
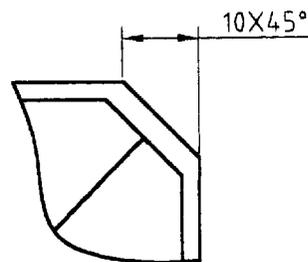
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab. 26/09/01	P. TERÁN	ENSAMBLE CARCASA I Y II	1:15
Rev.	E. ORCÉS		
Apro.	E. ORCÉS		
ESPOL		PLANO No.: 09	
		MATERIAL: PLANCHAS DE ACERO DE 3 mm	

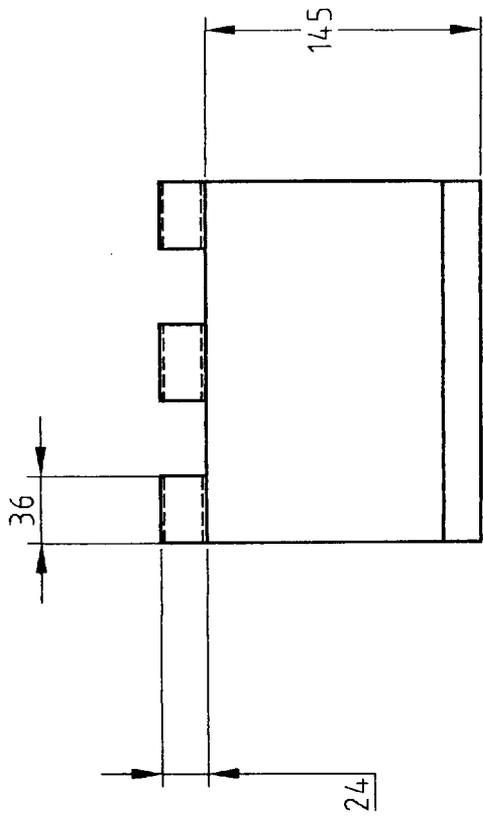
DETALLE
ESCALA 1:1



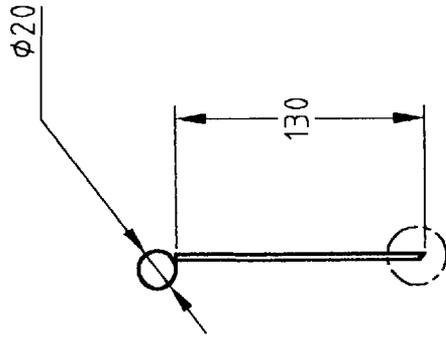
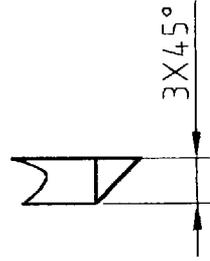
DETALLE
ESCALA 1:1



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab. 26/09/01	P. TERÁN	TOLVA PRIMARIA	1:10
Rev.	E. ORCÉS		
Apro.	E. ORCÉS		
ESPOL		PLANO No.: 10	
		MATERIAL: PLANCHAS DE ACERO DE 3 mm	



DETALLE
ESCALA 2:1



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

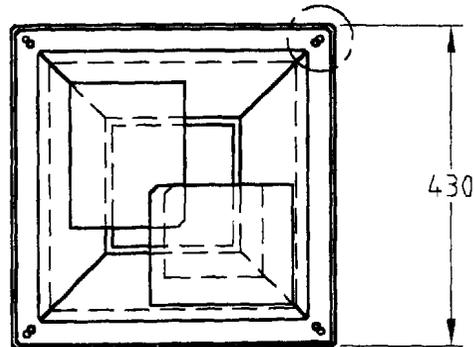
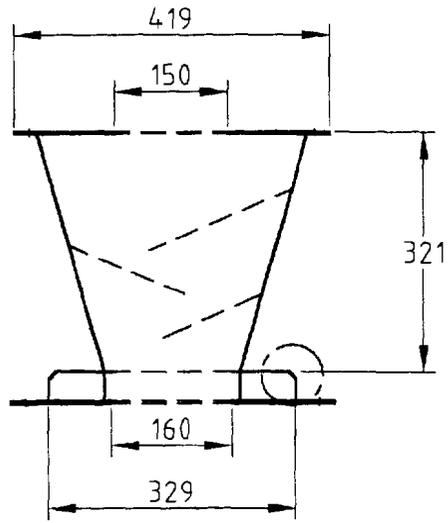
FECHA		NOMBRE		DENOMINACION		ESCALA:	
Elab.	26/09/01	P. TERÁN		TAPA DE LA TOLVA PRIMARIA		1:5	
Rev.		E. ORCÉS					
Apr.		E. ORCÉS					

PLANO No.: 11

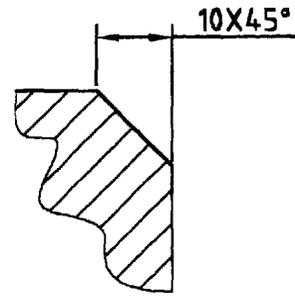
MATERIAL: ACERO NEGRO DE 3 mm

ESPOL

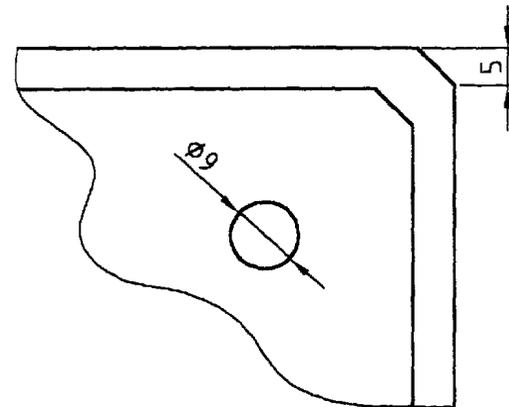




DETALLE
ESCALA 1:1



DETALLE
ESCALA 1:1



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

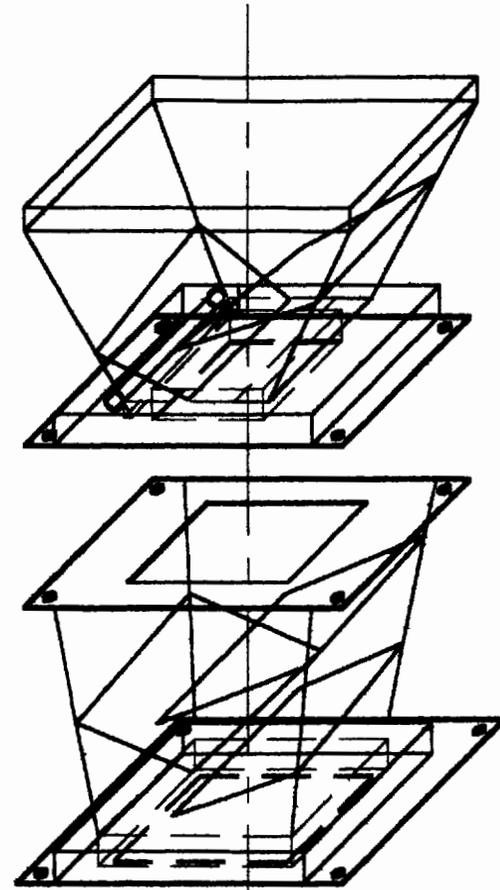
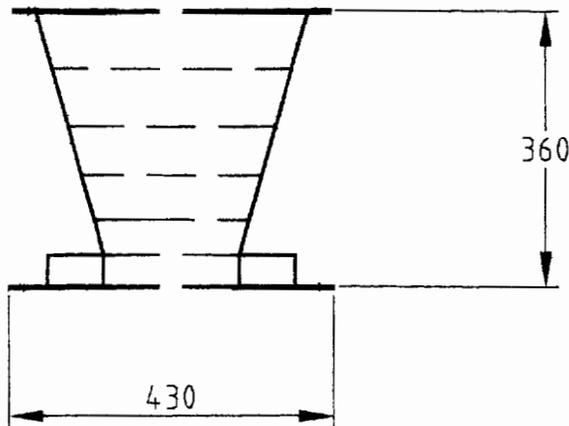
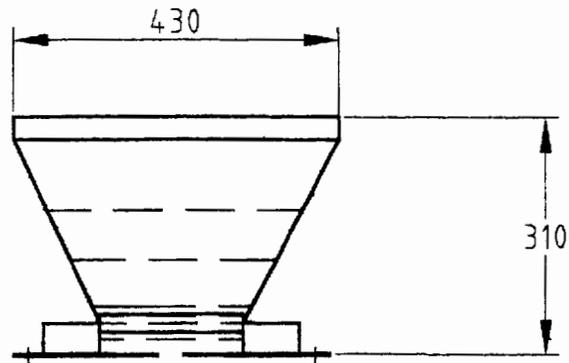
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERÁN	TOLVA SECUNDARIA	1:10
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		

ESPOL

PLANO No.: 12

MATERIAL: PLANCHA DE ACERO DE 3 mm





VISTA ISOMETRICA DE LAS TOLVAS

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERÁN	ENSAMBLE DE LAS TOLVAS	1:10
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		

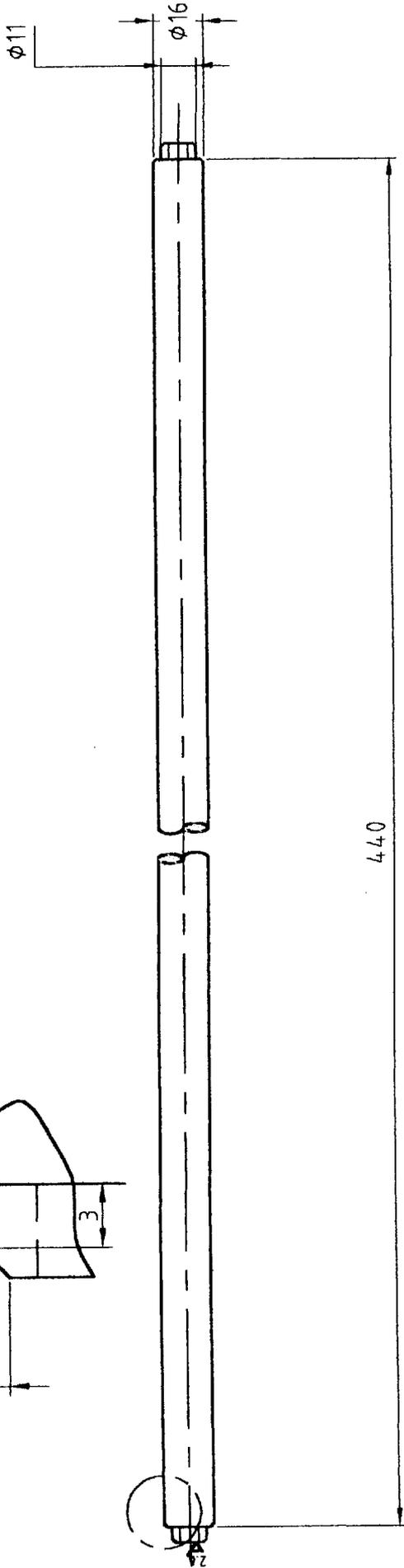
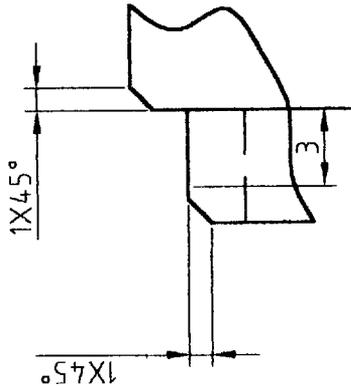
PLANO No.: 13

ESPOL

MATERIAL: PLANCHAS DE ACERO NEGRO



DETALLE
ESCALA 3:1

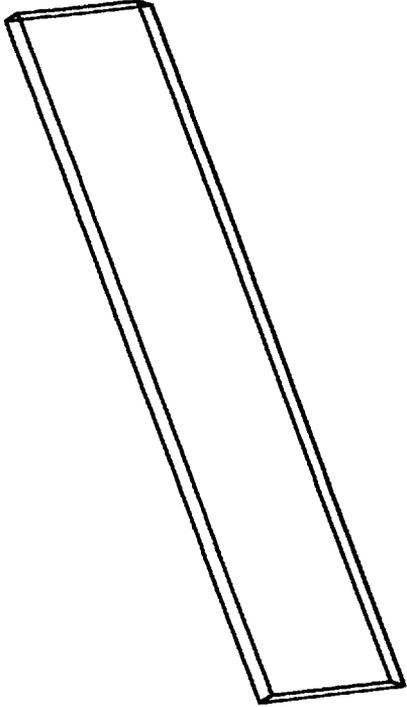


FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

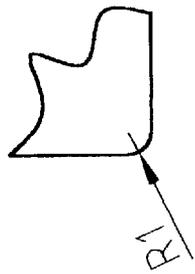
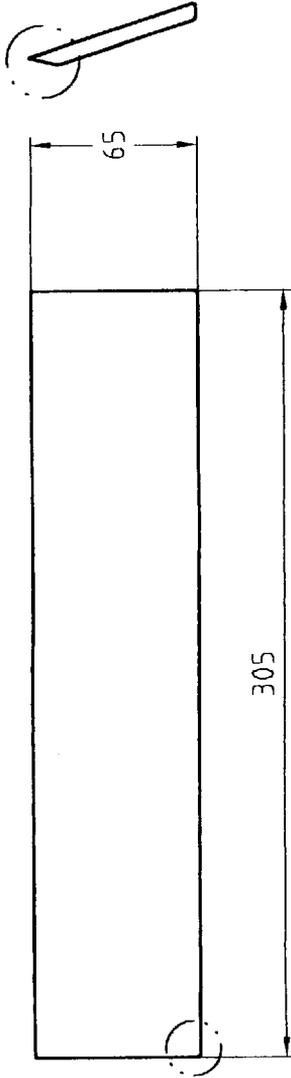
FECHA		NOMBRE		DENOMINACION		ESCALA:	
Elab.	26/09/01	P. TERÁN		FLECHA PARA EL RASTRILLO		1:2	
Rev.		E. ORCÉS					
Apro.		E. ORCÉS					
PLANO No.:				14			
MATERIAL:				ACERO NEGRO			

ESPOL





DETALLE
ESCALA 2:1



DETALLE
ESCALA 2:1

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

DENOMINACION

RASTRILLO

ESCALA:

1:3

FECHA

NOMBRE

P. TERAN

E. ORCES

E. ORCES

E. ORCES

PLANO No.:

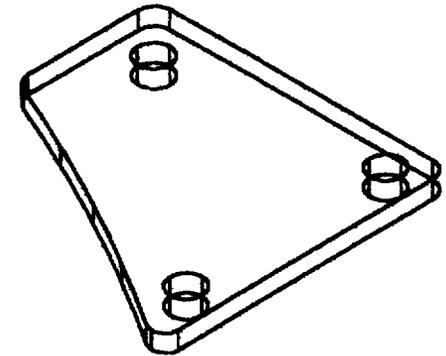
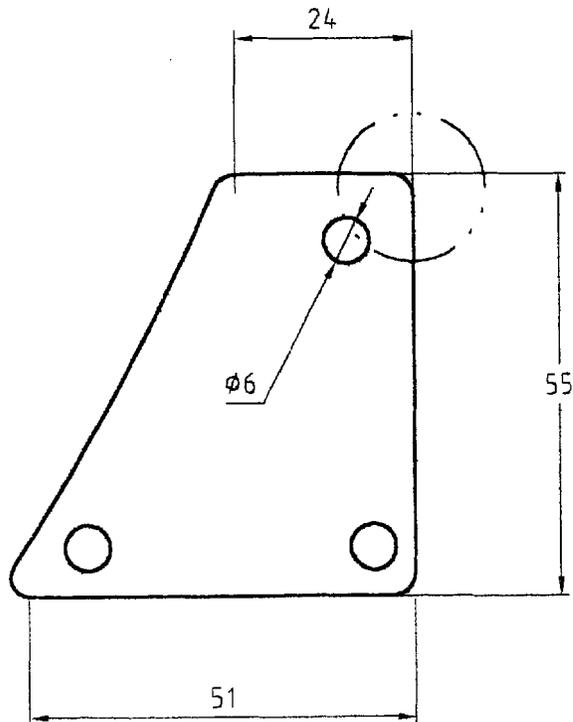
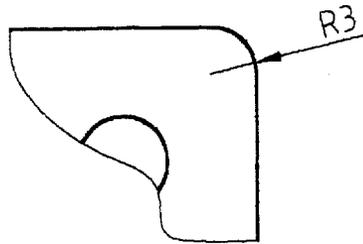
15

MATERIAL: ACERO NEGRO DE 2 mm

ESPOL

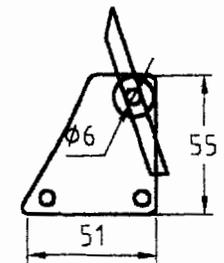
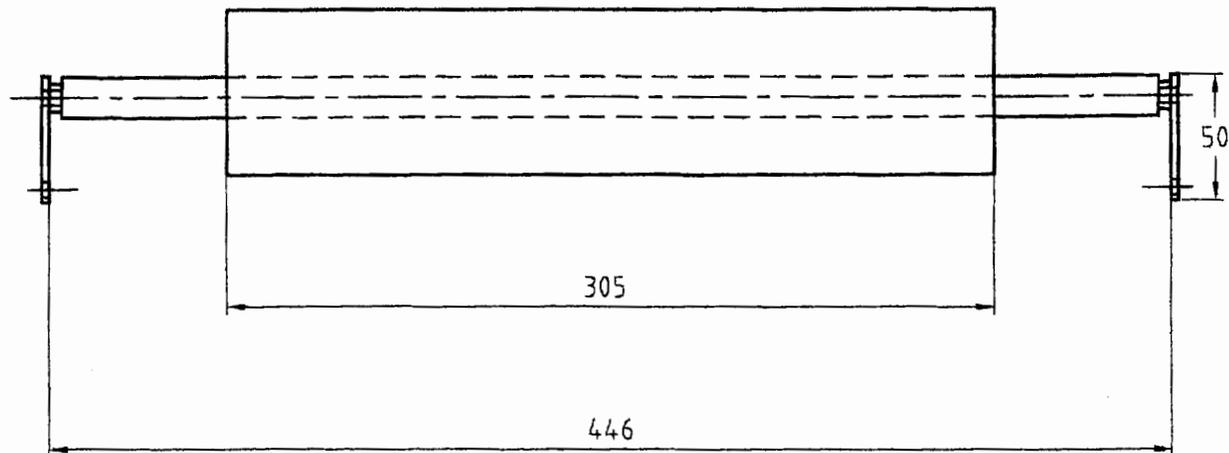


DETALLE
ESCALA 2:1



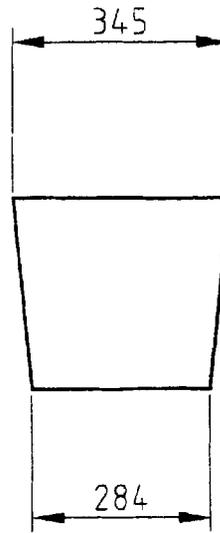
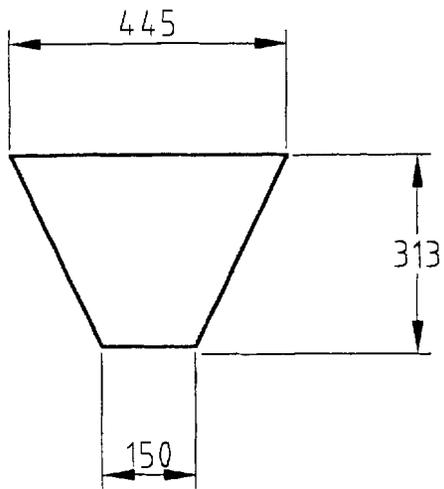
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION
Elab.	26/09/01	P. TERAN	SOPORTE PARA LA FLECHA DEL RASTRILLO
Rev.		E. ORCÉS	
Apro.		E. ORCÉS	
PLANO No.:		16	ESCALA: 1:1
MATERIAL:		ACERO NEGRO	

ESPOL

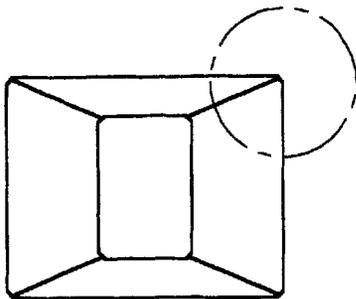
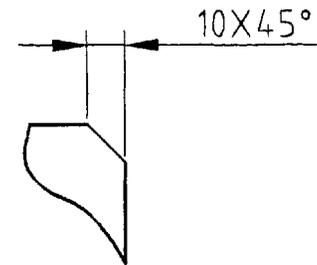


FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN				
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERÁN	ENSAMBLE DEL RASTRILLO	1:3
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		
PLANO No.:			17	

ESPOL



DETALLE
ESCALA 1:2



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

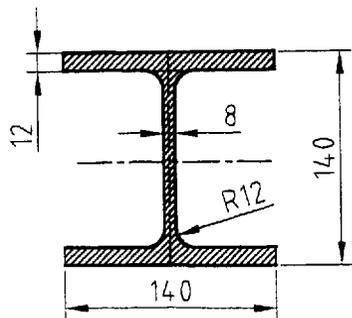
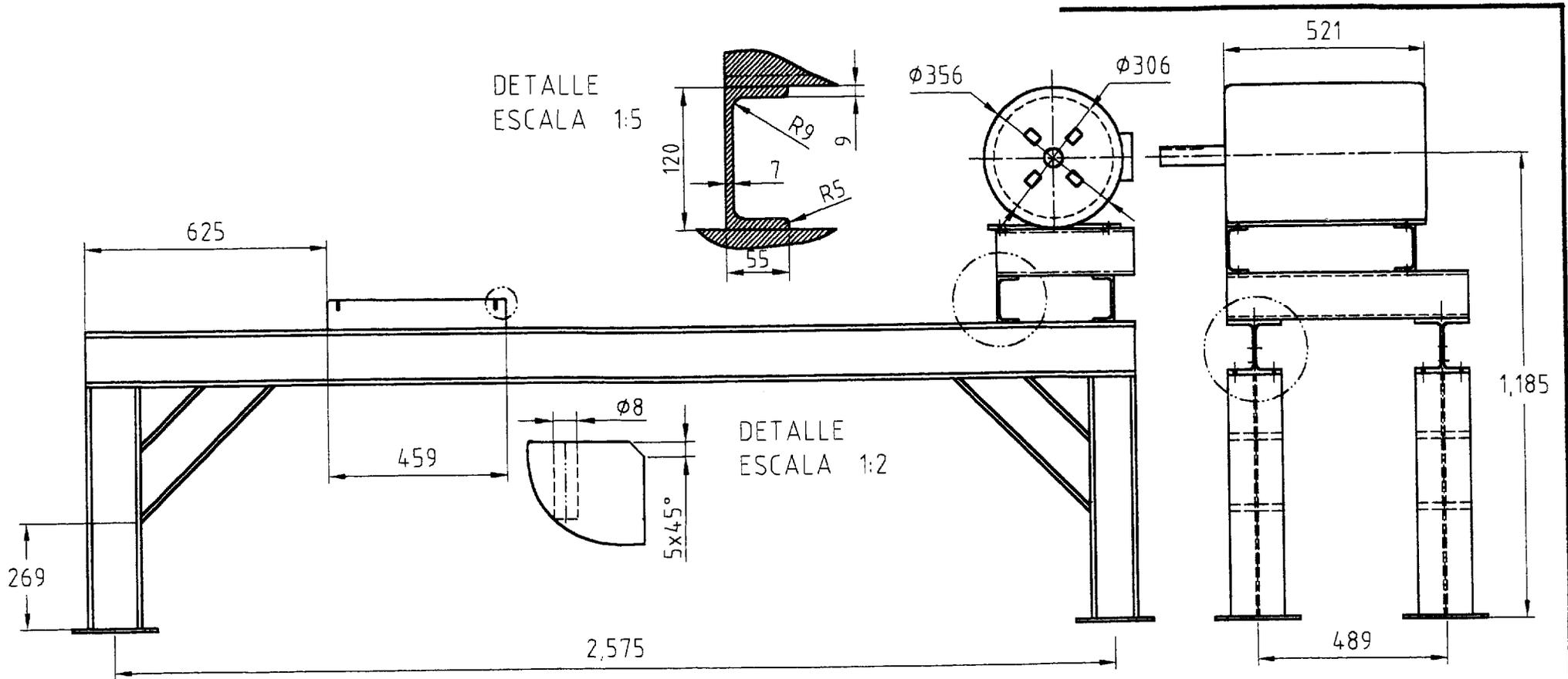
	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab.	26/09/01	P. TERAN	TOLVA DE VACIADO	1:12
Rev.		E. ORCÉS		
Apro.		E. ORCÉS		

PLANO No.: 18

ESPOL

MATERIAL: PLANCHAS DE ACERO DE 3 mm





DETALLE
ESCALA 1:5

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			
FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA:
Elab. 26/09/01	P. TERÁN	BASTIDOR	1:15
Rev.	E. ORCÉS		
Apro.	E. ORCÉS		
PLANO No.:		19	
MATERIAL: PERFILES EN U Y VIGAS EN I			

ESPOL