

**OPTIMIZACIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE ARCILLA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LADRILLOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA DE LA
COSTA Ltda.**

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADO

Presentado por:

FRANKLIN PERÉZ GONZÁLEZ

SERGIO BARCOS HERNÁNDEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T.C

2004

**OPTIMIZACIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE ARCILLA PARA
LA CONSTRUCCIÓN DE LADRILLOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA
DE LA COSTA Ltda.**

FRANKLIN PERÉZ GONZÁLEZ

SERGIO BARCOS HERNÁNDEZ

Trabajo de grado, presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

MARIO EDMUNDO SISTI

INGENIERO QUIMICO

Asesor Técnico de Productos Cerámicos y Procesos Industriales

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T.C

2004

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Ciudad y Fecha Cartagena D.T.H. 2004

Cartagena de Indias, D.T. C., 23 de Abril de 2004

Señores:
UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Atn: Comité de Facultad de Ingeniería Mecánica.
Ciudad

Ref: Solicitud de Evaluación del Trabajo de Grado

Cordial Saludo:

Mediante la presente nos permitimos solicitar el deseo de que se evalúe nuestro Trabajo de Grado, bajo los criterios establecidos por el comité de la facultad, a fin de obtener la verificación y aceptación de nuestro proyecto de grado para optar al título de ingenieros mecánicos.

Atentamente,

FRANKLIM PEREZ GONZALEZ.
COD: 98 03 038

SERGIO BARCO HERNANDEZ
COD: 03 03 360

Cartagena de Indias Abril 19 del 2003.

Señores:
UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
Ciudad.

Apreciados señores

Por medio de la presente me dirijo a ustedes con el fin de manifestarles que he dirigido el proyecto de grado titulado **OPTIMIZACIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA DE LA COSTA Ltda.** Realizado por los estudiantes **FRANKLIN PÉREZ GONZÁLEZ Y SERGIO BARCOS HERNÁNDEZ**, Quienes lo presentan como requisito para optar al título de ingeniero mecánico.

Atentamente

MARIO EDMUNDO SISTI
Ingeniero Químico
Asesor Técnico de Industrias y de Proyectos Industriales

ARTICULO 105

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

RESUMEN

La finalidad de la optimización de los elementos de trabajo para el sistema de ejes extrusores, es que cuenten con un dispositivo de cuchillas desmontables y que a su vez posea la aplicación de un tratamiento térmico establecido y determinado por las condiciones de trabajo y los niveles de deterioro a los que se expone durante su interacción con la materia prima, el propósito es el de mejorar los niveles de producción, eficiencia del equipo y minimizar los costo de operación.

Es necesario determinar y conocer los factores y condiciones que intervienen en la operación de la maquina durante la fabricación de ladrillos, para ello determinaremos las fuerzas que intervienen en el avance de la arcilla al interior del cilindro, con estas podremos analizar el comportamiento del sistema de extrusión frente a la interacción de dichas fuerzas y así poder establecer los niveles de condiciones optimas para el trabajo de la maquina.

Fue necesario también determinar y establecer el tipo de materia prima y materiales de trabajo con que la fabrica trabaja para la elaboración de sus productos, lo que mostró ciertos factores y propiedades que la arcilla presenta a la hora de ser sometida a procesos de este genero.

INTRODUCCIÓN

La industria Ladrillera de la Costa se fundo en el año 1990 por iniciativa del señor VÍCTOR VELÁSQUEZ el cual conformo una asociación con la idea de construir una industria de este tipo ya que para este tiempo la ciudad de Cartagena poseía proveedores a nivel del interior del país.

Iniciaron labores con maquinaria netamente traída del exterior específicamente de España bajo la firma representativa de maquinarias tipo Verdez . En la actualidad cuentan con los mismos equipos y bajo parámetros de rediseños, permitiendo así mejorar en calidad y rendimiento; y así encontrarse en la capacidad competir con las otras empresas de esta índole.

La industria Ladrillera de la Costa funciona en un terreno propio de 17 hectáreas, ubicada en la carretera de la cordialidad, población de Bayunca (Bolívar), Kilómetro 15.

Industrias Ladrillera de la Costa es una empresa de tipo comercial, dedicada a la fabricación y comercialización de productos que vienen a suplir una necesidad presentada por la industria de la construcción.

Este proyecto es una guía completa para el estudio y optimización de una maquina extrusora de arcilla para la elaboración de ladrillos, fundamentada en los principios de diseño de ingeniería. Facilita al lector una clara información

que complementa de forma eficaz la teoría y práctica en el tema de la elaboración y obtención de ladrillos y la de sus procesos de fabricación.

Con la **OPTIMIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE TRABAJO PARA EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE ARCILLA**, se obtendrá un proceso continuo que permite el empleo de elementos de trabajo alternativos y de la minimización parcial de los grandes deterioros sufridos por la maquinaria a la hora de su puesta en marcha.

Por tratarse de una optimización particular su desarrollo depende del conocimiento detallado de los materiales, materia prima y de las necesidades a suplir; es por ello que al iniciar el estudio de los capítulos se empieza estableciendo la caracterización de la materia prima de igual forma la de los elementos de trabajo y las posibles soluciones correctivas a tener en cuenta para lograr el punto óptimo de producción con los máximos niveles de rendimientos y bajo los mínimos niveles de deterioro.

Posteriormente se sigue en la definición generalizada de los diferentes tipos de extrusión para la elaboración de ladrillos que existen, escogiendo específicamente el que se relaciona con nuestro estudio y bajo los parámetros de los procesos con que trabaja la empresa, teniendo en cuenta a la vez que los costos de construcción sean razonables para ser estudiados por la junta

directiva y que así el proyecto se convierta en una alternativa viable para ser ejecutada.

Se continua con el diseño de cada uno de los elementos constituyentes de la maquina extrusora (Cuchillas), teniendo en cuenta las características y el comportamiento del material empleado como materia prima para la elaboración de ladrillos, el medio por el cual se realizará este proceso y las condiciones que debe presentar el material que actúa como elemento de trabajo en los procesos de producción.

Se muestra de forma clara e ilustrativa la manera en que se debe realizar la reconstrucción y los tratamientos a los que deben ser sometidos los elementos de trabajo para obtener un mayor rendimiento, con especificaciones y materiales accesibles en el mercado regional.

Se enuncian recomendaciones, a tener en cuenta y se elabora un programa o plan de mantenimiento que permitirá una vida útil y razonable del sistema de extrusión y a la vez poder obtener el punto optimo de operación respecto al proceso completo en la fabricación del ladrillo.

TABLA DE CONTENIDO

Temas	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ARCILLAS Y LOS ACEROS DE TRABAJO.	1
1.1. Recursos Disponibles	1
1.2. Materia Prima.	1
1.2.1. Localización de la Arcilla.	2
1.2. 2. Composición de la Arcilla.	3
1.2.3. Propiedades de la Arcilla.	4
1.2.4. Preparación.	7
1.2.5. Ensayos para la Arcilla y Sus Resultados.	8
1.3. Descripción de los Productos y Procesos Básicos.	26
1.3.1. Mano de Obra.	26
1.3.2. Características de los Ladrillos.	27
1.4. Determinación y Estudio de Materiales Empleados.	37
1.5. Elementos de Trabajo (Acero 1045).	45
1.5.1. Composición del Acero.	45
1.5.2. Propiedades	46
1.5.3. Aplicaciones.	46
2. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS.	47
2.1. Extracción de la Arcilla.	48
2.2. Preparación de la Arcilla.	49
2.2.1. Maquinas de Cilindros Lisas o Laminadores.	50
2.2.2. Trituradores.	50
2.2.3. Mezcladora de Arcilla.	51
2.3. Las Pasta.	51
2.3.1 Elementos que Componen las Pastas.	52

2.3.2. Tipos de Pastas.	52
2.3.3. Moldeo de las Pastas.	53
2.4. Secado del Ladrillo.	55
2.5. Cocción del Ladrillo.	58
2.5.1. Precalentamiento.	58
2.5.2. Calentamiento.	59
2.5.3. Cocción.	59
2.5.4. Enfriamiento.	61
3. SISTEMA DE EXTRUSIÓN PARA EL MOLDEO DE LA ARCILLA Y SUS PARÁMETROS DE OPERACIÓN.	62
3.1. Factores Dependientes de la maquinaria de Extrusión.	62
3.2. Fuerzas que intervienen en el Avance de la Arcilla al Interior del Cilindro Extrusor.	68
3.3. Máximas Condiciones para Lograr el Máximo Rendimiento.	71
4. TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS ELEMENTOS DE TRABAJO Y SUS PROPIEDADES.	83
4.1. Generalidades Acerca de los Temples	83
4.2. Tratamientos Aplicables a los Elementos de Trabajo.	83
4.3. Principios que Intervienen en el Templado	84
4.4. Medios Enfriadores	87
4.5. Templado Superficial de los Aceros al Carbono y sus Efectos	92
4.5.1. Efecto del Carbono	93
4.5.2. Efecto del Tamaño de Grano	96
4.5.3. Efecto de las Variaciones de Temperatura	97
4.6. Alabeamientos y Formaciones de Grietas	98
4.7. Determinación de la Dureza Promedio Adquirida por el Acero 1045 Durante la Operación de Temple sobre Baño de Aceite SAE W50 Y Aceite Dieléctrico (Capella).	100
5. CÁLCULOS DE DISEÑO	106
5.1. Cálculos del flujo Masico y Volumétrico	106
5.2. Cálculos de Fuerza Axial, Torque mínimo en el tornillo y Potencia	113

necesaria en el sistema.	
5.2.1 Calculo de Fuerza Axial debido a la Presión Interna dentro del Cilindro de Extrusión.	113
5.2.2. Calculo de Torque debido a Carga Generada por la Presión Interna al Interior del Cilindro Extrusor.	116
5.2.3. Calculo de Esfuerzos sobre el Eje extrusor	112
5.3. Calculo de Perdidas de Potencias Transmitida o de Proyecto desde el Motor Eléctrico hasta el Eje Extrusor.	124
5.3.1 Determinación del Porcentaje de Potencia Perdida Durante la Transmisión Por Correas V-V.	125
5.4. Diseño de Uniones Soldadas.	126
6. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LA MAQUINA EXTRUSORA	139
6.1. Generalidades sobre Mantenimiento.	139
6.2. Tipos de mantenimientos.	139
6.3. Selección del Mantenimiento a seguir.	141
6.3. Programa de Mantenimiento para los Elementos Componentes de la Maquina Extrusora.	143
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	146
7.1. Análisis Comparativo.	146
7.2. Calculo del Tiempo de Retorno de la Inversión.	146
CONCLUSIONES	
OBSERVACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plasticidad de la Arcilla.	5
Figura 2a. Formaciones de martensita y perlita sobre estructura de acero de 1045.	44
Figura 2b. Inclusiones oxidantes sobre estructura de acero 1045.	44
Figura 3. Diagrama de flujo de la producción de ladrillos.	47
Figura 4. Extracción y ubicación de la arcilla en las inmediaciones de la planta.	48
Figura 5. Preparación y limpieza de las Arcillas en Tolva de almacenamiento.	49
Figura 6. Mezcladora de arcilla para la homogenización de la pasta.	51
Figura 7. Maquina extrusora para la elaboración de ladrillos en sitio.	54
Figura 8. Moldeado de ladrillos a través de la maquina de extrusión.	55
Figura 9. Cámara de precalentamiento para el secado de ladrillos.	57
Figura 10. hornos de calentamiento para la cocción de ladrillos.	60
Figura 11. Zonas o Cámaras dentro del cilindro Extrusor	68
Figura 12. Fuerzas que intervienen en el avance de la arcilla.	71
Figura 13. Vista de las Costillas Longitudinales a lo largo del Cilindro extrusor.	73
Figura 14. Variación de presión en el interior del cilindro de la extrusora.	80
Figura 15. Diagrama de Temperaturas Criticas Apreciadas con la Vista Correspondientes al Normalizado, Recocido y Templado.	84
Figura 16. Efecto del Contenido de Carbono sobre la Dureza de los Aceros al Carbono con Estructura Martensitica y Perlitica (Aproximado).	95
Figura 17a. Veta de Escoria en un Acero como Causa de Defecto en un Templado.	99
Figura 17b. Matriz de Acero al Carbono Templada con Esquinas y	

Bordes Desconchados; Acero de Temple superficial.	
Figura 18. Perfil de Velocidades Presentados por Fluidos No Newtonianos	107
Figura 19. Efectos de Punta de Borde Presentados sobre Fluidos No Newtonianos.	108
Figura 20. Perfil de Velocidad de la Arcilla en el Interior del Cilindro.	109
Figura 21. Datos Medibles sobre Eje de Extrusión.	112
Figura 22. Detalle Posterior del Tornillo Extrusor.	114
Figura 23. Diagrama de Cuerpo Libre para Fuerza Axial Resultante.	114
Figura 24a. Esquema de Extrusora según Configuración de Planta .	121
Figura 24b. Esquema de Extrusora según Configuración de Planta .	121
Figura 25. Esquema del Tren de Engranajes de Doble Reducción para la Transmisión de Potencia.	122
Figura 26. Esquema de Superficie de Cuchilla Helicoidal.	135
Figura 27. Fuerza resultante sobre cuchilla helicoidal.	143
Figura 28. Detalle de Unión Soldada tipo Filete para Arreglo entre Hélice y Eje Extrusor.	143
Figura 29. Cubo de Hélice que se pierde durante el recambio de las cuchillas.	148
Figura 30. Distribución para el Cálculo del tiempo de Retorno de la Inversión.	162

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de la arcillas.	3
Tabla 2. Composición química de la arcilla de trabajo.	4
Tabla 3. Análisis del numero de finura sobre tamices bajo normas AFS.	10
Tabla 4. Clasificación de las Arenas de Moldeo Según Norma AFS.	11
Tabla 5. Factores Para Determinar la permeabilidad de las arcillas bajo normas AFS.	20
Tabla 6. Factores Para Determinar la Resistencia Mecánica sobre las Arcillas bajo Normas AFS.	24
Tabla 7. Valores Mínimos que Deben Cumplir los Ladrillos para las Pruebas de Absorción de Agua, Resistencia a la Flexión y a la Compresión.	35
Tabla 8. Datos de Dureza Rockwell Establecidos por medio de Operación de Temple en Baño de Aceite Dielectrico (Capella).	100
Tabla 9. Datos de Dureza Rockwell Establecidos por medio de Operación de Temple en Baño de Aceite SAE W50.	103
Tabla 10. Especificaciones y Recomendaciones para realizar el debido Temple sobre los Elementos en Estudio.	105
Tabla 11. Presiones Internas en Extrusoras Tipo Verdes 42/44 506. Monoblock.	113
Tabla 12. Coeficientes de Fricción Sobre Plancha de Acero.	117
Tabla 13. Dimensiones de la Maquina Extrusora según Configuracion	121
Tabla 14. Valores de Coeficientes de Corrección para Efectos de Diámetro Pequeño y Arco de Contacto.	132
Tabla 15. Propiedades de los Electroodos de Soldar Acero.	145
Tabla 16. Clasificación de los Electroodos.	146
Tabla 17. Electroodos Recomendados para Soldadura Fuera de Posición.	146
Tabla 18. Características de los Cubos en Estudio.	149

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Productos fabricados por la Ladrillera	36

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 1. Curva de permeabilidad presentada por muestras de arcilla de la Ladrillera.	21
Grafico 2. Curva de Resistencia para las arcillas de trabajo extraídas de la Ladrillera.	25
Grafico 3. Curva del comportamiento del acero AISI 1045 sometido a temple.	

TABLA DE ANEXOS

ANEXO A. Reactivos de Ataque Para Examen Microscópico.

ANEXO B. Coeficientes De Servicios N_s

ANEXO C. Longitudes Normalizadas De Corras Trapezoidales Norteamericanas De Potencia Constantes.

ANEXO D. Propiedades de los aceros 1045 bajo Tratamientos Térmicos Recomendados y sus niveles de dureza Alcanzados.

ANEXO E. Densidades Absolutas y Relativas Especificas.

1. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ARCILLAS Y LOS ACEROS DE TRABAJO

1.1. RECURSOS DISPONIBLES

1.2. Materia Prima.

La arcilla es un mineral que procede de la descomposición de los feldespatos. Consiste básicamente de silicato de alúmina hidratado, y contiene además, pero en menores cantidades, piedras calizas, arenas, óxidos de hierro, etc. En el actual proceso industrial, la arcilla adquiere formas y dimensiones inimaginables, lográndose características que ningún otro producto químico puede igualar. La arcilla es resistente y duradera, y al ser manufacturada mantiene sus ventajas sobre otros materiales compuestos que sufren con el paso del tiempo procesos de degradación.

Las distintas arcillas se formaron, primero a partir de la descomposición de las formaciones rocosas y, por la acción de distintos factores, presión tectónica, movimientos sísmicos, distintos tipos de erosión, etc., y segundo por la adquisición, durante el viaje hasta su lugar de sedimentación, de diferentes impurezas de origen mineral; por lo tanto, dependiendo de las características de la roca de origen, existen innumerables tipos de arcillas, cada una de las

cuales posee unas propiedades particulares. Entre sus componentes básicos debemos destacar las materias plásticas como el *caolín* y la arcilla y, los no plásticos o *antiplásticos*, como el *cuarzo*, la arena o la *pegmatita*, que prestan un papel fundamental en el proceso de transformación de los materiales dentro del horno, actuando como fundentes. Por la utilización de las distintas clases de arcillas las podemos dividir en dos grupos:

- Arcillas de alfarería.
- Arcillas para loza (dentro de este grupo existen otras variedades que se denominan gres, refractarias y porcelana).

1.2.1. Localización de la Arcilla

Las minas se encuentran habitualmente a cielo abierto, y las alfarerías se ubican a corta distancia, muchas veces al borde de las mismas minas. Para proceder a la extracción de la arcilla se debe solicitar a los organismos competentes el correspondiente permiso de explotación, trámite que regula la adecuada conservación del ambiente.

Actualmente los medios mecánicos como tractores y cargadores facilitan, junto con los medios de transporte, la operación del traslado de la arcilla al área de almacenaje.

1.2.2. Composición de la Arcilla.

Los constituyentes principales de la arcilla son sílice, alúmina y productos hidratos de la descomposición de las rocas aluminosas y silicatadas, la arcilla no es la expresión genuina del terreno de donde procede, y la diversidad de su origen es la causa de la variedad de sus clases. Esta variedad está aún aumentada por la presencia de elementos extraños a la arcilla, por los cambios en la formación de depósitos y por otras causas determinantes sobre la composición química. Sobre un mismo yacimiento se encuentran arcillas completamente distintas, unas más magras, otras más grasas.

Tabla 1. Composición de la Arcillas.

Tipo	Compuesto	Formula
Cuarzo	Oxido de Silicio	SiO₂
Silicatos	Feldespato	
	Esodumena	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Petalita	LiO ₂ .Al ₂ O ₃ .8SiO ₂
	Cinita	Al ₂ O ₃ .4SiO ₂
	Circon	ZrO ₂ SiO ₂
	Wollastonita	CaO.SiO ₂
	Anortosita	CaO.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂
	Olivino	2NaO.4SiO ₂
No Silicatos	Bauxita	Al ₂ O ₃ .Nh ₂ O
	Magnetita	MgCO ₃
	Dolornita	MgCa(CO ₃) ₂

Fuentes: Rives, V. Materiales cerámicos

Según datos encontrados de estudios realizados en las inmediaciones de la ladrillera, la arcilla presente en el área de excavación y recolección presenta la siguiente composición química:

Tabla 2. Composición Química de la Arcilla de Trabajo.

MUESTRA	1	2	3
Ph, Unidades	6.5	8.2	7.5
Carbonato de Calcio (C_aCO_3)%	00.2	0.03	0.05
Cal Libre (C_aO)%	1.02	1.53	1.86
Oxido de Aluminio (Al_2O_3) %	2.05	2.5	2.3
Oxido de Hierro (Fe_2O_3) %	7.02	12.37	11.23
Sílice (Si_2) %	79.6	80.0	81.24
Oxido de Magnesio (MgO) %	2.04	2.63	2.84
Sulfato (SO_4) %	0.025	0.03	0.002
Cloruros (CL) %	0.14	0.03	0.06
Humedad (H_2O)%	6.05	6.3	6.15
Perdidas por Ignición a 1000°C	126	14.3	9.4

Fuente: Estudio de Química y Farmacia de la Universidad de Cartagena y Estudios Realizados en La C.U.TB.

1.2.3. Propiedades de la Arcilla.

La bondad de una arcilla para ladrillos depende de diversas circunstancias determinadas por su plasticidad, capacidad de absorción y cesión de agua, capacidad aglutinante, contracción en el secado y cocido, y comportamiento al calor.

Plasticidad.

Se define como la capacidad para formar una masa plástica (pasta) con el agua. Esta masa puede ser moldeada fácilmente, pero conserva la suficiente rigidez para evitar la deformación, las arcillas secas no son plásticas, y es necesario agregar una cierta cantidad de agua para producir la plasticidad requerida. La función del agua es la de formar una capa alrededor de las partículas escamosas de arcilla, de tal modo que facilite su orientación paralela y el movimiento bajo presión (Figura 1).

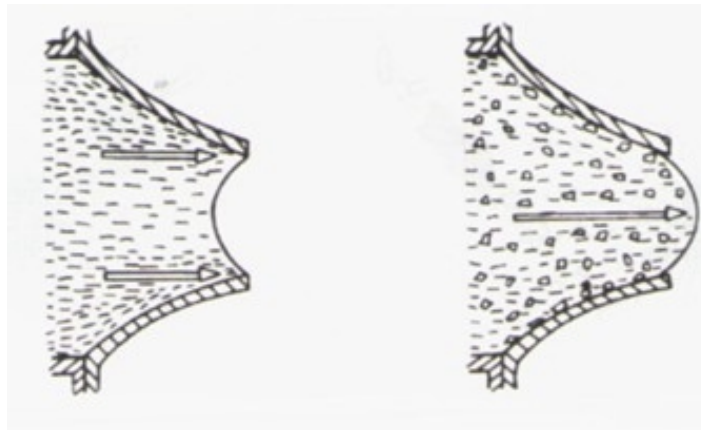


Figura 1. Plasticidad de la arcilla.

La cantidad de agua necesaria para hacer plástica la arcilla depende del tamaño y la forma de las partículas del material, sus características superficiales y presencia de electrólitos. Existe un contenido mínimo de agua definido, por debajo del cual la arcilla deja de comportarse como un material plástico y se comporta como sustancia frágil o desmenuzable, conocido como límite plástico de la arcilla. Si se aumenta la proporción de agua la arcilla se vuelve más plástica hasta que se alcanza el punto en el cual empieza a fluir y

se vuelve húmeda y pegajosa, conocido como límite líquido. La diferencia en el contenido de agua entre el límite de líquido y el límite plástico es el índice de plasticidad, y representa el límite de plasticidad de la arcilla.

Capacidad Aglutinante.

Posee la arcilla capacidad aglutinante cuando húmeda puede llegar a admitir entremezclada en su masa cierta cantidad de materias pulverulentas más o menos granulosas y dejando secar el material obtenido, llega a alcanzar en este estado cierta resistencia mecánica. Las arcillas grasas se caracterizan por poseer una fuerte plasticidad junto con una notable capacidad aglutinante.

Capacidad de Absorción.

La capacidad de absorción de agua está determinada por la mayor o menor facilidad de humectación, que produce esponjamiento de las partículas de arcilla, que detendrán el paso del agua en mayor cantidad cuando esta es magra.

Contracción de la Arcilla.

Está determinada por la disminución de volumen sufrida en el secado y cocción de las piezas moldeadas; en estos procesos se reducen los espacios porosos intermedios. Las arcillas grasas se contraen más que las magras.

Comportamiento al Calor.

El comportamiento de la arcilla al calor depende de su contenido de fundentes (ácido silicio, cal, óxido de hierro magnesio y álcalis). De la mayor o menor cantidad de estos componentes depende una mayor o menor cantidad de reblandecimiento de la arcilla, reblandecimiento que pasando por el estado vitrificado, puede llegar a la fusión. Las arcillas pobres en fundentes requieren más calor para la cocción que las ricas.

1.2.4. Preparación

La arcilla proveniente del cajón alimentador se tritura, muele o lamina con diferentes procedimientos, pero siempre con el objeto de obtener partículas uniformes con tamaños menores a 0.5mm. Al llegar la arcilla a la máquina mezcladora se le añade agua para que al salir la arcilla de la extrusora contenga alrededor del 15% de humedad.

1.2.5. Ensayos para la Arcilla

Análisis Granulométrico

1. OBJETIVO:

Determinar el número de la finura de las arenas, para permitir su coherencia a la adhesión, establecer su contenido de humedad y de arcilla

2. RECURSOS:

Agitador de tamices

Serie de once tamices norma AFS

Cronometro

Balanza

Arena 50 gramos

3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:

Se prepara una muestra de 50 gramos de arena y once tamices según la norma y se procede de la siguiente manera:

1. Distribuir los once tamices de la serie en orden descendente uno debajo del otro, por último la charola

2. Verter la arena seca y seleccionada
3. Llevar el conjunto al agitador de tamices y someterlo durante tres minutos
4. Tomar uno por uno de los tamices, sacar la muestra retenida y pesarla
5. Para convertir los pesos de los tamices individuales al porcentaje retenido, dividir esas cifras por el peso total de la muestra obtenida y multiplicar por cien.
6. Tabular el resultado
7. Calcular su porcentaje equivalente y multiplicarlo por el factor de la tabla
8. Se repite este proceso para cada uno de los tamices
9. Se suma los resultados del producto final
10. Se suma el porcentaje retenido
11. La sumatoria del producto final sobre la sumatoria de los porcentajes retenidos

El resultado del anterior equivale al numero de la finura de la arena

Tabla 3. Análisis del Numero de Finura Sobre Tamices bajo Normas AFS.

No.	Cal.Tamiz	Gramos Ret.	Porcentaje Ret.	Factor Multipl.	Producto F
1	6	0	0	3	0
2	8	0	0	5	0
3	20	17	34	10	340
4	32	10.5	21	20	420
5	40	3	60	30	1800
6	52	5.4	10.8	40	432
7	76	7.9	15.8	50	790
8	96	1	2	70	140
9	104	1.4	2.8	100	280
10	150	1.35	2.7	140	378
11	200	0.7	1.4	200	280
	Charola	1.45	2.9	300	870
	Totales	49.7	153.4	968	5730

Fuentes: Laboratorio de Soldadura y Fundición CUTB.

4. CONCLUSIÓN:

$$NF = \frac{\text{Producto.total}}{\text{Porcentaje.total}} = \frac{5730}{153.4} = 37.35 \quad Ec(1)$$

El numero de finura del grano de las arenas, es un método rápido para establecer:

1. El tamaño del grano de las arenas
2. La forma del grano de las arenas
3. El índice de finura del tipo de arena
4. La clasificación del grado de la arena

Según el manual de las normas AFS para la elaboración de soldaduras y fundiciones, se establece que las arenas de moldeo pueden establecerse según su número de finura en categorías tales como se muestran en la siguiente tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de las Arcillas Según su Numero de Finura bajo Normas AFS.

Clasificación	Numero de Finura
75 – 150	Arenas para todo tipo de construcción.
150 – 300	Arena de moldeo, especiales para la elaboración de moldes permanentes
300-600	Arenas Vitrificadas.

Fuente: Manual de Normas AFS.

Contenido de humedad

1. OBJETIVO:

Las arenas contienen humedad que absorben del medio ambiente. Se puede calcular su contenido a través de formula:

CONTENIDO DE HUMEDAD

$$H = \frac{P_h - P_s}{P_h} \times 100 = \frac{100gr - 93.73gr}{100gr} \times 100 = 6.27\% \quad Ec(2)$$

Donde:

H = humedad de la arena = 6.27%

P_h = Peso de la arena humedad = 100gr.

P_s = Peso de la arena Seca = 93.73gr.

2. RECURSOS:

Mufla eléctrica para secar la arena

Balanza

Charolas de acero níquel

Pinza

Espátula larga

Guantes aislantes térmicos

3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:

Se prepara una muestra de 50 gramos de arena y se procede de la siguiente manera:

1. En una charola metálica previamente pesada se vierten los 50 gramos de arena. El peso de la charola mas el peso de la arena húmeda (relativa)equivalen a P_h
2. La charola con la arena se depositan en la mufla para someterlos durante 60 minutos al proceso de secamiento a una temperatura de 110° C

3. Transcurrido el tiempo se extrae la charola y se pesa nuevamente con la arena seca, el peso de la charola con la arena seca equivalen a P_s
4. Se remplazan valores en la formula y el resultado final es el porcentaje de humedad relativa de la arena

Contenido de arcilla

1. OBJETIVO:

Las arenas de moldeo contienen aglomerantes naturales que permiten la compactación de la arena usada en la fabricación del molde. Se puede calcular su contenido a través de formula:

CONTENIDO DE AGLUTINANTE:

$$C.A. = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 = \frac{50gr - 43gr}{50gr} \times 100 = 14\% \quad Ec(3)$$

Donde:

- CA = Contenido de aglutinante = 14%
- P_i = Peso inicial de la arena con aglomerante = 50gr
- P_f = Peso final de la arena sin aglomerante = 43gr

2. RECURSOS:

Soda cáustica en lentejuelas

Agua destilada

Vaso precipitado de 2000_{cc}

Agitador eléctrico

Mufla eléctrica para secar la arena

Balanza

Charolas de acero níquel

Pinza

Espátula larga

Guantes aislantes térmicos

3. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:

1. Seleccionar y pesar 50 gramos de arena de moldeo
2. Colocar la muestra en un vaso precipitado con 475cc de hidróxido de sodio (lejía), preparada en una solución normal (0,26) diluyendo 150 gramos de lentejuelas de soda acuática en 500_{cc} de agua destilada.
3. Pasarlo al agitador eléctrico y someter la muestra durante unos minutos en agitación, hasta que las aspas del agitador se aceleran aproximadamente a los tres minutos, indicando que la arcilla se desprendió de los minerales
4. Apagar el agitador y agregar agua destilada hasta completar seis pulgadas de agua, encender nuevamente agitando durante un minuto para lograr que las partículas de la arcilla entren en suspensión.

5. Apagar el agitador y decantar por cinco minutos. Según la norma AFS define la arcilla como las partículas que sedimentan con una velocidad menor de una pulgada por minuto, cuando están suspendidas en agua. Las partículas usualmente tienen un tamaño de 20 micrones (0,0008”) de pulgada
6. Sifonie cinco pulgadas de agua, logrando de ésta manera ir eliminando las partículas de arcilla en suspensión.
7. Repita el proceso hasta cuando al cabo de la espera de la decantación el agua este clara, indicador de la no presencia de arcilla.
8. Extraiga el residuo y séquelo, calcule el porcentaje aplicando la formula de humedad. La resultante es el porcentaje de arcilla de la arena.

Probeta Estándar “AFS”

1. OBJETIVO:

Para poder determinar si una arena al ser mezclada con un aglomerante artificial brinda las condiciones optimas de permeabilidad y resistencia, es necesario realizar primero una probeta de acuerdo a una norma para estandarizar los ensayos

2. RECURSOS:

Arena Calcárea

Aglutinante

Agua

Balanza

Apisonador de probetas:

- Cilindro porta probeta
- Base del cilindro
- Pisón
- Poste extractor de probetas

3. PROCEDIMIENTO:

- 1- Colocar la relación de la mezcla de arena, aglomerante y agua cuidadosamente en el recipiente del cilindro porta probeta.
2. Colocar el cilindro en el pedestal, teniendo en cuenta que la base del cilindro no es roscada
3. Bajar suavemente el pisón dentro del cilindro hasta que lo sostenga la mezcla de arena
4. Levantar lentamente la excéntrica del pisón hasta lograr que caiga por si solo dentro del cilindro. Note si la marca de la probeta tiene la altura correcta, si la probeta no tiene la altura correcta descártese la probeta y vuelva a prepararse nuevamente.
5. Repetir el paso cuarto dos veces mas para un total de tres golpes
6. Levante suavemente el pisón y ponga el seguro pasador.
7. Retire el cilindro porta probeta del pedestal, y llévelo al gasómetro para prueba de permeabilidad. En caso de prueba de resistencia a la

compresión se requiere la extracción de la probeta del recipiente, en tales casos se utiliza el poste extractor.

8. Para extraer la probeta del recipiente se coloca el poste suavemente dentro del cilindro, se invierte la posición de tal manera que el poste quede descansando sobre la mesa de trabajo. Presione el cilindro manualmente sobre el poste extractor, para forzar la salida de la misma, cuidando de no deformarla.

4. CONCLUSIÓN:

La uniformidad en la altura de las probetas es factor decisivo en el análisis de los resultados. Una probeta baja la altura de la caída del pisón no alcanza a compactarla y una probeta alta el grano queda muy compactado. Cuando una probeta de arena es apisonada correctamente la altura dentro del cilindro después de los tres golpes es de 50,8 mm

Curva de Permeabilidad de las Arenas

1. OBJETIVO:

Una vez confeccionada la probeta, y antes de sacarla del cilindro, la someteremos a una prueba de permeabilidad, para determinar la capacidad para desalojar los gases que se generan durante la cocción.

2. RECURSOS:

Balanzas

Arena, aglutinante y agua

Apisonador de probetas

Gasómetro

- Campana para aire confinado
- Cilindro para sello de agua
- Válvula para flujo de aire
- Tubo porta probeta
- Manómetro de presión

Cronometro

Tablero de tabular

Tablero de graficar

3. PROCEDIMIENTO:

1. Una vez apisonada la probeta y atrapada dentro del cilindro, la llevamos al gasómetro, para obligarla que permita el paso de 2000cc de aire inyectados por el desplazamiento de la campana. Conocido como "V" volumen del aire
2. El gasómetro cuenta con un manómetro que controla la presión interna conocido como "P1" presión de los diez cc de agua del manómetro
3. El tiempo parámetro para el cálculo del desplazamiento de la campana es conocido como "T1" tiempo uno
4. La altura de la probeta es conocida como "H" 5,08cm
5. El área de la sección transversal de la probeta se conoce como "A" = 20,27

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:

- 1- Se abre la válvula que permite la entrada de aire al interior de la campana.
- 2- Se levanta la campana la cual queda en la marca cero, se revisa el nivel del agua en la mirilla y se desaloja el aire atrapado en ella.
- 3- Se coloca la probeta en el contenedor haciendo el sello con el empaque "orim" humedecido.
- 4- Se revisa el nivel de 10_{cc} de agua del manómetro
- 5- Se abre la válvula que permite la salida del aire de la campana, midiendo con un cronometro el tiempo que tarda en desalojar el aire
- 6- Se grafica en la tabla los valores de P₂ (presión interna de la probeta) y T₂ (tiempo en desalojar el aire)
- 7- Se aplica la formula de permeabilidad:

$$P = \frac{3007,4 \text{ cm/s}}{P_2 \times T_2} \quad Ec(4)$$

$$\text{donde } 3007,4 = \frac{V \times H}{A} = \frac{501,2}{P_1} \times T_1 = 3007,4 \text{ cm/s}$$

DEFINICIONES:

V = Volumen del aire 2000cc

H = altura de la probeta 5,08 cm

A = área de la sección transversal de la probeta 20,27 cm²

P₁ = presión de 10cc de agua del manómetro

T_1 = Tiempo estándar 60 s.

5. CONCLUSIÓN:

1. Reemplazamos en la formula la presión 2 y el tiempo2 para c/u de las probetas
2. Tabulamos los valores de los indicadores
3. Graficamos los resultados
4. Análisis de los resultados
5. Selección de la permeabilidad ideal

Tabla 5. Factores Para Determinar La Permeabilidad de las Arcillas.

% HUMEDAD	PRESIÓN (Cm)	TIEMPO (seg.)	PERMEABILIDAD (Cm/Seg)
3 %	10.5	270	1.06
4 %	10.5	250	1.14
5 %	10.7	100	2.81
6 %	10.8	24	11.60
7 %	10.8	16	17.4
8 %	10.9	14	19.7
9 %	11	10.8	25.31
10 %	11.5	9.7	26.96
11 %	11.5	9.2	28.42

Fuentes: Laboratorio de Soldadura y Fundición CUTB.

OBSERVACIÓN:

- ⊕ De los resultados arrojados a partir del ensayo de permeabilidad en la arcilla podemos establecer que a mayor porcentaje de humedad presente

en estas, mayor será la permeabilidad adquirida, ósea que para este ensayo se guarda una proporcionalidad entre % de humedad y la permeabilidad. Teniendo en cuenta que para las arcillas mas secas se presenta una disminución considerable en el desplazamiento del flujo de aire a través de estas y que esto en cierto modo representa una perdida de eficiencia en el momento en que se realiza el vacío a la arcilla a su paso por el grupo de vacío, podemos establecer que para la arcilla de este estudio es importante mantenerla entre un 6% y un 8% de humedad con la finalidad de aumentar la eficiencia de la extrusora a la hora de su homogeneización y posterior desaireado.

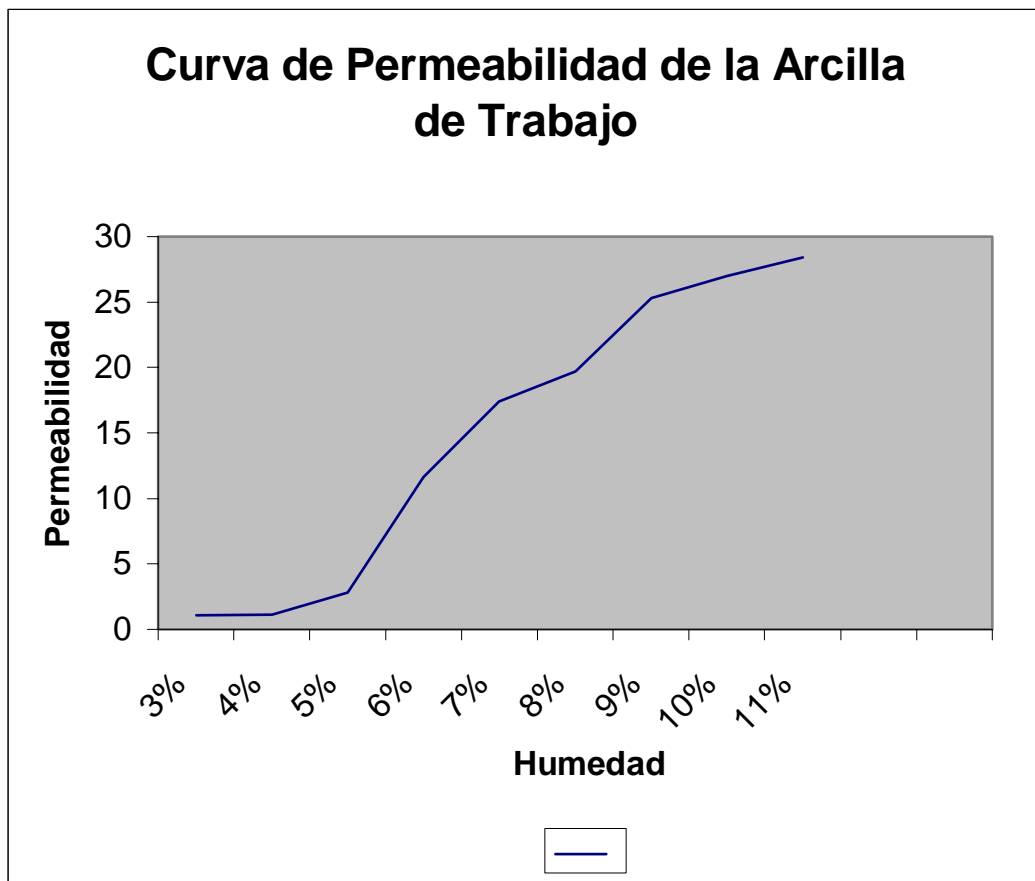


Grafico 1. Curva de permeabilidad presentada por muestras de arcilla de la Ladrillera

Curva de Resistencia

1. OBJETIVO:

Después de someter la probeta a una prueba de permeabilidad, es necesario hacerle una segunda prueba para establecer la capacidad que puede soportar a la presión de la colada.

2. RECURSOS:

Balanzas

Arena, aglutinante y agua

Apisonador de probetas

Dispositivo medidor de resistencia

- Columnas verticales

- Prensa manual de tornillo

- Regla indicadora de desplazamiento

- Resorte de comprensión

Tablero de tabulación

Tablero de graficar

3. PROCEDIMIENTO

1. Extraer la probeta del cilindro apisonador que le dio su forma estándar
2. Llevamos la probeta a la prensa de resistencia y se le ejerce una fuerza manual igual a

$$F = k \cdot x \quad Ec(5)$$

Donde:

F = fuerza de compresión Kg

K = Constante del resorte de la prensa 3,2 Kg./cm

X = Desplazamiento del resorte en cm

3. Una vez hallada la fuerza aplicada, se obtiene el esfuerzo aplicado mediante la relación

$$P = \frac{F}{A} \quad Ec(6)$$

Donde:

P = Esfuerzo de ruptura Kg/cm²

F = Fuerza aplicada Kg

A = Sección transversal de la probeta 20,27 cm²

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO:

1. Antes de someter la probeta a la prueba de resistencia se verifica su altura estándar 5,08 cm
2. Si la probeta no tiene la altura correcta vuelve a prepararla con la cantidad requerida de arena
3. Se coloca la probeta entre las dos placas de la prensa manual y se acciona el tornillo, hasta que la placa superior haga contacto. Luego se

registra la posición del reposo del resorte inferior, mediante la escala gradual vertical

4. Se comprime la probeta hasta que aparezca la primera fisura, tomando esa nueva lectura en la escala, para determinar el desplazamiento del resorte

5. Reemplace valores en la tabla y gráfíquelos.

Tabla 6. Factores Para Determinar la Resistencia Mecánica sobre las Arcillas.

% HUMEDAD	DESPLAZ. (Cm)	FUERZA (Kg.)	ESFUERZO DE RUPTURA
3 %	4.2	13.44	0.66
4 %	3.6	11.52	0.56
5 %	3.0	9.6	0.47
6 %	3.0	9.6	0.47
7 %	2.75	8.8	0.43
8 %	2.5	8	0.39
9 %	2.5	8	0.39
10 %	2.25	7.2	0.35
11 %	2	6.4	0.31

Fuentes: Laboratorio de Soldadura y Fundición U.T.B.

OBSERVACIÓN:

⊕ De los datos hallados podemos establecer que la humedad en las arcillas cumple un papel determinante sobre los niveles de esfuerzos de ruptura, habiendo un comportamiento de manera inversamente proporcional entre el % de humedad y el esfuerzo de ruptura. Lo cual significa que a menores niveles de % de humedad presente en la arcilla mayores serán los esfuerzos de compresión a los que pueda estar sometida la arcilla sin que esta se deforme.

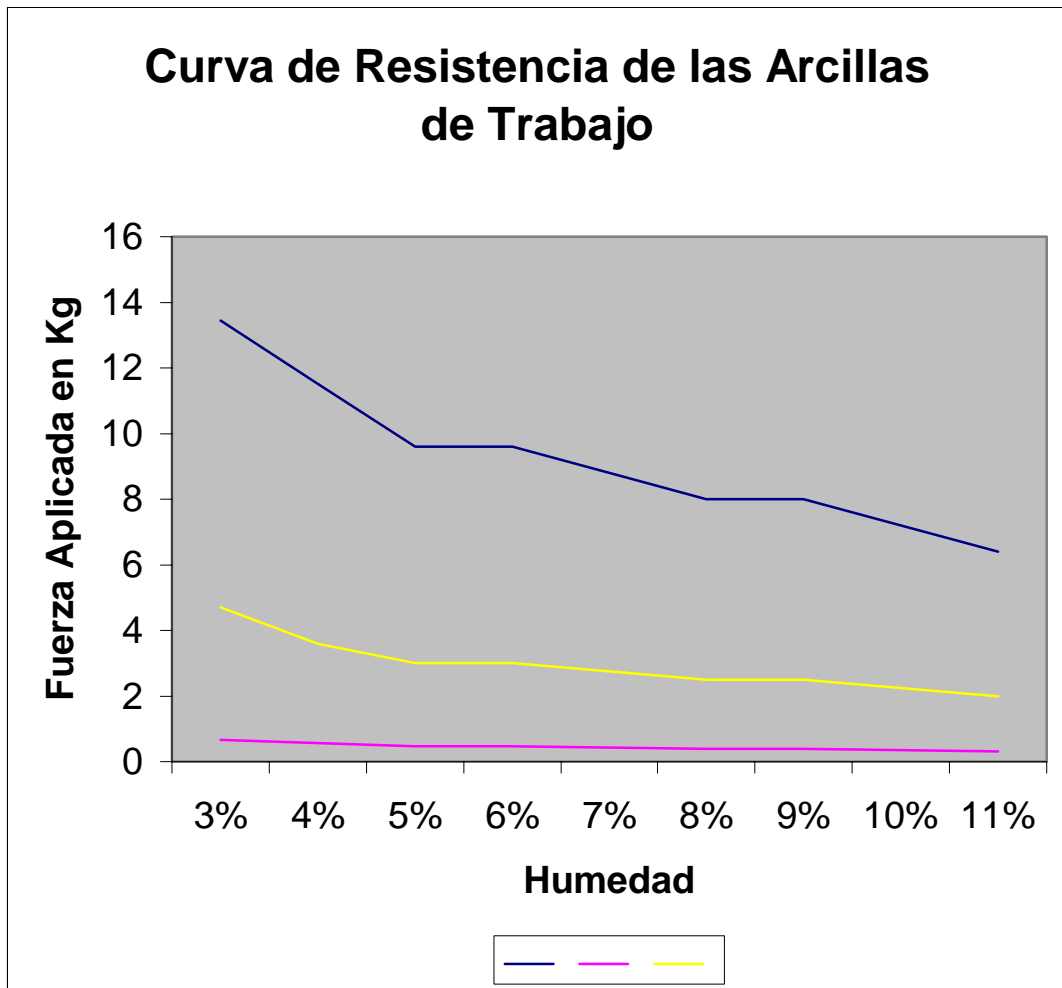


Grafico 2. Curva de Resistencia para las arcillas de trabajo extraídas de la Ladrillera.



1.3. Descripción de los Productos y Procesos Básicos

1.3.1. Mano de Obra.

El personal que labora en la planta muestra un nivel de educación bajo, ya que el 60% cuenta con estudios de primaria el 5% apenas saben leer y escribir, el 22% no saben leer ni escribir, mientras que el restante 13% posee estudios de bachillerato (8° y 9° año). Los cargos de electricista y mecánicos son desempeñados por empleados que han hecho cursos técnicos en el SENA.

No es de extrañar esta situación por cuanto el personal utilizado en las áreas operativas son no calificados; quienes adquieren las habilidades necesarias en el desempeño de sus cargos mediante la experiencia en el mismo oficio. En este aprendizaje juega un papel importante sus tareas rutinarias y sencillas. Los cargos existentes en las diferentes secciones son los siguientes:

Sección de Extracción. Operador de cargador - Operador de Volquetas.

Sección de Moldeo. Operador de maquinado - Estedero - Boquillero - Muleros.

Sección de Secado. Muleros

Sección de Horno. Operador de Cargador – recubrimiento ladrillos.

1.3.2. Características de los Ladrillos.

Definición.

Se conoce con el nombre de ladrillo, a un elemento simple macizo o no prácticamente macizo, con estrías o sin ellas, comúnmente en forma de prisma rectangular, formado a base de un material arcilloso y endurecido en su forma acabada o terminada por acción calorífica o química.

El proceso de quemado se realiza por lo general en hornos especiales cuyas temperaturas fluctúan entre los 700 y los 1.200⁰C, y es aquí donde el ladrillo adquiere una mayor resistencia a la compresión y un colorido que va desde el amarillo al rojo vivo. Este material, se usa generalmente para muros de carga, muros divisorios, así como malchanes de refuerzo; en ocasiones sirve para pisos y enchapes.

Clasificación.

Puede realizarse de acuerdo al proceso de cocción, a la forma física o al uso. La más utilizada de los anteriores es la que hace referencia a su forma según la cual puede ser macizo o hueco.

Ladrillo Macizo.

Ladrillo fabricado a mano o a máquina sin perforaciones en su interior o con perforaciones que puedan llegar hasta un 20% de su volumen, sus

características son:

- ⊕ Mayor peso, por tanto, mayor resistencia a la compresión.
- ⊕ Resiste muy bien a la acción del fuego por su forma maciza.
- ⊕ Aislante del ruido
- ⊕ Tiempo de secado y cocción mayor.
- ⊕ No presenta problemas de cruces, empates en construcción con ladrillos a la vista.
- ⊕ Es más fácil de cortar que el hueco; hay menos desperdicios.

Ladrillo hueco.

Ladrillo fabricado a mano o a máquina con perforaciones en su interior superior al 20 % de su volumen. Sus características son:

- ⊕ Poco peso con relación al macizo por tener menor cantidad de material
- ⊕ Poder aislante, al ser hueco, contiene una cantidad considerable de aire en su interior, lo cual hace se forme una cortina aislante al frío y al calor.
- ⊕ Baja resistencia a los esfuerzos de compresión y flexión con relación al macizo, en razón de su menor peso.
- ⊕ Fácil de transportar; manualmente es más fácil cargar ladrillos

huecos que ladrillos macizos. Tiempo de secado y cocción más corto por sus paredes delgadas.

- ⊕ Más cantidad de mano de obra para evitar que los huecos queden a la vista en muros.

Características generales de los ladrillos. Las cualidades de un buen ladrillo están dadas por la refinación de la arcilla y sus ingredientes, el control de temperatura de fusión, la plasticidad de la arcilla húmeda, la contracción, la resistencia, el color y la porosidad, todo para lograr las siguientes características:

- Homogeneidad, es decir la ausencia de fisuras y defectos.
- Uniformidad y firmeza del grano.
- Igualdad de sus dimensiones, para facilitar su colocación.
- Regularidad de la forma, lo que exige una superficie lisa, aristas vivas y ángulos rectos para que las medidas de morteros resulten uniformes.
- Facilidad para ser cortadas, aunque no es indispensable en la mayoría de los casos, es útil para preparar ángulos y molduras. El ladrillo debe ser resistente pero fácil de quebrar.
- Dureza que implica resistencia a la compresión y a la flexión.
- Sonoro a la percusión.

Propiedades Físico-mecánicas de los ladrillos.

Los ensayos más frecuentes para medir las características físicas y mecánicas de los ladrillos son:

Resistencia a la Compresión.

Para hallar la resistencia a la compresión puede utilizarse cualquier máquina de compresión, provista de plato con rótula de segmento esférico, teniendo en cuenta que las superficies de contacto de los apoyos sean iguales o mayores que las de la muestra de prueba.

Antes de ensayar las muestras se deben analizar y hacer paralelas las caras de cargas y perpendiculares a las otras aristas, mediante la aplicación de una capa compuesta por una mezcla que contenga azufre en proporciones de 40 a 60% (en peso) con la arcilla u otro material inerte. Las muestras se deben ensayar después de dejar enfriar las capas durante un período de tiempo mínimo de 2 horas. Si las muestras tienen depresiones, se llenarán con pasta de cemento Pórtland, que se dejará fraguar durante 24 horas después de las cuales se procederá a la aplicación de las capas. Luego las muestras se centran con respecto a la rótula de manera que la carga se aplique en la dirección de su espesor. Hasta la mitad de la carga máxima supuesta se aplica ésta a cualquier velocidad, la carga restante se aplica gradualmente en un tiempo no inferior al minuto ni superior a 2 minutos.

La norma ASTM C-67 indica que se deben ensayar 5 unidades para tomar el

promedio de los valores obtenidos.

La resistencia a la comprensión es:

$$\sigma = \frac{P}{A}, \text{ donde } A = b \times L \quad Ec(7)$$

Donde:

σ = Resistencia a la comprensión, en Kgflcm².

P = Carga de rotura, en Kg.

A = Área de la sección bruta, en cm²

b = Ancho de la muestra, en cm.

L = Longitud de la muestra, en cm.

Resistencia a la Flexión.

Para hallar la resistencia a la flexión se puede utilizar cualquier máquina para ensayos de flexión, siempre que los apoyos tengan una longitud por lo menos igual al ancho de la muestra de prueba y asegure su contacto total o permanente con la muestra.

Para la realización de esta prueba las muestras se desecan en estufa a temperatura de 110⁰C durante 24 horas. Después de esto se coloca la muestra con su cara mayor sobre los apoyos. Se hace descender la pieza superior hasta obtener un contacto directo con la superficie en el centro de la luz. Las tres líneas de contacto se mantendrán paralelas. Se aplica la carga hasta la rotura de las muestras. La resistencia a la flexión o módulo de rotura se calcula por la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} \quad M = \frac{PL}{4} \quad Ec(8)$$

En la cual:

σ_f = Resistencia a la flexión, en Kgf/cm²

M =Momento de flexión, en Kgfx cm.

L= Luz entre apoyos, en cm.

P = Carga de rotura, en Kgf

c =Distancia de la línea neutra a la fibra mas alejada, en cm.

I = Momento de inercia, en cm⁴

Absorción del Agua.

Se requiere para éste experimento una balanza que permita lecturas por lo menos de 0.5% del peso de la muestra

a) Ensayo en frío durante 24 horas.

Se usan medios ladrillos y se ensayan 5 muestras. El procedimiento es el siguiente:

Se desecan las muestras en un horno de 1 10⁰C durante 24 horas por lo menos.

Se dejan enfriar las muestras hasta temperatura ambiente.

Se pesan las muestras.

Se sumergen en agua destilada a temperatura de 15 a 30⁰C durante 24 horas.

Se sacan del agua y se secan con paño húmedo.

Se pesan. Esta operación debe hacerse dentro de los 15 minutos siguientes al

paso anterior.

La absorción de cada muestra expresada en porcentaje se calcula por la siguiente expresión:

$$ABSORCION = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100 \quad Ec(9)$$

En donde:

P₁ = Peso de la muestra desecada.

P₂ = Peso de la muestra después de 24 horas de sumergida.

b) Ensayos de agua hirviente durante 5 horas.

Se usan ladrillos y se ensayan 5 muestras. El procedimiento es el siguiente:

Se desecan las muestras en un horno a 110°C, durante 24 horas.

Se pesan las muestras.

Se sumergen en agua fría durante 24 horas.

Se calienta el agua hasta llegar a la ebullición en el término de una hora y se deja a esa temperatura durante 5 horas y se dejan enfriar hasta temperatura ambiente, durante un tiempo de 16 horas. Para esta etapa del ensayo las muestras deben apoyarse sobre el fondo del recipiente de tal manera que el agua circule por todas las caras de la muestra.

Se sacan las muestras del agua y se secan con paño húmedo Se pesan las

muestras durante los 5 minutos siguientes a la etapa anterior.

c. Coeficiente de Saturación.

Se define por medio de la siguiente relación:

$$\text{coeficiente de Saturación} = \frac{(P_1 - P_2)}{(P_3 - P_1)} \quad Ec(10)$$

Donde,

P₁ = Peso seco.

P₂ = Peso después de sumergido 24 horas en agua fría.

P₃ = Peso saturado después de 5 horas en agua hirviendo.

Los ladrillos ensayados deben cumplir con las especificaciones de la Tabla 7.

Tabla 7. Valores Mínimos que deben cumplir los ladrillos para las Pruebas de Absorción de Agua, Resistencia a la flexión y a la Compresión.

TIPO	Resistencia mínima a la Compresión en Kg/cm ² de Sección bruta				Resistencia Mínima a la Flexión en Kg/cm ²	% de absorción Máxima
	Propiedades de 5 Unidades		Individual		Promedio de 5 Unidades	Promedio de 5 Unidades
	Ladrillo Macizo	Ladrillo Hueco	Ladrillo Macizo	Ladrillo Hueco	Ladrillo Macizo o Hueco	Ladrillo Macizo o Hueco
I	300	70	250	60	40	12
II	200	50	150	40	30	16
III	30	40	60	30	20	20

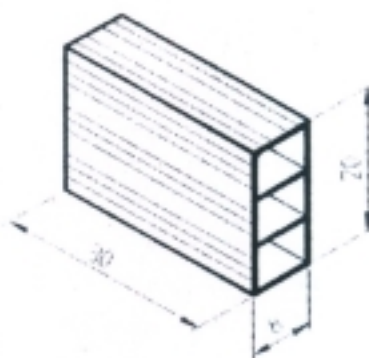
Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC.

Ladrillos Cerámicos. NTC 4511.972.

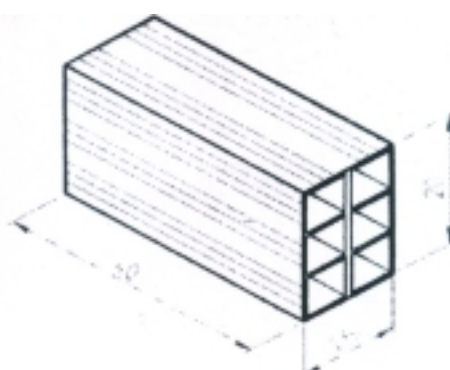
A continuación se muestra un cuadro referencial de los productos que la empresa actualmente fabrica.

Cuadro 1. Productos fabricados por la Ladrillera

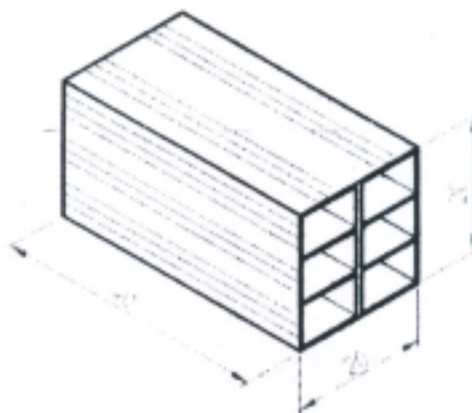
1. Ref. 3
 Largo : 30 cm
 Ancho : 20 cm
 Alto : 8 cm
 Peso Unit. : 4 kg
 U/M² : 16.5



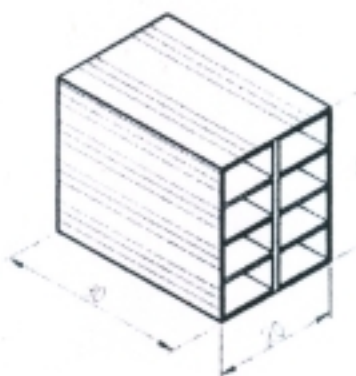
4. Ref. 6
 Largo : 40 cm
 Ancho : 20 cm
 Alto : 15 cm
 Peso Unit. : 9 kg
 U/M² : 12.5



5. Ref. 7
 Largo : 40 cm
 Ancho : 20 cm
 Alto : 20 cm
 Peso Unit. : 11 kg
 U/M² : 12.5



6. Ref. 8
 Largo : 30 cm
 Ancho : 20 cm
 Alto : 25 cm
 Peso Unit. : 12 kg
 U/M² : 13



1.4. Determinación y estudio de Materiales Empleados

La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra. El microscopio más costoso no revelará la estructura de una muestra que haya sido preparada en forma deficiente. El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es comparativamente sencillo y requiere de una técnica desarrollada sólo después de práctica constante. El último objetivo es obtener una superficie plana, sin rayaduras, semejante a un espejo. Las etapas necesarias para, preparar adecuadamente una muestra metalográfica se explican a continuación.

Muestreo

La selección de una muestra para estudio microscópico puede ser muy importante. Si lo que se va a investigar es una falla, se debe escoger la muestra más próxima al área de la falla y comparársele con una tomada de la sección normal o sana.

Si el material es suave, como metales o aleaciones no ferrosas y aceros no tratados térmicamente, la sección puede obtenerse por corte manual con una sierra. Si el material es duro, la sección puede obtenerse mediante un disco cortador abrasivo, el cual es un plato delgado fabricado de un abrasivo de tipo adecuado, que gira a alta velocidad. La muestra debe mantenerse fría durante la operación de corte.

Esmerilado burdo o tosco

Siempre que sea posible, la muestra debe ser de un tamaño fácil de manipular. Una muestra blanda se puede aplanar si se mueve lentamente hacia arriba y hacia abajo a través de la superficie de una lima plana poco áspera. La muestra blanda o dura puede esmerilarse burdamente sobre una lila de banda (rotatoria), manteniendo la muestra fría sumergiéndola frecuentemente en agua durante la operación de esmerilado. En todas las operaciones de esmerilado y pulido, la muestra debe moverse en sentido perpendicular a las ralladuras existentes.

Esto facilitará darse cuenta del momento en que las ralladuras más profundas hayan sido sustituidas por las menos profundas, características del abrasivo más fino. El esmerilado continúa hasta que la superficie quede plana y libre de mellas, rebabas, etc., y todas las ralladuras debidas al corte manual o al disco cortador no son visibles.

Montaje

Las muestras pequeñas o de forma incómoda deben montarse de alguna manera para facilitar el pulido intermedio y final. Alambres, varillas pequeñas, muestras de hoja metálica, secciones delgadas, etc., deben montarse en un material adecuado o sujetarse rígidamente en una monta mecánica.

Los materiales plásticos sintéticos que se acoplan a la muestra en una prensa para montar especial proporcionan las bases de un tamaño uniforme conveniente (generalmente de 2,5, 3, 0/4 cm de diámetro) para manipular las

muestras en ulteriores operaciones de pulido. Estas bases, cuando se han hecho en forma adecuada, son muy resistentes a la acción de los reactivos de ataque. que se emplean comúnmente. La resma termofijadora que más se emplea para montar muestras es la baquelita. Los polvos para moldear baquelita se fabrican en colores de este material, lo cual simplifica la identificación de las muestras montadas. La muestra y la cantidad correcta de polvo de baquelita, o una preforma de baquelita, se colocan en el cilindro de la prensa de montar. La temperatura aumenta gradualmente hasta 150⁰C y se aplica una presión de moldeo de unas 4 000 lbs/pulg² simultáneamente. Una vez que 'la baquelita está adherida y curada cuando se alcanza esta temperatura, la base con la muestra puede extraerse del dado de moldeo mientras está caliente.

La lucita es la resma termoplástica más común; es completamente transparente cuando se moldea en forma adecuada, esta transparencia resulta útil cuando es necesario observar la sección exacta que se pule o cuando por cualquier otra razón se desea ver por completo la muestra en la base. Al contrario de los plásticos termofijados, las resinas termoplásticas no sufren cura a la temperatura de moldeo, sino que adquieren estabilidad al enfriarse. La muestra y la cantidad de polvo de lucita adecuadas se colocan en la prensa para montar y se someten a la misma temperatura y presión que para la baquelita (1 50⁰C y 4 000 lbs/pulg²). Una vez alcanzada esta temperatura, se quita la bobina de calentamiento y las aletas de enfriamiento se colocan alrededor del cilindro para enfriar la base hasta 75⁰C en unos 7 mm al tiempo que se mantiene la presión de moldeo. Si se saca la base todavía caliente o si

se deja enfriar lentamente en el cilindro de moldeo a la temperatura ambiente sin sacarla, se opacará.

Las muestras pequeñas pueden montarse en forma conveniente para prepararlas metalográficamente en un dispositivo de sujeción hecho en el laboratorio, las muestras laminares delgadas, cuando se montan en tal dispositivo de sujeción, suelen alternarse con hojas metálicas “rellenadoras” de metal que tienen aproximadamente la misma dureza que las muestras. Si se usan hojas rellenas, se conservará la superficie libre de las irregularidades de la muestra y se evitará, de alguna manera, que los bordes de la muestra se redondeen durante el pulido.

Pulido intermedio

Después de montada, la muestra se pule sobre una serie de hojas de esmeril o lija con abrasivos más finos, sucesivamente. El primer papel es generalmente No. 1, luego 1/0, 2/0, 3/0 y finalmente 4/0.

Por lo general, las operaciones de pulido intermedio con lijas de esmeril se hacen en seco; sin embargo, en ciertos casos, como el de preparación de materiales suaves, se puede usar un abrasivo de carburo de silicio. Comparado con el papel esmeril, el carburo de silicio tiene mayor rapidez de remoción y, como su acabado es a base de resma, se puede utilizar con un lubricante, el cual impide el sobre-calentamiento de la muestra, minimiza el daño cuando los metales son blandos y también proporciona una acción de enjuague para limpiar los productos removidos de la superficie de la muestra, de modo que el papel no se ensucie.

Pulido fino

El tiempo utilizado y el éxito del pulido fino dependen en mucho del cuidado puesto durante los pasos de pulido previo. La última aproximación a una superficie plana libre de rayaduras se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño. Existe gran disponibilidad de abrasivos para efectuar el último pulido. En tanto que muchos harán un 'trabajo satisfactorio, parece haber preferencia por la forma gamma del óxido de aluminio para pulir materiales ferrosos y de los basados en cobre, y óxido de cerio para pulir aluminio, magnesio y sus aleaciones. Otros abrasivos para pulido final que se emplean a menudo son la pasta de diamante, óxido de cromo y óxido de magnesio.

La selección de un paño para pulir depende del material que vaya a pulirse y el propósito del estudio metalográfico. Se pueden encontrar paños de lanilla o pelillo variable, desde aquellos que no tienen pelillo (como la seda) hasta aquellos de pelillo intermedio (como paño ancho, paño de billar y lonilla) además de aquellos de pelillo profundo (como el terciopelo). También se pueden encontrar paños sintéticos para pulir con fines de pulido general, de los cuales el Gamal y el Micropaño son los que se utilizan más ampliamente. Una muestra pulida en forma adecuada mostrará únicamente, las inclusiones no metálicas; además, estará libre de ralladuras.

Ataque

El propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie 'pulida a 'una acción química.

En las aleaciones compuestas de dos o más fases, las componentes se revelan durante la acción química, al atacar preferencialmente, el reactivo, a una o más de estas constituyentes debido a la diferencia en composición química de las fases. En las aleaciones uniformes de una sola fase o metales puros, se obtiene contraste y las fronteras de grano se hacen visibles debido a las diferencias en la rapidez a que los- diversos granos son atacados por el reactivo. Esta diferencia en la rapidez de ataque está asociada principalmente con el ángulo que guardan las diferentes secciones de grano con el plano de la superficie pulida. Debido al ataque químico por el reactivo de ataque. las fronteras de grano aparecerán como valles en la superficie pulida. Al chocar con la orilla de estos valles, la luz del microscopio se reflejará fuera del microscopio, haciendo que las fronteras de grano aparezcan como líneas oscuras. La selección del reactivo de ataque está determinada por el metal o aleación y la estructura específica que se desea ver. La tabla 3 (Ver anexo) enuncia algunos de los reactivos de ataque comunes.

Lijado y pulido de Superficie Para Determinación del Acero de Trabajo

Para la determinación del tipo de material que se emplea como elemento constitutivo para la elaboración de los ejes extrusores fue necesario exponer el material a diversos tipos de lijas teniendo en cuenta un intervalo desde la mas gruesa a la mas fina en este caso las lijas se estipularon de la siguiente manera:

Lijas abrasivas 60 – 500

Con el paso de las lijas mencionadas anteriormente se obtuvo una superficie pulida y sin ralladuras, lo que facilito el procedimiento de determinación del material a través de su exposición al microscopio.

Para determinar la estructura y a la vez el tipo de acero fue necesario realizar un ataque químico por medio de un agente o reactivo conocido como *NITAL*

Que es el reactivo por el cual se puede identificar exactamente la estructura y por ende el tipo de acero, teniendo en cuenta que este es un reactivo especialmente creado para el ataque de aceros.



Para la interpretación por microscopio se determino que el material empleado es un acero tipo 1045.

A continuación se muestran figuras 2a y 2b. de la estructura obtenida a través del microscopio.

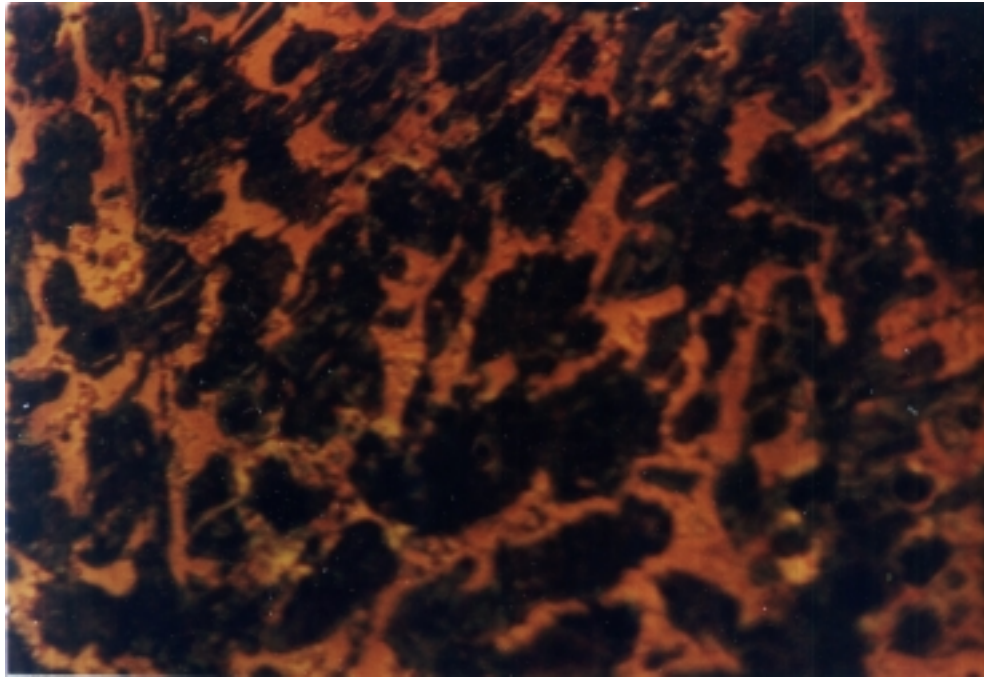


Figura 2a. Formaciones de martensita y perlita sobre estructura de acero de 1045.

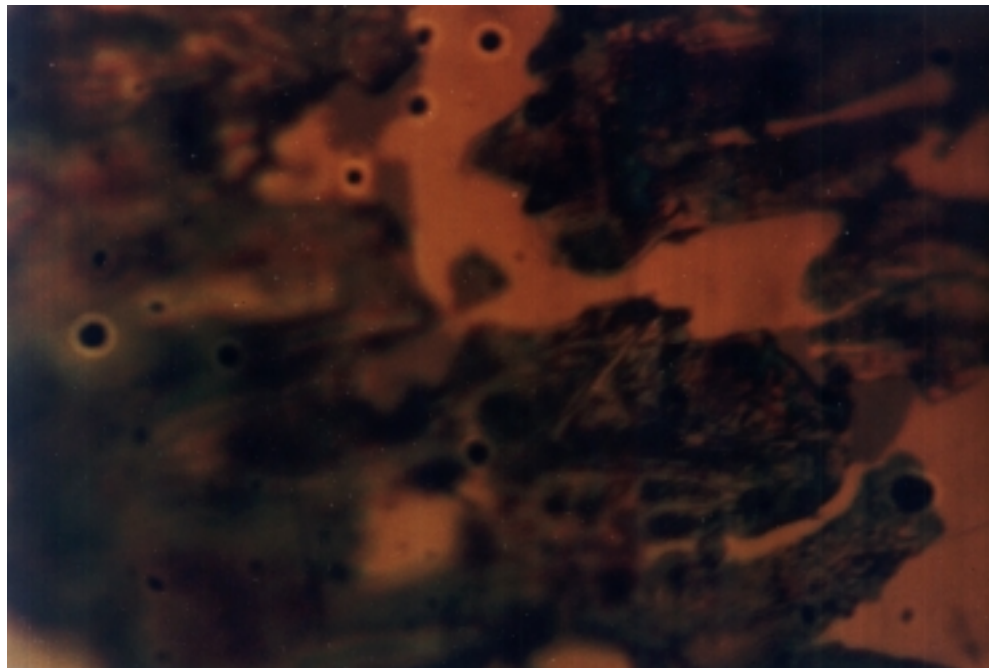


Figura 2b. Inclusiones oxidantes sobre estructura de acero 1045.

1.5. Elementos de Trabajo (Acero 1045)

Tipo:

Acero de medio contenido de carbón.

Color de identificación: amarillo – verde.

1.5.1. Composición del Acero

Análisis químico según Norma Nacional NMX B-301 (% en peso):

C	Si	Mn	P máx.	S máx.
0.43-0.50	0.15-0.35	0.60-0.90	0.040	0.050

Formas y Acabados

Barra redonda, cuadrada, hexagonal y solera, laminadas o forjadas en caliente, estiradas en frío y peladas o maquinadas.

Placa laminada caliente.

Anillos forjados.

1.5.2. Propiedades

El más popular de los aceros al carbón templables es sin duda el 1045. En todo tipo de aplicaciones en donde se requiera soportar esfuerzos por encima de los 600 MPa. (61 kgf/mm²), o en el caso de diámetros mayores, en donde se necesite una superficie con dureza media, 30 a 40 Rc, y un centro tenaz. Aunque su maquinabilidad no es muy buena, se mejora con el estirado en frío, además con este acabado se vuelve ideal para flechas, tornillos, etc. de alta resistencia.

1.5.3. Aplicaciones

Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general, en la elaboración de piezas como ejes y semiejes, cigüeñales, etc. de resistencia media.

2. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS

Para la fabricación del ladrillo es necesario cumplir una serie de mapas que permitirán obtener el producto final. En la industria Ladrillera de la costa, el procedimiento de fabricación se realiza como indica el esquema de la figura 3 y cuyo diagrama de flujo es el siguiente.



Figura 3. Diagrama de Flujo de la Producción.

2.1. Extracción De La Arcilla

Una vez determinada la localización del yacimiento de arcilla se procede a elegir la maquinaria apropiada para la extracción, la cual depende de la dureza del material, la pendiente del depósito y del estado en que debe suministrarse el material a la planta. En general estas maquinarias suelen ser: Palas mecánicas, eléctricas y diesel, Excavadoras de arrastre y Cepilladoras; Ver figura 4.



Figura 4. Extracción y Ubicación de la Arcilla en las Inmediaciones de la Planta.

2.2. Preparación De Arcilla

La preparación tiene como parte principal la eliminación de los nódulos de cal o inclusiones píteas. Esto se consigue con la utilización de máquinas, que al mismo tiempo que mejoran la capacidad aglutinante de la arcilla, hacen inofensiva la acción de la cal mediante una fina trituración y disgregación de la naturaleza de la arcilla, que facilita también una rápida y uniforme absorción de agua. En la fabrica la arcilla pasa directamente del yacimiento a la tolva alimentadora de donde se mezcla tanto la arcilla y la arena, y de ahí a los procesos de trituración, mezcla y moldeo. Las maquinarias requeridas dependen de la dureza del material, contenido de humedad, tamaño inicial y deseado del producto final e impurezas; pueden ser:



Figura 5. Preparación y Limpieza de las Arcillas en Tolva de Almacenamiento.

2.2.1 Máquinas de cilindros lisas o laminadores.

Se clasificaran preparadoras y en afinadoras.

Máquina de cilindros preparadores.

Consiste en un par de cilindros que pueden ser lisos o dentados, del mismo diámetro y que giran a la misma velocidad.

Máquina de cilindros afinadores.

Posee dos cilindros con camisas recambiables de metal muy duro, que giran a velocidades distanciados solo de 1 a 3mm, ejerciendo esfuerzos de compresión y cizallamiento que destruyen la estructura natural de la arcilla.

2.2.2 Trituradores

Rodillos trituradores. Paga arcillas dura, son accionados por engranajes o cintas, lisos o estriados, acanalados o dentados.

Trituradores Giratorios.

Que obtienen un producto fino

Trituradores de Mandíbula.

De articulación simple y doble que pueden reducir cualquier roca dura.

2.2.3 Mezcladora de Arcilla.

Tiene por objeto homogeneizar y humectar la arcilla. Consiste en una cuba horizontal en cuyo interior hay un eje horizontal giratorio portador de unas piezas trazadas en hélice que impulsan y mezclan la arcilla hacia la parte final de la cuba.



Figura 6. Mezcladora de Arcilla para la Homogenización de la Pasta

2.3 Las pastas

(Distintos tipos de arcilla) Silicato de aluminio hidratado (arcilla) se encuentra en formaciones rocosas, las que utilizamos en la actualidad vienen de la época terciaria. Los colores suelen ser óxido de hierro (rojizo dependiendo del óxido

que tenga). Las que tienen más cal son de un gris azulado. Las que tienen más óxido son más fundentes, ósea más propicias para ser cocidas en el horno, no necesitando temperaturas excesivamente altas.

2.3.1 Elementos que Componen las Pastas

- Elementos plásticos. (De ahí su plasticidad)
- Elementos desengrasantes.
- Elementos fundentes. (Cal, feldespato, óxido de hierro u otros óxidos metálicos).

2.3.2 Tipos de pastas

Tierras arcillosas:

Suelen tener más impurezas. Se encuentran junto a los ríos, lagos, etc...

Arcillas comunes:

Limpias de impurezas pero menos plásticas o maleables.

Arcillas para loza:

Son más depuradas, blanquecinas y suelen ser esmaltadas etc...

Gres:

Arcilla natural, contiene ácidos como por ejemplo el vinagre y es más grevosa.

Arcilla refractaria.

Grano grueso, puede ser cualquier arcilla a la cual se le añade "**chamota**"(barro ya cocido que se hace polvo de nuevo y se mezcla al 50 %).

2.3.3. Moldeo de las Pastas

El moldeo de la arcilla depende de las propiedades plásticas y de flujo de ésta. Los métodos de moldeo se dividen de acuerdo a la condición de la pasta en: líquida, plástica, semiseca y seca. Los métodos pueden ser manual y de extrusión.

Extrusora.

La máquina moldeadora de ladrillos tiende a obtener ladrillos en cuido que pueden colocarse independientemente de canto en los secadores.

Una prensa de extrusión con vacío se compone de un mezclador de arcilla, cámara de vacío, hélice empujadora que gira en el interior del cilindro de la prensa, cabezal prensador y boquilla. En la mezcladora de arcilla usualmente se efectúa el precalentamiento de la masa con vapor de agua. En la cámara de vacío se realiza el desaire de la masa y en parte se elimina el vapor de agua de las cintas delgadas y cordones de masa. En la prensa, el vacío se crea mediante una bomba.

Las distintas velocidades de la masa que fluye por el cabezal de la prensa de extrusión se distribuyen en parábola y la masa en su desplazamiento tiende a curvarse sobre si misma. Al penetrar la masa en la boquilla su rotación se detiene y varia la velocidad del flujo.



Figura 7. Maquina Extrusora para la Elaboración de Ladrillos en Sitio.



Figura 8. Moldeado de Ladrillos a través de la maquina de Extrusión.

2.4 Secado Del Ladrillo.

El objeto del secado de los productos cerámicos además de la remoción del agua, la cual puede causar problemas durante la cocción, es el de endurecerlos con el propósito de permitir su endagado en el horno. El secado proporciona una materia prima de mayor calidad. La principal ventaja técnica que se obtiene de un correcto secado es la mayor resistencia mecánica, con la cual el ladrillo soporta mayores cargas de esfuerzos.

El contenido de agua total en la masa consiste de agua de contracción (entre las partículas) y de agua en los poros. La eliminación del agua de contracción lleva

consigo la disminución del volumen del cuerpo, lo que aumenta las fuerzas de atracción de las partículas produciéndose una resistencia mayor en la arcilla seca, en comparación con su resistencia cuando está húmeda. La compacción excesiva debido al secado puede producir el agrietamiento y alabeo del ladrillo, si el secado es demasiado rápido.

En la alfarería artesanal suele secarse en la atmósfera durante varios días, en un espacio techado, de paredes abiertas. Para el secado artificial los productos se secan en hornos especiales a temperaturas de 85 a 96⁰C, con aire que tenga gran humedad que evita el secado excesivo en la superficie. La humedad del aire de secado y la temperatura para ese fin se adecuan de tal modo que la rapidez de evaporación del agua en la superficie sea casi igual a la difusión de agua desde la parte interior a la superficie del cuerpo; lo que permite el secado relativamente rápido, sin deterioro, agrietamiento y combaduras del material.

Para aminorar la contracción en el secado de arcillas muy plásticas estas se mezclan con arena fina.

La eliminación del agua en los poros no produce compacción, y puede llevarse a cabo con aire seco a 110C, o a temperaturas mayores. Esto puede realizarse como una etapa del proceso de secado, (ver figura 9).



Figura 9. Cámara de Pre calentamiento para el Secado de Ladrillo.



Figura 9. Cámara de Pre calentamiento para el Secado de Ladrillo.

2.5. Cocción Del Ladrillo.

Por el cocido se pretende convertir un artículo de arcilla moldeado y secado (“crudo”) en un producto permanente que posea la resistencia requerida, durabilidad y una mejor apariencia. La temperatura del cocido depende del carácter de la arcilla y de las propiedades que se deseen obtener del producto, puede variar desde 900⁰C a 1400⁰C, en las cuales se llevan a cabo cambios químicos en la arcilla.

Para agrupar las reacciones físicas y químicas que tienen lugar, el proceso de cocción se divide en 4 etapas:

2.5.1 Precalentamiento.

Es la etapa inicial del cocido y se da a temperaturas de 110 a 260⁰C en las que se eliminan los últimos vestigios de humedad higroscópica. El tiempo que dura esta etapa depende del contenido de humedad de cada pieza como del conjunto. Debe conseguirse una velocidad de calentamiento lenta, un rápido aumento en la temperatura dará como resultado el agrietamiento del ladrillo.

Grandes volúmenes de aire en exceso en el comienzo de la etapa, evitarán la condensación del agua evaporada en partes filas del conjunto.

2.5.2 Calentamiento.

Se tienen cambios al alcanzar las temperaturas 425 a 650°C. En este punto, los minerales de arcilla se descomponen en Sílice y Alúmina, y se libera el agua combinada químicamente, según la reacción:



En este punto, la arcilla pierde su capacidad de formar una masa plástica con el agua y no moldear otra vez. La temperatura se incrementa hasta 800°C, en un tiempo de 8 horas.

2.5.3 Cocción.

A temperaturas de 800 a 900°C, hay que conservar las condiciones oxidantes del horno, para asegurar que se queme toda la materia orgánica contenida y que se efectuó la oxidación de las piletas de hierro. A temperatura de 900 a 1000°C, se inicia la fusión o vitrificación y disminuye la porosidad conforme se inicia la compactación por recocido. La vitrificación es resultado de una formación gradual del líquido que llena los espacios porosos. Cuando se enfría, el líquido solidifica en una matriz vítrea por medio de la aglutinación de partículas inertes. Del grado de vitrificación dependen propiedades como la resistencia en frío, la durabilidad, la porosidad y la densidad.

A los 1400°C se alcanza la vitrificación total, a temperaturas mayores no se produce compactación ulterior ni disminuye la porosidad, pero se produce fisión, que aumenta mucho la resistencia del cuerpo.



Figura 10. hornos de calentamiento para la cocción de ladrillos.



Figura 10. hornos de calentamiento para la cocción de ladrillos.

2.5.4 Enfriamiento.

Tradicionalmente tiene lugar en condiciones naturales, tardando entre 3 y 4 días aproximadamente, pero la remoción de aire lo acelera. La velocidad de enfriamiento debe ser lenta hasta una temperatura de 500°C, para lo cual es necesario dejar enfriar el conjunto durante 24 horas sin permitir la entrada del aire. Un enfriamiento demasiado rápido puede dar lugar a la aparición de tensiones que ocasionan agrietamientos, bien se inmediateamente o después de la extracción de los ladrillos del horno.

3. SISTEMA DE EXTRUSIÓN PARA EL MOLDEO DE LA ARCILLA Y SUS PARÁMETROS DE OPERACIÓN.

3.1. Factores Dependientes de la Maquinaria de Extrusión

Se han utilizado tres sistemas diferentes para la extrusión de las arcillas : el pistón, los rodillos y la hélice, presentando cada uno sus ventajas e inconvenientes. Así, por ejemplo, con las extrusoras de pistón se conseguía una gran uniformidad de velocidad y presión en toda la sección de salida, sin embargo no daba un flujo continuo y no se podía trabajar con vacío, lo cual limitaba su utilización a las arcillas más plásticas.

Con el sistema de rodillos el flujo de barro es continuo y puede hacerse el vacío; pero, no se logra una distribución uniforme de velocidades y presiones en la sección de salida ni se consigue la homogeneización que tiene lugar cuando se trabaja con hélice.

El sistema de hélice, es el que al final ha terminado imponiéndose, pues, se logra una producción continua, se trabaja con vacío y se consigue una mejor homogeneización de la pasta, ya que la mayor parte del barro que llega al final de la hélice (entre el 50 y el 85%) retrocede por el mismo canal o por el espacio existente entre la hélice y las costillas; todo lo cual, produce un efecto de homogeneización de la arcilla, que no se logra en los dos tipos de extrusora antes citados.

Nos limitaremos por lo tanto al estudio de este sistema, haciendo un análisis de las funciones que debe cumplir cada uno de los elementos que encuentra la arcilla a su paso por el grupo de vacío.

La materia prima preparada cae en la amasadora de doble eje que forma parte del grupo de vacío.

En esta amasadora se acaba de ajustar el % de humedad necesaria para el moldeo de la arcilla, agregando una pequeña cantidad de agua (<2%) o vapor (<3%). Las palas de la amasadora pueden ser fijas o bien orientables.

En este caso llevan un sistema de espina que se inserta en las perforaciones existentes en el eje. La orientación de las palas permite regular la intensidad del amasado y el volumen desplazado por la amasadora. Cuanto mayor inclinación se da a las palas mayor será la producción de la amasadora y menor su desgaste, pero el amasado será menos efectivo.

Algunas amasadoras, disponen de un original sistema que les permite amasar la arcilla pala contra pala y no simplemente empujando la arcilla hacia adelante, consiguiéndose un amasado mucho más intensivo.

Para evitar el efecto del desgaste sobre los ejes de la amasadora algunos usuarios los recubren con tubos partidos que se cambian en cuanto se desgastan.

En la parte final de la amasadora, las palas del doble eje, se sustituyen por hélices y la artesa se cierra completamente, forzando al barro a pasar a la cámara de vacío a través de unas entradas cónicas, a cuya salida se sitúan unos peines o placas perforadas que producen el desgarre y división de la arcilla,

aumentando su superficie expuesta al vacío y facilitando el posterior desaireado. Las estrellas que giran con los ejes de la amasadora van cortando las barritas de arcilla formadas cuando ésta pasa a través de los peines o placas perforadas que cierran las entradas cónicas.

La arcilla estancada sobre las placas de entrada a la cámara de vacío, forma una especie de tapón hermético que impide la entrada de aire desde la amasadora a la cámara de vacío.

En las hélices y en los peines de introducción a la cámara de Vacío, tiene lugar una primera homogeneización de la arcilla con la humedad y aditivos eventualmente adicionados en la amasadora.

Hay que señalar que la desaireación del material no solamente depende del vacío conseguido en la extrusora, sino también de la superficie específica de los pelets de arcilla, del tiempo de desaireación y de la naturaleza de la arcilla. Las arcillas sericiticas (micáceas) se desairean con dificultad porque forman estructuras laminares que dificultan la extracción del aire. En cambio las arcillas montmorilloníticas presentan menores problemas de desaireado.

Dado que el tiempo de desaireación es muy reducido, se ha de facilitar el proceso aumentando la superficie específica. Para ello es necesario que las perforaciones de las placas de entrada a la cámara de vacío sean muy cónicas

Del estado de las placas o peines y estrellas de entrada a la cámara de vacío va a depender en buena parte la eficacia del desaireado de la arcilla.

Para saber si se está logrando un correcto desaireado de la arcilla, se hace la siguiente prueba: a la salida de la extrusora, se recogen dos piezas recién

cortadas y se golpean entre sí de manera que se lleguen a pegar; a continuación; se despegan y se observan las superficies despegadas.

Con un mal vacío, la superficie de la pieza presenta amplias zonas peladas, observándose abultamientos superficiales llenos de aire.

Con un vacío regular, la superficie solo se pela en el centro de la pieza y el desprendimiento es muy superficial. Con un buen vacío la superficie de la pieza se presenta intacta.

El desaireado de la arcilla en la cámara de vacío se puede hacer mediante bombas de recirculación de agua, de aceite o de pistón.

Con bombas de agua, se debe disponer de un depósito intermedio en el que el sistema descarga aproximadamente un 50% del agua circulante, de esta forma se consigue, al menos en parte, refrigerar el agua del sistema e impedir que se caliente excesivamente el aire evacuado de la cámara de vacío, lo cual aumentaría su volumen, reduciendo la eficacia de la bomba.

Las bombas de recirculación de aceite, se calientan menos, pero el sistema debe disponer de un dispositivo para evacuar la humedad del aire extraído de la arcilla, pues, si se llega a emulsionar con el aceite éste se convierte en una masa pastosa que impide el funcionamiento de la bomba.

Las bombas de pistón dan también muy buenos resultados: duran mucho y apenas si requieren mantenimiento, pero, si en el aire extraído hay humedad, el pistón se daña rápidamente. En consecuencia, se debe instalar un filtro intermedio y no se pueden utilizar cuando se amasa con vapor.

En la parte frontal superior de la cámara de vacío, va instalado un vacuómetro para medir el vacío conseguido. Dispone de dos escalas: una en % y la otra en

cm de mercurio. Un vacío del 80% significa que se reduce en un 80% el volumen de aire existente en la cámara de vacío, lo cual equivale a una disminución del 80% de la presión atmosférica ejercida por dicho aire que en condiciones normales a nivel del mar, es igual a la presión ejercida por una columna de mercurio de 76 cm de alto.

Por lo tanto, un vacío del 80% equivaldría a una disminución del 80 de 76 cm de mercurio o 60,8 cm, que es el valor indicado en la segunda escala. La presión residual existente en la cámara de vacío será $76 - 60,8 = 15,20$ cm. de mercurio.

Para tener más tiempo de desaireación de la arcilla, la capacidad volumétrica de la cámara de vacío y de la zona subsiguiente debe ser la mayor posible, por esta razón el diámetro de la hélice en la zona de alimentación es mayor que en el resto del cilindro.

Los pelets formados a la entrada de la cámara de vacío, caen en la zona de alimentación de la hélice

Dado que esta parte de la hélice solamente queda envuelta por el cilindro de la extrusora en un 50% aproximadamente, el avance del barro es más lento que en el resto de la hélice. En algunas extrusoras para facilitar la alimentación, existen como prolongación de los ejes de la amasadora, unas palas de introducción cuyo movimiento se halla sincronizado con el de la hélice, evitando que la arcilla se quede pegada a las paredes de la cámara de vacío.

Esta falta parcial de envoltura de la hélice por parte del cilindro en la zona de alimentación dificulta el avance de la arcilla. Para contrarrestar este inconveniente y aumentar el tiempo de desaireación, el diámetro de la hélice en esta zona es mayor tal como hemos señalado más arriba. Algunos fabricantes

utilizan hélices de mayor longitud de paso en esta zona con idéntico fin. Para evitar que la arcilla se quede pegada a las paredes de la cámara de vacío y una vez seca se desprenda dando lugar a obstrucciones a la salida del molde y a paros inútiles; algunas extrusoras van equipadas con un sistema hidráulico que permite lubricar las paredes de la cámara de vacío en la zona de entrada del barro. Este dispositivo, es particularmente necesario cuando se trabaja con vapor ya que la arcilla caliente, se seca con mayor rapidez. También hay quién coloca cordones de soldadura blanda, en la cara posterior de la primera espira de la hélice, cerrando el espacio existente entre dicha espira y la pared de fijación de la hélice en la cámara de vacío. A continuación de la zona de alimentación, viene la zona de compactación. Aquí el cilindro envuelve por completo a la hélice, aumentando la fricción contra las paredes interiores de dicho cilindro (camisas). A consecuencia de dicha fricción, los pelets de arcilla no giran a la misma velocidad que la hélice y pronto son alcanzados por el flanco de propulsión de dicha hélice (el anterior) que les empuja hacia adelante y sobre el que se van remansando.

El canal de la hélice, en esta zona está vacío en parte, pero a medida que se avanza hacia la zona de compresión, la cantidad de material remansado es mayor y los pelets se van compactando produciéndose una corriente del aire evacuado hacia la cámara de vacío, a través del espacio libre existente en el canal de la hélice.

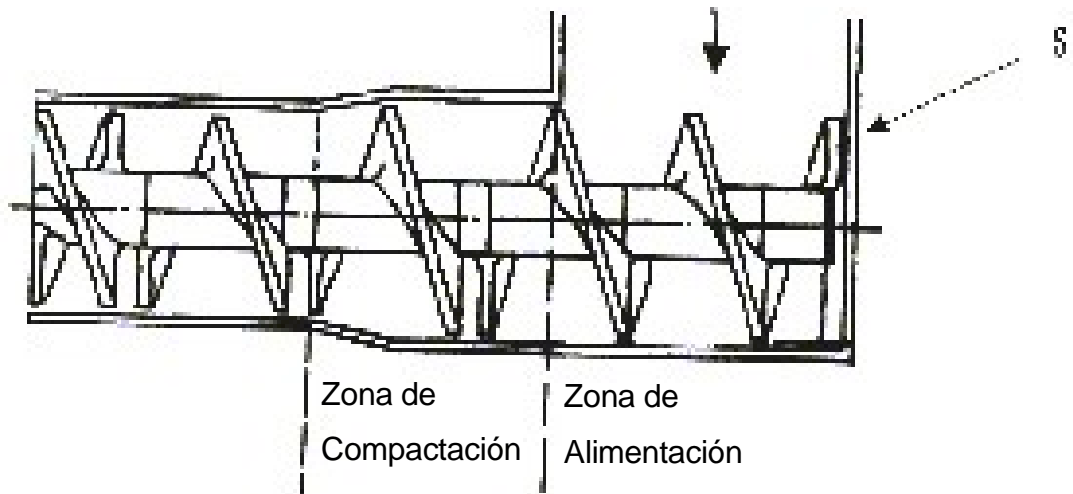


Figura 11. Zonas o Cámaras dentro del cilindro Extrusor

3.2. Fuerzas Que Intervienen en el Avance de la Arcilla en el Interior del Cilindro Extrusor.

Aunque los conocimientos sobre el conjunto arcilla hélice son completamente empíricos y a veces contradictorios y no han podido ser expresados mediante una fórmula matemática, ya que el material a extrusionar, la arcilla, es algo variable e imprevisible, sin embargo al menos, vamos a tratar de conocer las fuerzas que intervienen en el avance de la arcilla en el interior del cilindro.

En el avance de la arcilla en el interior del cilindro, intervienen cuatro grupos de fuerzas:

1. El primer grupo está constituido por las fuerzas de rozamiento de la arcilla sobre la superficie del canal de la hélice. Este rozamiento que se opone al deslizamiento de la arcilla sobre la hélice, aumenta con la presión y el grado de fricción de la arcilla sobre dicha superficie. Como consecuencia de este rozamiento la arcilla tiende a quedar fija sobre la superficie de la hélice girando con ella y describiendo una trayectoria circular.
2. El segundo grupo actúa en sentido contrario al anterior. Está constituido por las fuerzas de rozamiento de la arcilla sobre las paredes interiores del cilindro (camisas) y tiende a evitar el giro de la arcilla con la hélice dejándola estacionada en un punto fijo sobre la superficie del cilindro.

Hay que procurar reducir al mínimo el primer grupo de fuerzas y aumentar el valor del segundo a fin de que la masa arcillosa se quede parada sobre la superficie interior del cilindro y sea alcanzada lo antes posible por el flanco de propulsión de la hélice, empujándola hacia adelante.

3. El tercer grupo de fuerzas está constituido por el par de giro aplicado a la hélice. Estas fuerzas actúan perpendiculares a la superficie de la hélice y empujan a la arcilla hacia adelante siguiendo una trayectoria helicoidal, la cual podemos considerar compuesta por un movimiento circular y otro rectilíneo.

Cuanto más de rectilínea y menos de circular tenga dicha trayectoria más corto será el camino recorrido por la arcilla y por lo tanto mayor producción se obtendrá de la extrusora.

Cuanto mayor sea la inclinación de la hélice respecto al eje o menor ángulo forme con ella, mayor será la longitud del paso de hélice, más corto el camino seguido por la arcilla y más alta la producción, pero se aprovechará peor la potencia del motor.

4. El cuarto grupo de fuerzas está constituido por la cohesión o fuerza de atracción existente entre las partículas arcillosas. La fuerza de cohesión de la arcilla debe ser muy superior a la fuerza de adhesión de la misma sobre la superficie del canal de la hélice y ligeramente superior a la fuerza de adhesión sobre la superficie interior del cilindro, de lo contrario la arcilla quedaría pegada a la superficie del canal de la hélice hasta formar un rodillo que giraría en el interior del cilindro recubierto de arcilla. Esto es lo que sucede cuando se trabaja con arcillas excesivamente plásticas y adhesivas.

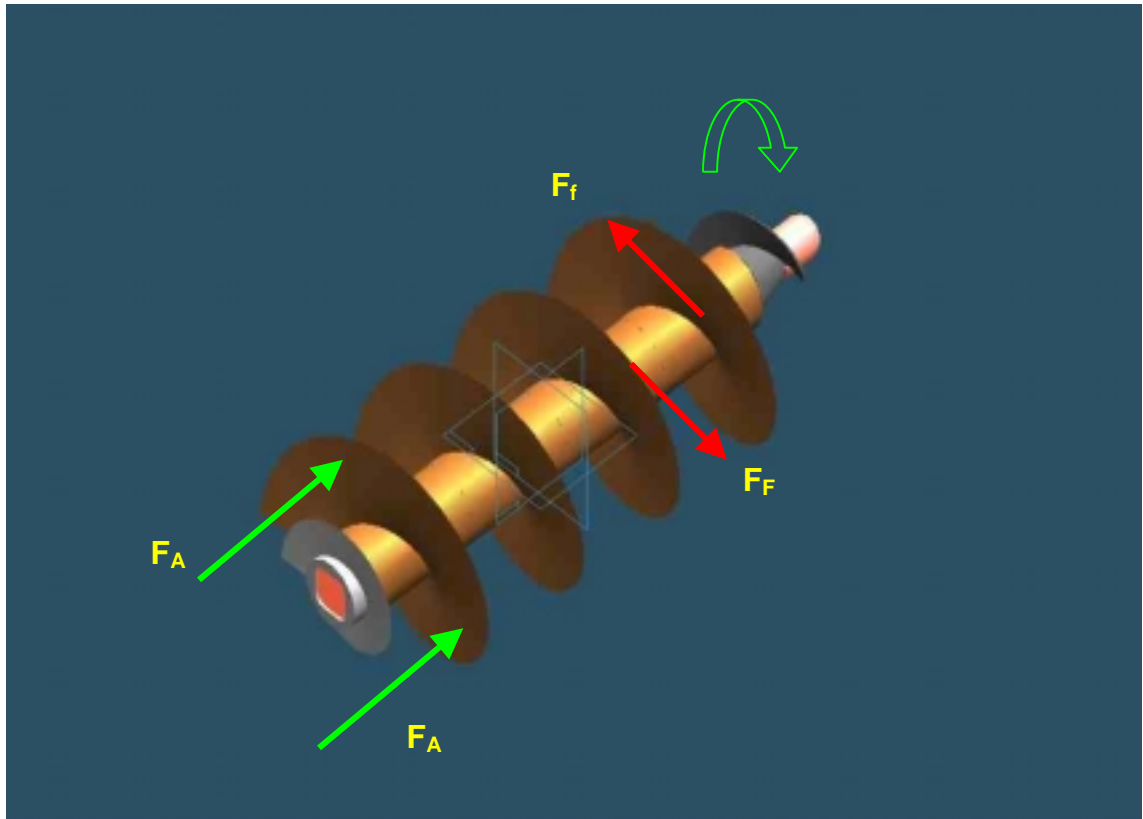


Figura 12. Fuerzas que intervienen en el avance de la arcilla.

3.3. Máximas Condiciones Para Lograr el Máximo Rendimiento

Una vez conocidas las cuatro fuerzas que intervienen en el avance de la arcilla en el interior del cilindro, vamos a indicar las condiciones que se deben cumplir para lograr el máximo rendimiento de la extrusión:

a) Que la fuerza de rozamiento sobre las paredes del canal de la hélice sea de la menor intensidad posible para reducir la adhesión de la arcilla. Esto se consigue con un buen pulido de la superficie de la hélice, eliminando las rebabas de fundición. Esta es la razón por la que se mejora el rendimiento de las hélices nuevas después de algunos días de su puesta en servicio.

Hay fabricantes, que el cambio de las hélices lo hacen de una manera escalonada, para no perder excesivo rendimiento; primero cambian una y cuando está pulida, cambian la siguiente.

Los recubrimientos antidesgaste que se aplican por electrodo deberán disponerse en forma de espiral sobre la superficie de la hélice y no radial como a veces suele hacerse.

Cuando se trabaja con arcillas muy plásticas y adhesivas que tienen tendencia a pegarse sobre la superficie del canal de la hélice hasta cegar su paso, es preciso instalar cortabarros. Éstos, en principio significan una pérdida de rendimiento por los cortes e interrupciones que en la hélice determina su colocación, sin embargo en las arcillas antes citadas constituyen una necesidad, pudiendo disponerse 2 ó 3 cortabarros a cada lado del cilindro.

En las arcillas magras y poco adhesivas, el número de cortabarros puede reducirse a 1 ó 2 a cada lado del cilindro o incluso suprimirse mejorando el rendimiento.

b) Que se aumente la intensidad del rozamiento sobre las paredes interiores del cilindro. Para lograr esto, en la superficie interior del cilindro

se colocan costillas longitudinales que constituyen un freno al movimiento circular de la arcilla.

Estas costillas deben estar colocadas de tal forma que dificulten al máximo el movimiento circular de la arcilla pero que faciliten su desplazamiento helicoidal hacia adelante. Las costillas deben ser paralelas a la trayectoria helicoidal descrita por la arcilla en el interior del cilindro. Las hélices y las costillas se deben cambiar con la periodicidad necesaria a fin de que la separación entre hélice y cilindro se mantenga dentro de los límites óptimos (3 - 12 mm.) y que nunca supere los 20 mm ver figura 13.

Si la separación aumenta se incrementará paralelamente el reflujo de arcilla desde la zona de presión, entre superficie de hélice y cilindro, bajando el rendimiento volumétrico.

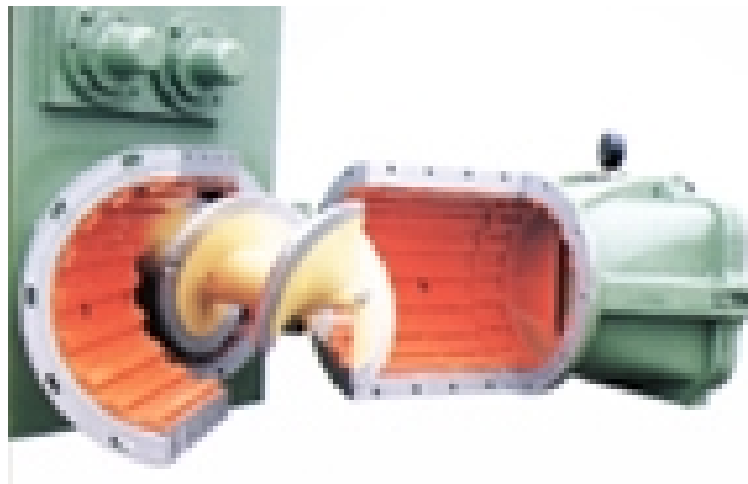


Figura 13. Vista de las Costillas Longitudinales a lo largo del Cilindro extrusor

Este fenómeno de retorno lleva consigo un aumento del calor producido por rozamiento, que se puede percibir sobre la superficie del cilindro y que constituye una señal de alarma.

c) La tercera y última condición es que la fuerza de propulsión que empuja a la arcilla hacia adelante sea máxima; lo cual depende del par de giro aplicado al eje y del ángulo de la hélice.

Interesa que el par de giro sea el mínimo posible, pues, representa el consumo de la máquina; por lo que hay que dar a la hélice el ángulo más conveniente para obtener el empuje óptimo.

Este ángulo es función del diámetro y del paso de la misma, siendo tanto más favorable a la última condición cuanto mayor sea el diámetro y menor el paso. Pero al aumentar el diámetro y reducirse el paso se incrementa el rozamiento sobre la superficie del canal de la hélice y aumenta el movimiento circular, lo cual obliga a no sobrepasar un cierto valor en dicho ángulo. Dado, por otra parte, que el rozamiento de la arcilla sobre la superficie de la hélice cambia con la plasticidad siendo mayor en las arcillas menos plásticas, se deduce la imposibilidad de dar un valor fijo a dicho ángulo.

Las arcillas magras, de grano áspero con un alto rozamiento requieren hélices con un ángulo de bastante inclinación, es decir, de paso largo. Estas arcillas suelen utilizarse en la fabricación de ladrillos macizos, con mucha sección de salida, lo cual supone menor freno, menor presión máxima y menor número de espiras necesarias; ya que la presión aumenta con el número de espiras o

longitud del canal helicoidal.

En cambio las arcillas finas, que deslizan mejor sobre la superficie de la hélice pueden extrusionarse con hélices de poca inclinación o paso corto. Estas arcillas se utilizan normalmente para la fabricación de piezas huecas, con moldes que oponen mayor resistencia, alcanzándose una presión alta por lo que es necesario incrementar el número de espiras.

Al comienzo de la zona de compactación la velocidad de avance de la arcilla es máxima, pues, por falta de presión, el rozamiento de los pelets sobre el canal de la hélice es mínimo. A medida que la arcilla se va compactando la velocidad de avance disminuye, llenándose cada vez más el canal helicoidal. El proceso de compactación está terminado cuando todo el canal se ha llenado de arcilla para lo cual pueden ser suficientes entre medio y uno y medio pasos helicoidales.

Volvemos a insistir en la necesidad de lograr en esta zona una buena evacuación del aire ocluido en la arcilla para evitar la formación de laminaciones.

Aunque el origen de las laminaciones se debe siempre a diferencias de velocidad en la sección de la columna de arcilla que fluye a lo largo del canal de la hélice, del embudo o expansor y del mismo molde hay ciertos factores que ayudan a que se produzcan laminaciones. Entre ellos quizá el más importante es el trabajar con un vacío insuficiente.

La experiencia ha demostrado que presentan más tendencia a la formación de laminaciones las arcillas medianamente desaireadas (40 - 60% de vacío) que las poco o nada desaireadas (0 - 40% de vacío). Solamente un buen vacío, puede evitar la tendencia a la formación de laminaciones que presentan ciertas arcillas.

En Alemania, por ejemplo, se da el caso curioso de fabricantes de tejas que trabajan sin vacío.

También es importante tratando de evitar laminaciones la relación existente entre la profundidad del canal de la hélice y la longitud del paso de la misma, es decir, la distancia entre dos espiras sucesivas. Cuanto menor sea dicha relación menor tendencia presentará la arcilla a la formación de laminaciones. En hélices profundas y de paso corto la arcilla fluye con dificultad sobre la superficie de la hélice produciéndose láminas de diferente velocidad de flujo en la sección del canal helicoidal; muy lentas sobre la superficie de la hélice y más rápidas a medida que nos acercamos al borde de la hélice.

También se debe tener en cuenta la relación entre el diámetro de la hélice y el del eje. Esta relación debería oscilar entre 2,2 y 2,6; si aumenta mucho dicha relación se dificulta el deslizamiento de la arcilla sobre el eje, aumentando la tendencia a la formación de laminaciones.

1. El material compactado entra en la zona de compresión y homogeneización, elevándose progresivamente la presión hasta alcanzar el valor máximo en el alabé final de la hélice de punta.

Al llegar a este punto el flujo de arcilla se divide en dos partes: una que continua hacia la boquilla y otra que refluye hacia atrás, a través del canal helicoidal y del espacio existente entre la hélice y el cilindro.

Trabajando en condiciones normales el flujo neto suele representar entre el 15 y el 50% de la capacidad de transporte de la hélice, suponiendo que no existiese

ningún obstáculo en la salida.

Si la caída de presión en el interior del cilindro es muy grande el reflujo hacia atrás puede hacerse tan intenso que llegue a igualar el flujo de transporte principal, dando la máquina un rendimiento 0. La hélice debe disponer de espiras suficientes para que el aumento de presión en el interior del cilindro sea gradual y progresivo.

En la práctica diaria, se observa que a medida que se reduce la sección de salida de la boquilla, es decir, al pasar de ladrillo macizo a semi-macizo o hueco, aumenta la presión máxima y baja el rendimiento de la máquina, lo cual significa que se incrementa la intensidad de la corriente de reflujo y, en consecuencia, la cantidad de arcilla en retroceso. Por lo tanto, al aumentar la presión se alarga la zona de compresión en el interior del cilindro. Si se quiere mantener el rendimiento será preciso aumentar la velocidad de la hélice instalando por ejemplo variadores de frecuencia.

También se puede obtener un buen rendimiento al aumentar la presión alargando la longitud del canal de compresión sin incrementar sensiblemente la cantidad de arcilla remasada. Esto se consigue reduciendo el paso de hélice es decir aumentando el número de espiras, con lo cual se logrará un buen rendimiento, incluso trabajando a presiones altas.

Las corrientes de reflujo en el interior del cilindro producen un trabajo de homogeneización de la masa arcillosa, lográndose un reparto más uniforme de la humedad adicionada en la amasadora y del aire que no ha podido ser evacuado en la zona de compresión.

Por lo tanto, el trabajo de homogeneización aumenta con la presión máxima

alcanzada en la zona de compresión. El trabajo de homogeneización acaba en el punto de máxima presión.

Hay que señalar que la presión máxima, no depende sólo de la mayor o menor sección de salida de la boquilla, sino también y principalmente de la consistencia de la arcilla. Como ésta es función a su vez de la plasticidad y del contenido de agua, deducimos que a medida que se aumenta la plasticidad de la arcilla y se reduce el contenido de humedad, se incrementa la presión de extrusión, alargándose la zona de compresión y lográndose una mayor homogeneización en el interior del cilindro.

De lo hasta aquí expuesto podría deducirse la necesidad de disponer de una hélice para cada tipo de arcilla o pieza a fabricar. En la práctica esto no resulta viable para ningún fabricante por la enorme variedad de piezas y recambios que deberían existir en los almacenes; por eso, ha sido preciso establecer una sistematización, utilizándose básicamente los siguientes tipos de hélices:

- A.** Hélices con una zona de mayor diámetro en la entrada seguida de una zona cónica en la que el diámetro se reduce progresivamente para acabar con una zona final de menor sección.

En este tipo de hélice la longitud de paso se mantiene constante. Es la hélice utilizada con más frecuencia en moldeado blando o soff propio de países de habla latina, en el que la consistencia de la pasta a la salida del molde oscila entre 1,25 y 1,75 kg/cm² y se fabrican principalmente piezas huecas con arcillas de plasticidad normal.

B. Hélices de paso y sección variables con una zona de mayor sección a la entrada seguida de una cónica en la que la sección se reduce progresivamente para acabar en la zona final de menor sección.

Este tipo de hélices se utiliza para extrusión dura o stiff para el moldeo de arcillas con una consistencia a la salida de molde entre los 3 y 4,5 kg/cm² y humedades entre el 12 y 18%.

Es propia de países de habla inglesa donde se fabrican ladrillos macizos o perforados con un volumen de perforación inferior al 25%.

En estos casos, las hélices giran a velocidades entre un 50 y 100% superiores a las utilizadas en extrusión blanda y presiones en manómetro de punta de 40 - 60 kg/cm².

También se utilizan hélices de sección y paso variables cuando en la extrusión blanda se trabaja con moldes de poca sección de salida, lo cual determina un incremento en la presión de la hélice de punta hasta los 25 - 30 kg/cm².

En extrusión blanda, las hélices se construyen en fundición de acero con suplementos periféricos o bien enterizas con o sin recubrimientos duros, antidesgaste por proyección (carburo de tungsteno).

En extrusión dura, las hélices son enterizas con recubrimientos duros antidesgaste por proyección, o con fundiciones aleadas con alto contenido de cromo (28%), convenientemente tratadas, que dan la resistencia y demás características óptimas para este tipo de extrusión.

La presión en un punto determinado del cilindro no es fija sino que varía

continuamente, incrementándose a medida que se aproxima el flanco de propulsión de la hélice y alcanzando valores mínimos una vez que ha pasado la hélice. Estas oscilaciones pueden diferir aproximadamente entre 1 y 2 Kg/cm² en una vuelta de hélice.

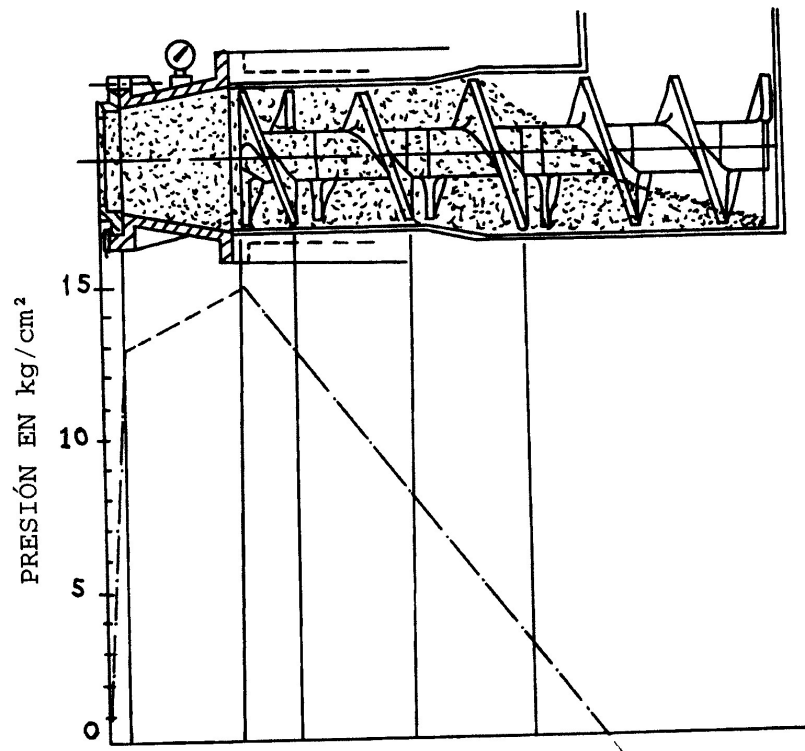


Figura 14. Variación de presión en el interior del cilindro de la extrusora.

Por otra parte, si el canal de la hélice sólo tuviese una salida, la alimentación de arcilla al embudo sería asimétrica y puntual desplazándose en forma circular con el giro de la hélice. Estos dos fenómenos dan, como consecuencia, un flujo intermitente que se manifiesta en la barra extrusionada en forma de ondulaciones más o menos acentuadas y que luego se traducen en deformaciones en las

piezas cocidas. Para eliminar este defecto, se probaron hélices de doble paso esperando lograr una alimentación más simétrica de arcilla al embudo.

Sin embargo, esta solución se abandonó pronto por la dificultad de lograr una alimentación y un transporte simétrico en las dos hélices. Además estas hélices son más caras y se logra peor rendimiento tanto en lo referente a transporte como a presión y homogeneización. Por esta razón, se volvió a la hélice de un solo paso con doble salida en la punta.

Las hélices de punta, deben ser simétricas tanto en lo que respecta a su capacidad como a la presión desarrollada por las mismas. Por lo tanto, las dos hojas helicoidales deben tener el mismo perímetro exterior y la misma inclinación con respecto al eje de la hélice. Las secciones de entrada y de salida del canal helicoidal de dichas hélices deben ser idénticas.

Si la sección del embudo es mayor que la del cilindro de la hélice, entonces es recomendable bajar las dos hojas del ala en unos 150° de la posición vertical, en contra de la dirección de transporte, para que la velocidad de flujo en la periferia del embudo no se reduzca demasiado. Si el embudo es horizontal o con poca conicidad, el ángulo final del álabe de la hélice de punta será 0 con respecto a la vertical al eje del husillo. Cuando la sección de salida sea pequeña las hojas formarán un ángulo de unos 5° a 80° con respecto a la vertical a favor de la dirección de transporte. Con esto se consigue que las líneas de flujo que son perpendiculares a los álabes se deslicen paralelas a las paredes del embudo

El paso de la doble hélice final debe ser mayor que el paso de la hélice simple, para compensar la pérdida de rendimiento de la hélice de dos pasos.

En algunos casos, entre la hélice de punta de doble salida y el resto de la hélice de espiral simple, se deja un espacio hueco, desprovisto de cualquier espira. La longitud de este espacio se puede variar colocando anillos. Este espacio sirve de zona ecualizadora de presión y flujo y se ha demostrado altamente eficaz para corregir la tendencia de ciertas arcillas a agitarse o torcerse durante la extrusión. Finalmente, digamos que el cubo del árbol de la hélice debe reducirse en forma gradual y progresiva en la zona de inserción del aspa final. El momento de giro en este punto es menor que en el resto del eje y por lo tanto no se necesita una sección tan grande. De esta forma se facilita el flujo de la arcilla hacia el centro, que es la zona de menor presión, llenándose el espacio dejado por el cubo.

4. ELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN LOS ELEMENTOS DE TRABAJO Y SUS PROPIEDADES

4.1. Generalidades acerca de los temple.

El objeto de esta acción de endurecimiento es producir una corteza (o superficie exterior), dura en una probeta o en una pieza de acero de bajo carbono, reteniendo al mismo tiempo la ductilidad y la tenacidad en el núcleo. Esto se logra aumentando el contenido de carbono en la superficie, es decir carburizandola. Pueden utilizarse carburizantes o gaseosos.

4.2. Tratamientos Aplicables a los Elementos de Trabajo.

El objeto del tratamiento térmico es modificar el acero, haciéndolo más apropiado, estructural y físicamente, para alguna aplicación específica. Durante millares de años no se supo científicamente lo que era el acero o por qué se endurecía, y hasta estos últimos años no se han establecido los principios referentes a los tratamientos térmicos del acero y otras aleaciones.

El tratamiento térmico más importante es el de endurecer o temprar. aunque, como ya se ha visto, el recocido de los metales trabajados en frío es muy importante en la industria del trabajo en frío.

4.3. Principios que intervienen en el templado.

El acero forjado o laminado en caliente, es enfriado lentamente desde una temperatura por encima del rojo, consiste, estructuralmente, en perlita con ferrita o cementita libres, dependiendo del contenido de carbono. El acero enfriado lentamente queda bastante blando y plástico. Si interesa aumentar la dureza del acero hay que realizar dos operaciones: 1) La primera operación en el templado del acero consiste en calentarlo a una temperatura superior a la crítica, o línea Ac **1-2-3** de la *figura 15*) la segunda, es el enfriamiento rápido o brusco del acero calentado, dejándolo a la temperatura ambiente.

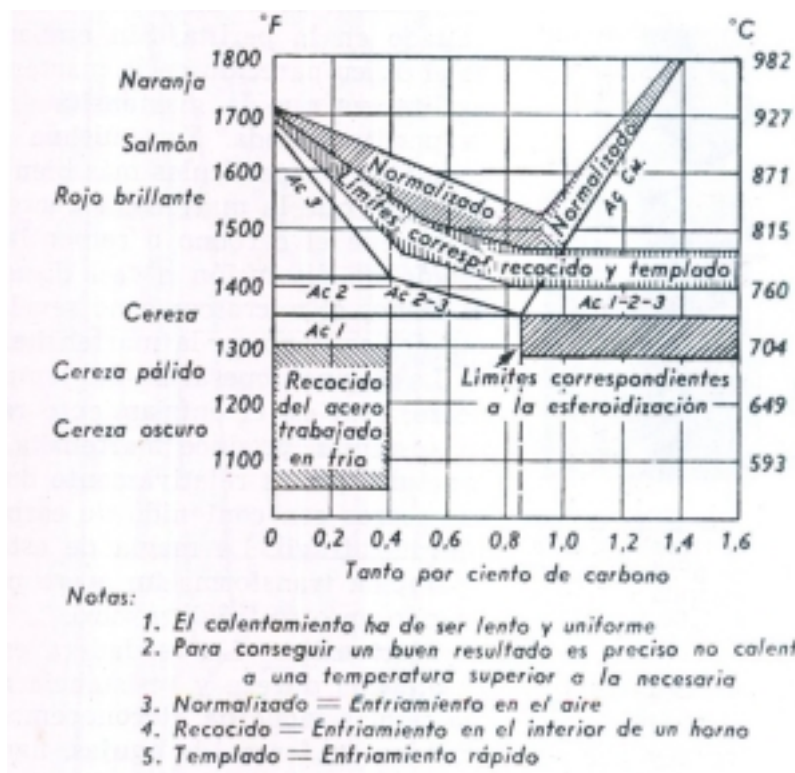


Figura 15. Diagrama de Temperaturas Críticas Apreciadas con la Vista Correspondientes al Normalizado, Recocido y Templado.

El objeto del calentamiento es transformar el acero con estructura de tipo normal y *perlita* blanda en estructura de solución sólida llamada *austenita*. Esto puede realizarse calentando cualquier acero al carbono dentro de los límites de temperatura correspondientes al templado, tal como se muestra en la figura 15. Los aceros con menos del 1,0 % de carbono calentados dentro de estos límites, se convierten en 100 % austeníticos; mientras que los de más de 1,0 % de carbono contienen un exceso de *cementita* libre en la *austenita*. La cantidad de *cementita* libre en los aceros con porcentaje de carbono más elevado, depende de la cantidad total de carbono que contienen y de las temperaturas máximas a las que fueron calentados. Se hace notar que la línea *Ac Cm* de la figura 1 indica la solubilidad del carbono en la *austenita*, y se emplea para determinar la cantidad de *cementita* libre presente en el acero a una temperatura dada. Cuando cualquier acero al carbono se calienta a una temperatura de la zona *Ac 1-2-3* de la figura 15, el hierro alfa del acero pasa a gamma. El hierro gamma recién nacido disuelve la *cementita* y enfría grandemente la estructura del grano del acero. Una vez se ha afinado la estructura del grano y disuelto la *cementita*, formando una estructura austenítica, queda realizada la primera operación del templado del acero. Obtenida la estructura *austenítica* podemos efectuar la segunda e igualmente importante operación de templado del acero, esto es el enfriamiento rápido o brusco de la cementsa.

El objeto de la segunda operación del templado del acero es sobreenfriar o impedir todo cambio en la *austenita*, distinto del enfriamiento hasta alcanzar una temperatura de, aproximadamente 93,3 °C (200°F). Si sobreenfriamos con

éxito la *austenita* a 93,3 °C (200°F), se transforma rápidamente en una estructura dura y relativamente frágil conocida como *martensita* la *martensita* es la estructura de un acero templado completamente; nace de la austenita a, aproximadamente, 93,9 °C (200°F), por el rápido paso de hierro gamma de la austenita a hierro alfa hallado en la perlita. Sin embargo, es el único parecido de la martensita y perlita, ya que la martensita es dura la perlita blanda. Esta última contiene cementita en partículas más bien gruesas mientras que la martensita aparentemente retiene el carbono o cementita en estado de disolución o casi disuelto. Por lo menos el microscopio no revela la forma del carbono en la martensita.

La segunda operación del templado del acero, esto es, el enfriamiento rápido de la austenita, produce martensita, una estructura que es relativamente dura y, en los aceros con contenido de carbono elevado, frágil. La magia de esta simple operación transforma un acero plástico blando en otro frágil y duro.

Por qué es necesario el enfriamiento brusco.

Existe un solo camino para endurecer completamente el acero, que consiste en sobreenfriar la *austenita* a, aproximadamente, 93,3°C (200°F) , de este modo se produce *martensita* y acero templado.

La velocidad del enfriamiento brusco necesaria para sobreenfriar la *austenita* a 933⁰C (200°F) se denomina *Velocidad Crítica* de enfriamiento brusco.

Sin embargo, todo enfriamiento más lento que el correspondiente a la velocidad crítica forma zonas blandas o acero totalmente blando. Tales porciones

blandas son debidas a la formación de un tipo de *perlita* a partir de la *austenita* a unos 537,8°C (1000°F). La *perlita* que se forma a 537,8°C (1000°F) por un enfriamiento brusco se llama *troostita primaria*.

El tratamiento frío, o enfriamiento de los aceros templados a temperaturas subnormales se emplea mucho en los aceros de baja aleación y en los especiales. Dichos aceros tienen tendencia a retener más austenita a la temperatura ambiente que los aceros al carbono comunes y responden notablemente a los tratamientos fríos.

4.4. Medios Enfriadores

Hemos visto que para endurecer el acero completamente esto es, para formar *martensita*, se requiere un enfriamiento rápido desde las temperaturas *austeníticas*. Como también hemos visto, todos los aceros no requieren la misma velocidad de enfriamiento para transformarse en *martensita* o para impedir la formación de cualquier estructura más blanda. Sin embargo, todos ellos requieren una velocidad de enfriamiento que sobreenfrie la *austenita* a las proximidades de la temperatura ambiente con independencia de que sea elevada o reducida. En general, los aceros al carbono requieren una velocidad de enfriamiento elevada, tal como la se obtiene enfriando en agua bruscamente, y se clasifican como aceros enfriados *en agua*. Muchos de los aceros de baja aleación se endurecen completamente con una velocidad de enfriamiento más pequeña que la obtenida enfriando en agua bruscamente, y a menudo se enfrían o templean en aceite. Dichos aceros se clasifican como

aceros templados *en* aceite. Algunos de los aceros de elevada aleación tienen una velocidad de transformación de la *austenita* muy pequeña y enfriados en aire desde la temperatura austenítica adquieren, una vez fríos, una estructura completamente martensítica. Tales aceros se denominan aceros templados *en* *aire*. Por lo tanto, los medios enfriadores comunes empleados en el templeado son agua, aceite y aire.

La acción de cualquier medio enfriador tiene tres etapas:

1. La primera etapa ocurre cuando un trozo de acero caliente se sumerge en un baño de líquido y éste, en contacto con el metal caliente, se convierte en vapor, el cual envuelve completamente al metal caliente, formando una capa a su alrededor e impidiendo todo contacto con el líquido enfriador. A menos que esta película de vapor se rompa, el enfriamiento del metal caliente tiene lugar por radiación o conducción a través de esta película, dando como resultado una velocidad de enfriamiento relativamente pequeña. Si esta película se mantiene, no se conseguirá un endurecimiento o la formación de *martensita*.
2. La segunda etapa tiene lugar cuando la película formada por el vapor que rodea al metal caliente se rompe y desprende de la superficie del metal caliente y le permite ponerse en contacto con el líquido enfriador. En esta parte el líquido enfriador moja las superficies del metal caliente, estalla en vapor y crea una ebullición del baño. Esto activa grandemente el líquido enfriador y crea la etapa de enfriamiento más rápida. Un antiguo refrán dice

de esta etapa «el agua muerde al acero».

3. La tercera etapa del enfriamiento ocurre cuando el metal caliente se aproxima al punto de ebullición del medio enfriador líquido y el enfriamiento continúa por conducción y convección líquida, dando como resultado una capacidad de enfriamiento relativamente pequeña. Sin embargo, durante la etapa del enfriamiento, una velocidad de enfriamiento rápido no es tan necesaria como en las primeras etapas, particularmente durante la segunda, que el acero pasa por los límites de temperatura para la transformación de la *austenita* en máxima.

La película de vapor formada durante la primera etapa del enfriamiento brusco dificulta el templado del acero. Acero blando, zonas blandas, alabeamientos y formación de grietas son un resultado del vapor formado. En esta etapa ocurren una gran mayoría de las dificultades comunes del templado. El agua es el medio enfriador generalmente más usado y se emplea en el templado de los aceros al carbono corrientes y aceros de aleación baja. aceros que tienen una velocidad de transformación de la *austenita* muy grande y son templados superficialmente, requieren agua o alguna solución acuosa como medio enfriador.

Con el fin de que la velocidad de enfriamiento brusco sea suficiente para templar el acero al carbono en forma positiva, el agua se mantiene a una temperatura por debajo de 26,7°C (80°F) y se agita continuamente durante el

templado. La agitación del medio enfriador permite un enfriamiento más uniforme y rápido. Una solución al 5 % de cloruro sódico (salmuera) generalmente constituye un medio enfriador más satisfactorio para los aceros al carbono. La salmuera produce un enfriamiento más rápido y uniforme y está menos afectada por el aumento de temperatura. Una solución de 3 a 5 % de hidróxido de sodio se recomienda asimismo como un buen medio enfriador para los aceros al carbono. Este baño enfría incluso más rápidamente que el cloruro de sodio.

El aceite se emplea frecuentemente como medio enfriador y se usa cuando la operación envuelve el templado de aceros al carbono de sección tan delgada que el enfriamiento en aceite produce martensita. En un medio enfriador aceitoso pueden templarse con éxito cuchillos, hojas de afeitar y alambres. El aceite se recomienda como medio enfriador con preferencia al agua siempre que se use para reducir el peligro de agrietamiento, distorsión tensiones internas. La acción del aceite es bastante diferente de la del agua, ya que tiene una velocidad de enfriamiento más grande primera etapa, o etapa de vapor, pero mucho más pequeña durante la segunda, en que el aceite moja las superficies del metal caliente. El se usa solamente para piezas delgadas de acero de temple superficial y en piezas de sección gruesa cuando el templado se aplica a aceros que tienen una pequeña velocidad de transformación de la *austenita* y se templan profundamente, como en muchos de los aceros aleados.

El aceite enfría el acero mucho más lentamente durante la última etapa del

temple. Esto es apropiado porque da como resultado un peligro menor de tensiones internas severas, alabeamiento y formación de grietas. Los aceites difieren en las características de enfriamiento y se eligen cuidadosamente. Deben tenerse en cuenta propiedades tales como inflamación, punto de ebullición, densidad y calor específico. Asimismo, es esencial tener cuidado en la elección del volumen propio y diseño del dispositivo enfriador, con el fin de controlar la temperatura del aceite enfriador. En general, se requieren aproximadamente 8,5 litros de aceite por cada kilogramo de acero a templar por hora; por lo tanto, si se templan 100kg de acero por hora, se requiere un depósito de una capacidad de 850 litros, y habrá que usar algún método para conseguir que la temperatura del aceite en el depósito se mantenga entre 26,7°C (80°F) y 65,6°C (150°F). Es ventajoso mantener el aceite a una temperatura comprendida entre 49°C - 54°C (120°F - 130°F), porque produce una velocidad de enfriamiento buena, reduce el peligro de agrietamiento y alabeamiento del acero y disminuye las tensiones internas residuales.

El aire como medio enfriador se emplea en algunos aceros de aleación elevada templados en aire. Para templar estos aceros se sacan del horno y se exponen al aire en reposo. La velocidad de enfriamiento en el aire puede modificarse usando un chorro de aire, pero no se han establecido por ahora resultados cuantitativos al variar la velocidad del aire que choca contra el metal caliente.

Los tratamientos de temple en caliente se usan con la idea de combinar los principios del temple y revenido en la misma operación, y consiste en sumergir el acero caliente en un baño de sales fundidas, mantenido a temperatura constante, generalmente entre 177°C y 427°C (350°F y 800°F). El acero se

sumerge en el baño caliente y mantiene en él lo suficiente para igualarlo a la temperatura del baño, o para transformar la *austenita* isotermicamente en *martensita*, o en algún tipo de estructura más blanda.

4.5. Templado superficial de los aceros al carbono y sus posibles Efectos.

Se ha visto más atrás que para endurecer un trozo de acero, haciéndolo martensítico, debe enfriarse rápidamente desde la temperatura de templado apropiada. Es razonable aceptar que la acción del medio enfriador líquido en el enfriamiento rápido del acero se ejerza solamente sobre la superficie del objeto de acero. El interior de cualquier objeto de acero se enfría necesariamente a una velocidad más pequeña que la superficie. Es natural esperar de este comportamiento del medio enfriador que el interior del objeto de acero se enfríe más que a la velocidad requerida para producir martensita, y así permanezca relativamente blando y tenaz. Debido a la gran velocidad de enfriamiento necesaria en el templado de los aceros al carbono, el núcleo de cualquier objeto puede quedar blando y tenaz, con lo cual solamente la superficie alcanza la máxima dureza y resulta *martensítica*.

Esto deja al objeto de acero con una superficie dura y un núcleo tenaz. Tal característica del acero al carbono lo hace favorito cuando se necesita una combinación de dureza y tenacidad. La propiedad que hace a los aceros al carbono difíciles de endurecer (gran velocidad de transformación), nos permite fabricar herramientas u objetos de acero templado con superficie de resistencia

al desgaste dura y núcleo tenaz para impedir que se rompa.

El efecto del temple superficial de los aceros al carbono hace difícil endurecer las piezas de dichos aceros de secciones gruesas. La cantidad tremenda de energía calorífica almacenada en una sección gruesa puede impedir incluso que la superficie del acero resulte completamente dura a pesar de enfriamiento rápido. En cualquier caso, la penetración de la dureza en una sección gruesa es muy ligera y quizá no lo suficientemente grande para resultar satisfactoria. Para evitar el efecto de la masa, las porciones gruesas pueden ser huecas o con machos disminuyendo por lo tanto, la sección máxima. Si la sección no puede reducirse hay que emplear aceros especiales o aleados, susceptibles de temple, venciendo así el efecto de la sección gruesa. Asimismo, en los años, el fabricante de acero ha descubierto que el tamaño del grano juega un papel importante, regulando la posibilidad de temple. Un acero de grano grueso se endurece con una penetración más de martensita que otro de grano fino de la misma composición.

4.5.. Efecto del carbono.

La capacidad de temple del acero aumenta claramente con el contenido de carbono hasta llegar casi a 0,60 % de carbono. El carbono desempeña dos papeles en el temple del acero: 1) Hasta alrededor de 0,60 % de carbono, facilita el sobreenfriamiento de la austenita a 93,3°C (200°F); por lo tanto, hace más fácil el temple del acero. Aparentemente el carbono actúa como un retardador, disminuyendo la velocidad de transformación. 2) El carbono

presente en la martensita recién nacida aumenta la dureza; de hecho, el carbono, disuelto o parcialmente precipitado en forma de *cementita*, es probablemente el factor más importante que hace la *martensita* dura. El carbono, como la cementita, Fe_3C , probablemente actúa del mismo modo que el $CuAl_2$ en el templado del aluminio. La figura 12 ilustra el efecto del carbono sobre la dureza de los aceros al carbono, tanto templados como en estado perlítico normal. Un hecho interesante es que la dureza máxima obtenida en el acero haciéndolo *martensítico* nunca cede de una dureza Rockwell de C67 y una Brinell de 745, independientemente del contenido de carbono y aleaciones especiales. Aumentando el contenido de carbono en más de 0,85 % se aumenta la dureza del acero tanto el estado perlítico como en el martensítico, pero, al mismo tiempo, un contenido elevado de carbono aumenta la velocidad de transformación de la austenita en *perlita* y, por lo tanto, hace más difícil endurecer este acero y volverlo completamente *martensítico*.

Aunque la curva del acero templado completamente, la figura 12, muestra que es posible obtener un aumento apreciable en dureza en los aceros de bajo contenido de carbono calentándolos y enfriándolos bruscamente a continuación, resulta difícil atrapar 100 % de *martensita alfa* en los aceros de más bajo contenido de carbono. Los aceros con menos del 0,30 % de carbono no se endurecen generalmente debido a esta dificultad. La curva, figura xxxs, muestra una posible dureza Rockwell C55 en aceros con 0,30 % de carbono. Esta dureza no puede obtenerse a menos que la sección sea muy delgada y enfriada enérgicamente en una lluvia de salmuera o soluciones cáusticas agitadas intensamente. Con un contenido de carbono de 0,20 %, no es posible,

prácticamente, obtener una dureza máxima Rockwell C45 con el templeado ordinario. Sin embargo, en el caso de que la forma y tamaño de la pieza de acero sea tal que permita un enfriamiento enérgico y rápido, puede obtenerse un marcado aumento en dureza y otras propiedades mecánicas con el simple proceso del templeado.

Sin embargo, cuando el contenido de carbono del acero excede de 0,30 %, resulta más fácil templearlo y darle un estado martensítico profundo y obtener la dureza máxima indicada por la figura 16.

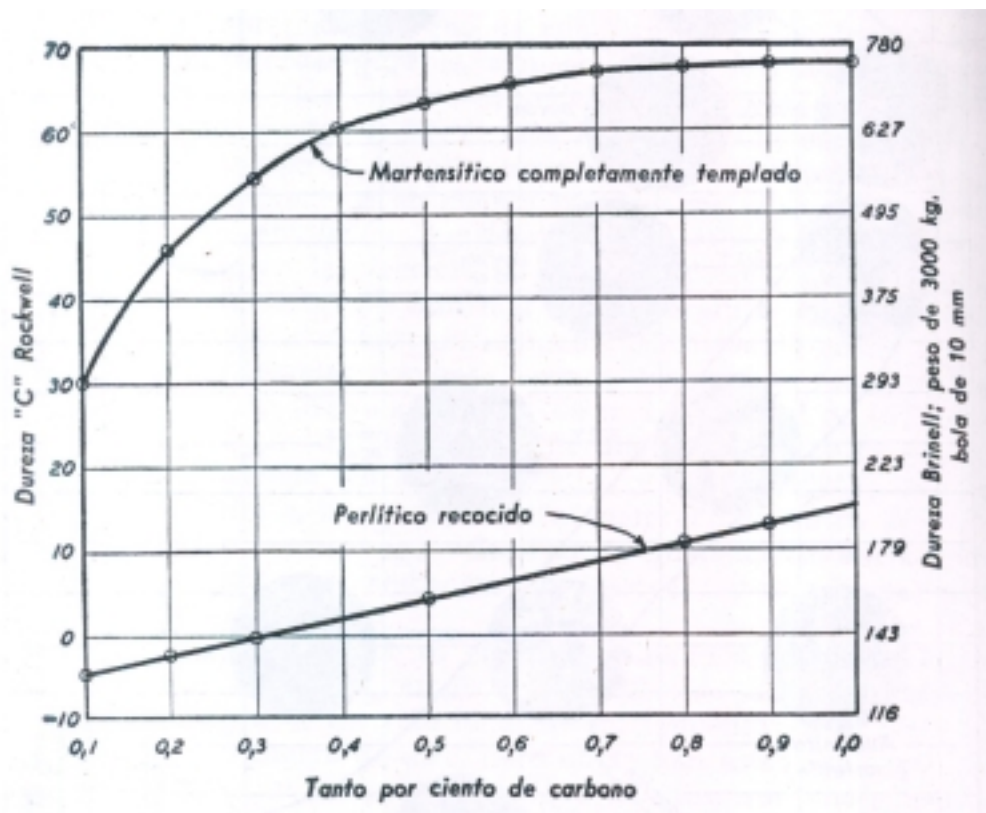


Figura 16. Efecto del Contenido de Carbono sobre la Dureza de los Aceros al Carbono con Estructura Martensítica y Perlítica (Aproximado)

4.5.2. Efecto del tamaño del grano.

Durante muchos años en la industria consumidora de acero se han obtenido una serie de distintos resultados al templear los aceros al carbono. Aceros de la misma composición química y tratamientos térmicos idénticos presentan variaciones al templearlos; algunos aceros se endurecen satisfactoriamente; otros adquieren una penetración profunda de dureza; otros se endurecen con una profundidad de dureza muy superficial y, en algunos casos, con zonas blandas. Estos resultados han sido obtenidos en talleres modernos y bien controlados al separar entre sí las distintas partidas de acero. (Si cada partida de acero se mantiene separada, resulta evidente que las partidas individuales varían en propiedades importantes, tales como facilidad de temple y distorsión durante el templeado.

Se ha demostrado que uno de los factores más importantes que contribuyen a este estado de cosas es el tamaño del grano inherente con el cual nace un acero. El tamaño del grano inherente se refiere al tamaño del grano que un acero dado posee cuando se calienta a la temperatura de temple apropiada. El fabricante de aceros puede controlar el tamaño del grano inherente de un acero durante su fabricación y, por lo tanto, dentro de ciertos límites. el tamaño del grano que el acero poseerá al calentarlo por encima de la temperatura crítica, como ocurre al templear el acero.

Se ha comprobado que los aceros de grano fino tienen una gran velocidad de transformación del estado martensítico y por lo tanto son de temple superficial;

mientras que los aceros de grano grueso son de temple profundo y más fácilmente templables, con una velocidad de transformación más pequeña.

4.5.3. Efecto de las variaciones de la temperatura de temple.

La penetración de la dureza en cualquier acero al carbono típico para herramientas puede estar afectada en gran escala por el control de la temperatura máxima elegida por el que efectúa las operaciones de templado. Hay que recordar que el tamaño del grano de la austenita es mínimo a una temperatura próxima a la línea Ac **1-2-3** de la figura 11. Calentando más allá de la Ac **1-2-3** da como resultado el crecimiento del grano de la austenita recién nacida. Calentando justamente por encima de la temperatura crítica Ac 1-2-3 un grano muy fino da como resultado un temple superficial; mientras calentado más allá de la temperatura crítica y formando una austenita grano grueso se producirá un temple más profundo. Las piezas grandes para templar, matrices de forja, etc., las cuales requieren una penetración de martensita más profunda, generalmente se calientan a una temperatura mas elevada en el temple para asegurar una dureza superficial uniforme y una penetración más bien profunda de la dureza; pequeñas matrices y secciones delgadas se templean a una temperatura próxima a la crítica con resultados satisfactorios.

4.6. Alabeamientos y Formación de Grietas.

El alabeamiento y particularmente la formación de grietas son amenazas serias en casi cada operaran de temple. De hecho, uno de los ensayos más severos que recibe un trozo de acero es el de sumergirlo en agua o salmuera a la temperatura de temple. El enfriamiento brusco puede arruinar el objeto de acero, causándole una distorsión severa o incluso la rotura. El alabeamiento o la formación de grietas se produce debido a las tensiones internas severas, creadas por una contracción y dilatación desigual que tiene lugar durante el temple. Alguna de las secciones del objeto de acero que ha de templarse se dilatan mientras que otras porciones del mismo acero se contraen. Por lo menos, la contracción que tiene lugar durante el enfriamiento severo o brusco nunca será una contracción uniforme; por lo tanto, siempre se produce alguna distorsión.

La distorsión o alabeamiento siempre tiene lugar, y si las tensiones resultan suficientemente severas y el acero se hace martensítico y frágil, siempre está presente el peligro de rotura o formación de grietas. La distorsión producida como resultado del temple, conduce a operaciones costosas para enderezar y rectificar el acero templado con el fin de quitar la distorsión y dar a las piezas de acero verdadera forma. Un estudio de la pieza que se ha de templar ahorra a menudo una gran parte del costo y dificultades futuras. El operario dedicado a los tratamientos térmicos puede demostrar su habilidad por la forma que elige el tratamiento a dar al objeto de acero que se trata de templar. Algunos de los muchos factores que influyen en el alabeamiento y formación de grietas son:

- 1) Cambios bruscos y no compensados de sección;
- 2) Aristas vivas e

incisiones profundas practicadas en herramientas, las cuales actúan como formadoras de grietas; 3) Formas intrincadas con muchos entrantes y salientes; 4) Defectos del acero, tales como costuras, materias extrañas, segregación y granos gruesos, los cuales debilitan al acero y producen anomalías. La figura 17a ilustra un cordón de escoria en el acero que produce la rotura en el templado. La figura 17b muestra un tipo común de defecto en el acero al carbono para herramientas de temple superficial, sea el desconchado. Las esquinas o partes de la superficie del acero se desconchan del cuerpo del objeto. Afortunadamente estas roturas pueden evitarse en la mayoría de las operaciones de temple.



Figura 17a. Veta de Escoria en un Acero como Causa de Defecto en un Templado.

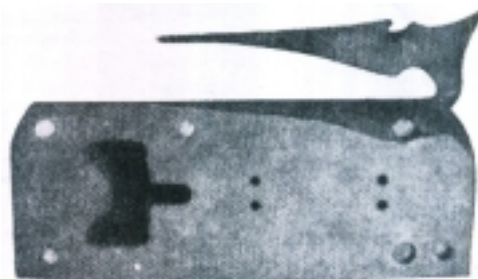


Figura 17b. Matriz de Acero al Carbono Templada con Esquinas y Bordes Desconchados; Acero de Temple superficial.

4.7. Determinación de la Dureza Promedio Adquirida por el Acero 1045 Durante la Operación de Temple sobre Baño de Aceite SAE W50 Y Aceite Dielectrico (Capella).

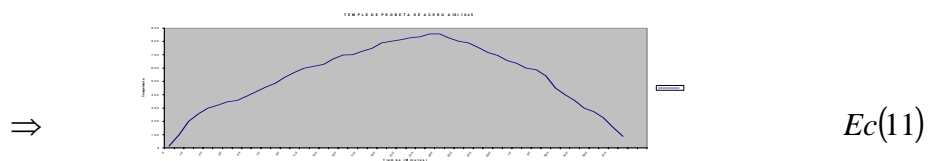
Para la determinación de la dureza promedio obtenida a través del temple en baño de aceite se realizaron 10 pruebas de dureza por cada probeta sumergida en su baño correspondiente, obteniéndose a si una medida promedio o media del numero de pruebas realizadas. A continuación se establecen las medidas obtenidas a través de datos consignados por la utilización de un durómetro para definir la dureza tipo Rockwell C.

Tabla 8. Datos de Dureza Rockwell Establecidos por medio de Operación de Temple en Baño de Aceite Dielectrico (Capella).

Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Prueba N°1	74.7RC	Prueba N°1	68.0RC	Prueba N°1	53.2RC
Prueba N°2	60.1RC	Prueba N°2	70.0RC	Prueba N°2	53.4RC
Prueba N°3	71.0RC	Prueba N°3	65.3RC	Prueba N°3	54.6RC
Prueba N°4	75.4RC	Prueba N°4	54.0RC	Prueba N°4	55.8RC
Prueba N°5	83.2RC	Prueba N°5	75.3RC	Prueba N°5	75.0RC
Prueba N°6	52.4RC	Prueba N°6	59.8RC	Prueba N°6	66.3RC
Prueba N°7	72.3RC	Prueba N°7	60.2RC	Prueba N°7	57.6RC
Prueba N°8	95.9RC	Prueba N°8	59.4RC	Prueba N°8	59.5RC
Prueba N°9	63.6RC	Prueba N°9	80.2RC	Prueba N°9	76.0RC
Prueba N°10	81.8RC	Prueba N°10	79.7RC	Prueba N°10	77.5RC
Promedio de Pruebas:	$X_1=73.04$	Promedio de Pruebas:	$X_2=67.19$	Promedio de Pruebas:	$X_3=62.89$

Probeta 1		Probeta 2	
Prueba N°1	55.7RC	Prueba N°1	63.6RC
Prueba N°2	55.6RC	Prueba N°2	56.3RC
Prueba N°3	92.0RC	Prueba N°3	57.6RC
Prueba N°4	59.0RC	Prueba N°4	69.3RC
Prueba N°5	68.6RC	Prueba N°5	54.0RC
Prueba N°6	71.3RC	Prueba N°6	62.1RC
Prueba N°7	77.6RC	Prueba N°7	60.7RC
Prueba N°8	55.0RC	Prueba N°8	63.7RC
Prueba N°9	78.5RC	Prueba N°9	80.0RC
Prueba N°10	70.3RC	Prueba N°10	79.4RC
Promedio de Pruebas:	$X_4=68.2$	Promedio de Pruebas:	$X_5=64.67$

Calculo de Media aritmética y desviación estándar para numero de mediciones tomadas a partir del temple en baño de aceite Capella.



Donde:

\bar{x} : Media de la muestra

x : Mediciones u observaciones = 5

n : Numero de mediciones = 5

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{73.04 + 67.19 + 62.89 + 68.22 + 64.67}{5} = 67.19$$

$$\Rightarrow s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad Ec(12)$$

Donde:

s : Desviación estándar o variación de la muestra

x_i	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
73.04	5.85	34.22
67.19	0	0
62.87	-4.3	18.49
68.22	1.03	1.06
64.67	-2.52	6.35
		60.12

$$\Rightarrow s = \sqrt{\frac{(60.12)}{4}} = 3.87$$

Tabla 9. Datos de Dureza Rockwell Establecidos por medio de Operación de Temple en Baño de Aceite SAE W50

Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
Prueba N°1	50.4RC	Prueba N°1	50.6RC	Prueba N°1	53.2RC
Prueba N°2	70.1RC	Prueba N°2	55.0RC	Prueba N°2	74.8RC
Prueba N°3	62.7RC	Prueba N°3	52.7RC	Prueba N°3	75.1RC
Prueba N°4	69.7RC	Prueba N°4	67.4RC	Prueba N°4	75.5RC
Prueba N°5	53.2RC	Prueba N°5	65.0RC	Prueba N°5	69.5RC
Prueba N°6	67.0RC	Prueba N°6	60.8RC	Prueba N°6	60.0RC
Prueba N°7	60.1RC	Prueba N°7	57.3RC	Prueba N°7	54.7RC
Prueba N°8	76.3RC	Prueba N°8	51.1RC	Prueba N°8	59.0RC
Prueba N°9	56.0RC	Prueba N°9	69.3RC	Prueba N°9	65.0RC
Prueba N°10	63.2RC	Prueba N°10	68.3RC	Prueba N°10	63.8RC
Promedio de Pruebas:	$X_1=62.87$	Promedio de Pruebas:	$X_2=59.75$	Promedio de Pruebas:	$X_3=65.06$

Probeta 1		Probeta 2	
Prueba N°1	52.4RC	Prueba N°1	61.9RC
Prueba N°2	55.6RC	Prueba N°2	69.3RC
Prueba N°3	57.6RC	Prueba N°3	67.7RC
Prueba N°4	59.0RC	Prueba N°4	77.6RC
Prueba N°5	64.1RC	Prueba N°5	62.7RC
Prueba N°6	65.2RC	Prueba N°6	66.0RC
Prueba N°7	53.1RC	Prueba N°7	67.4RC
Prueba N°8	68.0RC	Prueba N°8	61.4RC
Prueba N°9	60.2RC	Prueba N°9	69.2RC
Prueba N°10	63.0RC	Prueba N°10	59.0RC
Promedio de Pruebas:	$X_4=60.82$	Promedio de Pruebas:	$X_5=66.22$

Calculo de Media aritmética y desviación estándar para numero de mediciones tomadas a partir del temple en baño de aceite SAE W50.

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{62.87 + 59.75 + 65.06 + 60.82 + 66.22}{5} = 62.94$$

s : Desviación estándar o variación de la muestra

x_i	$\left(x_i - \bar{x}\right)$	$\left(x_i - \bar{x}\right)^2$
62.87	-0.07	0.0049
59.75	-3.19	10.17
65.06	2.12	4.49
60.82	-2.12	4.49
66.22	3.28	10.75
		30

$$\Rightarrow s = \sqrt{\frac{(30)}{4}} = 2.73$$

RECOMENDACIONES ESTABLECIDAS PARA LA APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO TERMICO SUGERIDO PARA LOS ELEMENTOS DE TRABAJO EN ESTUDIO.

En la siguiente tabla se establecen los parámetros idóneos para la aplicación del tratamiento térmico según recomendaciones y especificaciones del material en estudio.

También se tienen en cuenta propiedades tales como medios enfriadores, rango de temperatura del tratamiento térmico , tiempo del proceso y posibles recomendaciones a tener en cuenta durante la ejecución del mismo.

Tabla 10. Especificaciones y Recomendaciones para realizar el debido Temple sobre los Elementos en Estudio.

AISI 1045	HELICE 1	HELICE 2	HELICE 3	HELICE 4	HELICE 5	HELICE 6	HELICE 7
TEMPERATURA DEL TEMPLE (°C)	800 – 900	"	"	"	"	"	"
TIEMPO DE EJECUCION	7 – 8 Hr	"	"	"	"	"	"
MEDIO ENFRIANTE	Aceite Capella	"	"	"	"	"	"
INDECE DE DUREZA OBTENIDO	67.2 RC	65.3	67.0	66.8	67.0	67.2	65.9
<p>OBSERVACIONES: Es importante que la Pieza en estudio quede completamente sumergida de el medio enfriador, ya que así la pieza adquiere un temple mucho mas uniforme y progresivo en torno a la superficie a templar.</p> <p>Es importante el hecho de dejar que la pieza sometida al debido tratamiento se enfrie, de forma constate al interior del horno después de la ejecución de dicho temple, para que este realice el proceso de forma controlada y bajo parámetros de trabajo establecidos.</p>							

5. CÁLCULOS DE DISEÑO

5.1. Cálculos del flujo Másico y Volumétrico

Debido a las investigaciones y cálculos realizados en la empresa con los operarios de la planta y datos de diseño, se calculo que las rpm de operación son 25.3 rpm. Este dato es tomado como base para determinar el flujo másico y volumétrico al interior del cilindro.

⊕ Factores a Determinar

V_{Tan} : Velocidad Tangencial

$V_{Arrastre}$: Velocidad de Arrastre

H : Profundidad del Canal

W : Ancho del Canal

$\overset{\circ}{m}$: Flujo Másico

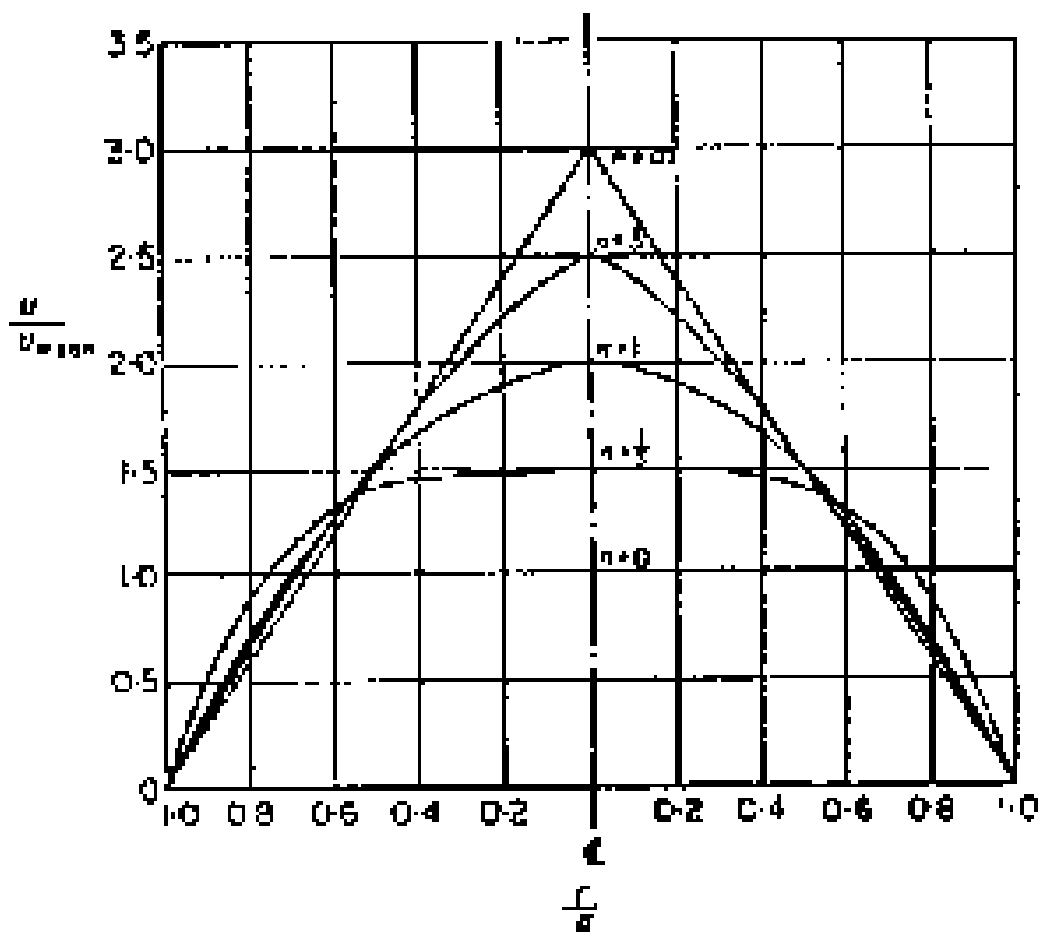
G : Flujo Volumétrico

$\rho_{Arcilla}$: Densidad de la Arcilla

ϕ : Angulo de Arrastre o Hélice

Pseudoelasticidad

Los productos tanto alimenticios como minerales , conteniendo moléculas de cadena larga, no se comportan de forma ideal. Sus viscosidades son usualmente pseudoplásticas, significando que la viscosidad disminuye con el corte. Debido a que el corte varía a u través del dado de extrusión, así también varía la viscosidad, teniendo un efecto en el perfil de velocidad.



PERFILES DE VELOCIDAD PARA FLUIDOS NO NEWTONIANOS

Figura 18. Perfil de Velocidades Presentados por Fluidos No Newtonianos.

Efectos De Punta/Borde:

Algunas porciones de las secciones transversales del dado, exponen más superficie del dado al producto en movimiento que otros, causando más arrastre y reducida velocidad. Las esquinas y puntas de las ranuras son ejemplos.

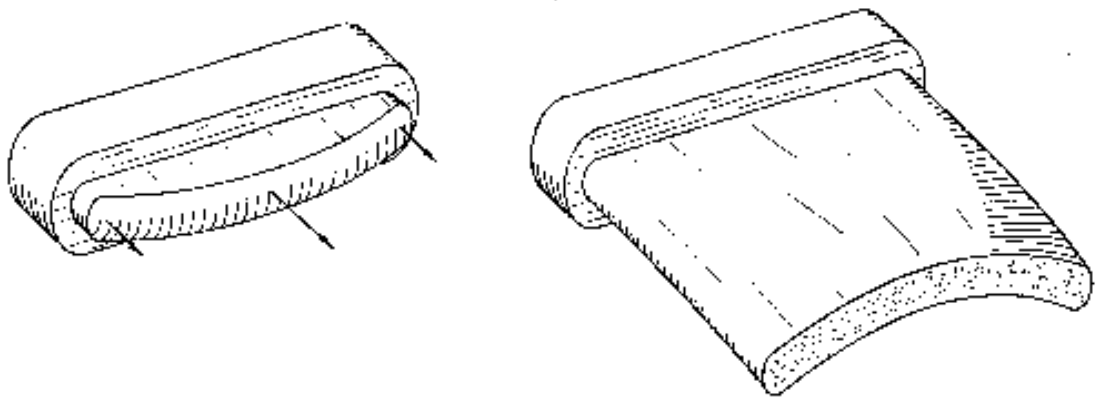
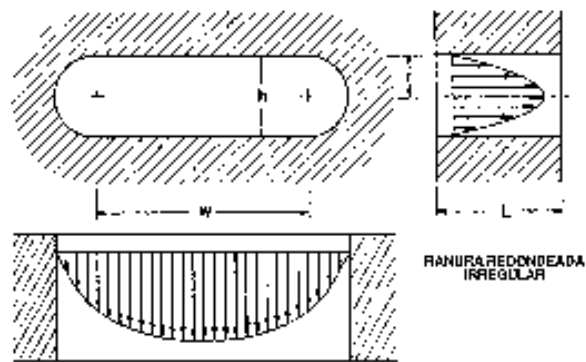


Figura 19. Efectos de Punta de Borde Presentados sobre Fluidos No Newtonianos.

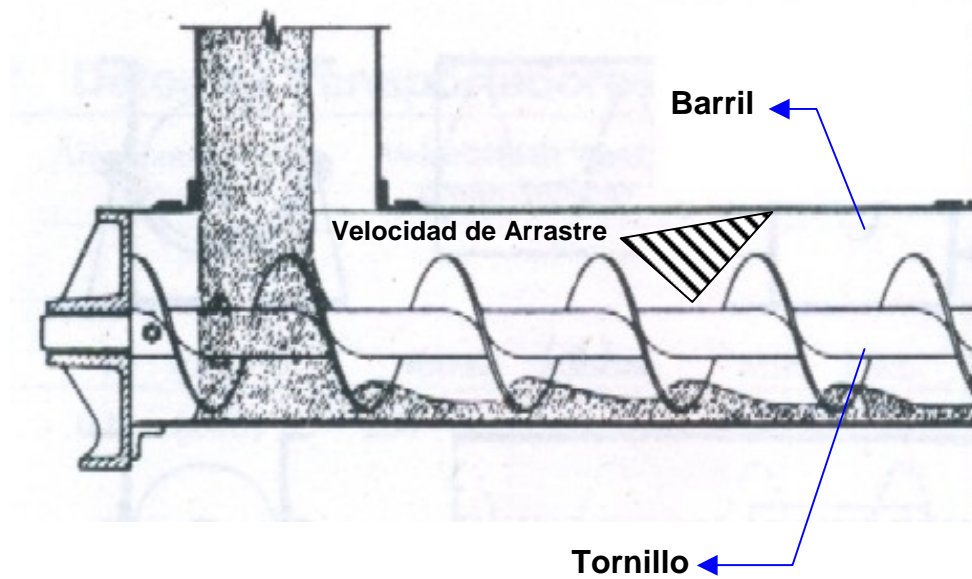


Figura 20. Perfil de Velocidad de la Arcilla en el Interior del Cilindro.

Para V_{Tang} Tenemos:

$$\Rightarrow V_{Tang} = \frac{\pi \times D_{EJE} \times \eta}{60} = \frac{\pi \times (0.13m) \times (25.3rpm)}{60} \quad Ec(13)$$

$$\Rightarrow V_{Tang} = 0.17 \frac{m}{sg}$$

Según medidas realizadas:

$D_{Cilindro}$: Diámetro del cilindro extrusor = 0.45m

D_{Eje} : Diámetro de eje extrusor

$W = 0.21m$

$$\phi = 80^\circ$$

$$\Rightarrow H = D_{Cilindro} - D_{Eje} = 0.45m - 0.13m \Rightarrow H = 0.32m \quad Ec(14)$$

Para $V_{Arrastre}$ Tenemos:

$$\Rightarrow V_{Arrastre} = V_{Tang} \times \cos\phi = 0.17 \frac{m}{seg} \times \cos(80^\circ) \quad Ec(15)$$

$$\Rightarrow V_{Arrastre} = 0.0295 \frac{m}{sg} \quad \Rightarrow V_{Arrastre} = 2.95 \frac{Cm}{sg}$$

Calculo de Flujo Volumétrico:

$$\Rightarrow G = V \times A. \quad Ec(16)$$

Donde:

V : Velocidad Lineal

A : Área de Flujo

$$\Rightarrow V = \frac{V_{Arrastre}}{2} \quad Ec(17)$$

$$\Rightarrow V = \frac{0.0295 \frac{m}{sg}}{2} = 0.0147 \frac{m}{sg} \Rightarrow V = \frac{0.0295 \frac{m}{sg}}{2} = 1.47 \frac{cm}{sg}$$

$$\Rightarrow A = H \times W \quad Ec(18)$$

$$\Rightarrow A = 0.32m \times 0.21m = 0.0672m^2$$

$$\Rightarrow G = 0.0147 \frac{m}{sg} \times 0.0672m^2 = 0.00098 \frac{m^3}{sg} = 9.87 \frac{cm^3}{sg}$$

Calculo de flujo másico

$$\Rightarrow \overset{o}{m} \left[\frac{lb}{sg} \right] = G \times \rho_{Arcilla} \quad Ec(19)$$

Donde:

$\rho_{Arcilla}$: Densidad de la arcilla a presión atmosférica normal = $1281 \frac{kg}{m^3}$ (Ver

Anexo D)

$$\Rightarrow \overset{o}{m} \left[\frac{lb}{sg} \right] = 0.00098 \frac{m^3}{sg} \times \left(1281 \frac{kg}{m^3} \right) \Rightarrow \overset{o}{m} = 1.26 \frac{kg}{sg}$$

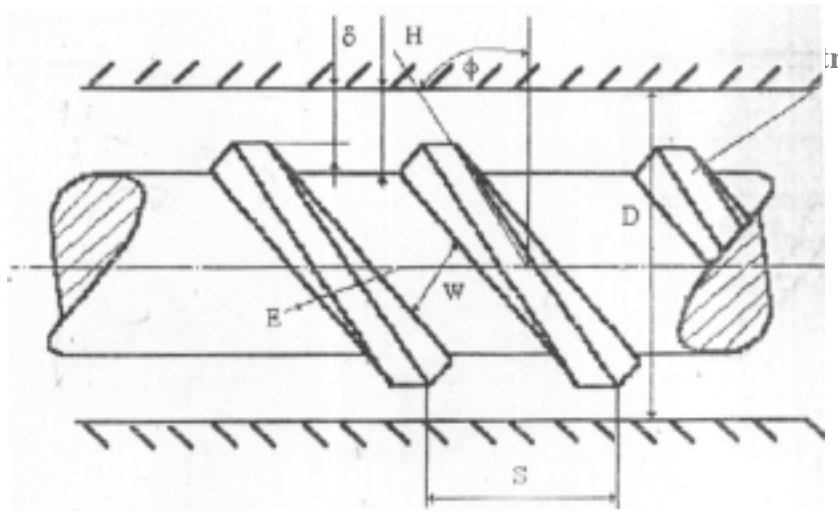


Figura 21. Datos Medibles sobre eje de extrusión

Donde:

S: Paso

W: Ancho del Canal

E: Ancho del Filete

H: Profundidad del Filete

δ : Juego Radial

D: Diámetro de Barril

ϕ : Angulo de Paso

Tr: Flanco Activo

5.2. Cálculos de Fuerza Axial, Torque mínimo en el tornillo y Potencia necesaria en el sistema

En este numeral se calculara la fuerza axial resultante de reacción ejercida sobre el área superficial del eje extrusor y sobre las hélices o cuchillas helicoidales por la acción de la presión interna ejercida al interior del cilindro cuando al eje se le aplica un par de torsión, teniendo en cuenta los mecanismos empleados para su implementación tales como poleas y reductores de velocidad y ejes de acople directo.

Por otro lado se efectuaran cálculos de diseño sobre áreas y superficies criticas expuestas de manera directa a la acción de la fuerza axial resultante.

5.2.1. Calculo de Fuerza Axial debido a la Presión Interna dentro del cilindro de Extrusión.

Para efectos de calculo se tendrá en cuenta los parámetros de diseño establecidos en la tabla siguiente:

Tabla 11. Presiones Internas en Extrusoras Tipo Verdes 42/44 506. Monoblock.

EXTRUSORAS MONOBLOK		42/44 RNV	42/46 RNV	42/47 RNV	42/48 RNV	42/49 RNV	42/50 RNV
Diámetro de la hélice cónica	mm	250/280	400/450	450/500	550/600	600/700	700/750
Presión máxima d'extrusión	Kg/cm ²	15	30	30	30	35	35
Potencia necesaria	Hp	40	100/125	220	340	540	610
Producción	Ton/h	2/4	8/15	18/24	35/40	50/60	60
Peso aproximado	Kg	5000	9600	12 000	18 500	26 000	30 500

Fuente: <http://www.ipiac.it/Catalogo/Maquinas/EspExtrusoras.html>

$$P_i = 15 \frac{Kg}{cm^2} = 213.20 Psi$$

$$\Rightarrow P_i = \frac{F}{A_f} \quad Ec(20)$$

Donde:

P_i : Presión interna dentro del cilindro

F : Fuerza axial sobre eje extrusor

A_f : Área de flujo de arcilla o área del cilindro extrusor $A_f = \pi(r)^2$

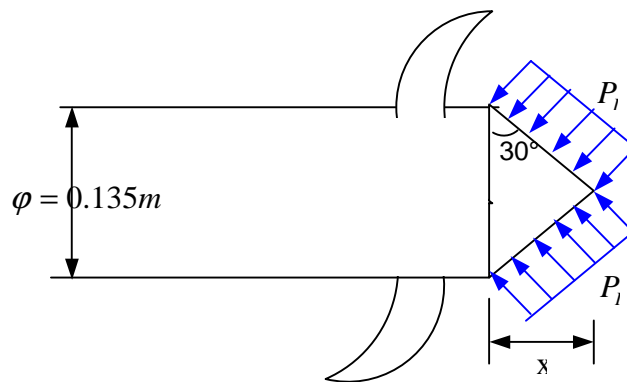


Figura 22. Detalle Posterior del Tornillo Extrusor.

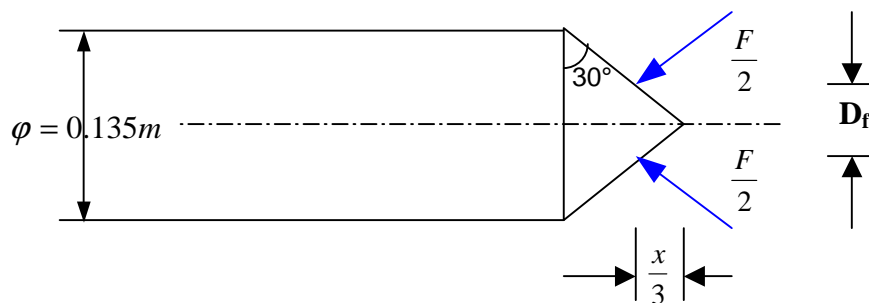


Figura 23. Diagrama de Cuerpo Libre para Fuerza Axial Resultante.

Para fuerza axial tenemos:

$$\Rightarrow F = P_l \times A_f = 15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} (\pi (22.5 \text{cm})^2)$$

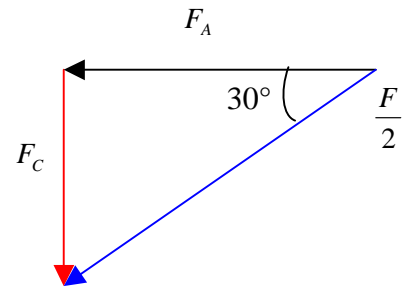
$$\Rightarrow F = 23856.46 \text{kg} \times \frac{9.8 \text{N}}{1 \text{kg}} \Rightarrow F = 233793.39 \text{N}$$

Determinación de fuerza axial resultante a través de la aplicación del triángulo de fuerzas actuantes

Donde:

F_A : Fuerza axial

F_C : Fuerza cortante



$$\Rightarrow F_A = \left(\frac{F}{2}\right) \text{Cos}(30^\circ) \quad \text{Ec}(21)$$

$$\Rightarrow F_A = (116896.69 \text{N}) \text{Cos}(30^\circ) \Rightarrow F_A = 101235.51 \text{N}$$

$$\Rightarrow F_C = \left(\frac{F}{2}\right) \text{Sen}(30^\circ) \quad \text{Ec}(22)$$

$$\Rightarrow F_C = (116896.69 \text{N}) \text{Sen}(30^\circ)$$

$$\Rightarrow F_C = 58448.34 \text{N}$$

como son dos fuerzas axiales actuantes sobre cada cara del cono circular entonces la fuerza axial total viene dada por:

$$\Rightarrow F_{AT} = 2F_A = 202471.02 \text{N} \quad \text{Ec}(23)$$

al igual que para la componente axial, la fuerza cortante total también viene dada por:

$$\Rightarrow F_{CT} = 2F_{CT} = 116896.69N \quad Ec(24)$$

5.2.2 Calculo de Torque debido a carga generada por la presión interna al interior del cilindro extrusor.

$$\Rightarrow T_{EJE} = F \times r_{EJE} \quad Ec(25)$$

donde:

T_{EJE} : Torque sobre eje debido a carga por presión interna

r_{EJE} : Radio de eje extrusor

F : Carga debido a presión interna

$$\Rightarrow T_{EJE} = 116896.69N(6.75cm) = 789052.71N.Cm$$

Determinación de la fuerza de fricción actuante sobre eje de extrusión

Para la determinación de la fuerza de fricción se hace necesario conocer en primera instancia el factor de fricción que rige en la operación de extrusión, como el sistema operativo de extrusión consta del desplazamiento de la arcilla

a lo largo del tornillo sin fin, siempre existirá la fuerza friccionante en contra del desplazamiento por lo tanto se tendrá en cuenta el efecto de la arcilla sobre el elemento de trabajo. Para tal efecto definiremos el factor de fricción mediante el uso de la tabla 12 que establece los parámetros por la interacción entre dichos materiales.

Tabla 12 . Coeficientes de Fricción Sobre Plancha de Acero.

Antracita	0.33
Arcilla	0.60 – 0.70
Cal Hidratada	0.65
Caliza, pulverizada	0.53
Carbón bituminoso	0.59
Cemento	0.93
Combustible de madera, triturada, seco	0.65
Copra	0.40
Coque	0.36
Granos	0.30 – 0.40
Serrín mojado	0.60
Sosa comercial	0.65

Fuente : Manual del Ingeniero Mecánico Marks

$$\Rightarrow F_R = f \times F_{AT} \quad Ec(26)$$

Donde::

f : Coeficiente de fricción entre la arcilla y el acero = 0.7

$$\Rightarrow F_R = (0.7)(15053.9N) = 141729.71N$$

F_R es la fuerza de fricción que se genera cuando el tornillo presiona al material en la zona de dosificación en la cual la presión interna es máxima.

El torque que debe ejercerse en el tornillo para mover el material a lo largo del cilindro de extrusión debe ser igual o mayor a la fuerza de fricción por el radio de hélice.

$$\Rightarrow T_{EJE} \geq F_R \times r_H \quad Ec(27)$$

$$\Rightarrow T_{EJE} \geq (141729.71N)(4.4Cm) = 623610.74N.Cm$$

$$\Rightarrow \text{si } T_{EJE} = 789052.71N.Cm \quad \Rightarrow \quad 1789052.71N.Cm \geq 623610.74N.Cm$$

se cumple con parámetro.

Determinación de la potencia requerida para mover el material a todo lo largo del Tornillo.

$$P_{Arrastre} = T \times w$$

$$\Rightarrow w = \frac{2\pi\eta}{60} = \frac{2\pi(25.3rpm)}{60} = 2.64 \frac{rad}{sg}$$

donde:

T : Torque debido a fuerza axial por efecto de presión interna.

w : velocidad angular.

$D_F = 0.088m$: Diámetro friccional sobre el final del eje extrusor

$$\Rightarrow P_{Arrastre} = F(D_F) \times w$$

$$\Rightarrow P_{Arrastre} = 116896.69N(0.088m) \left(2.64 \frac{rad}{sg} \right) = 27157.43watt$$

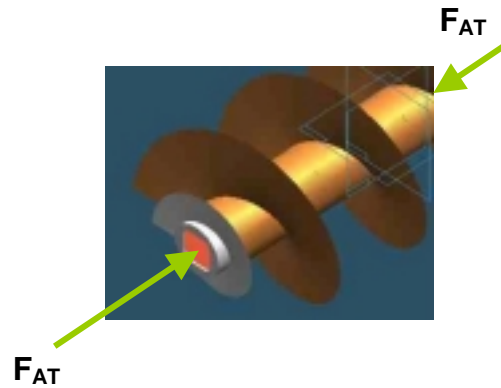
$$\Rightarrow P_{Arrastre} = 36.41hp$$

5.2.3. Calculo de Esfuerzos sobre el eje extrusor

Esfuerzos Normales Debido a Carga Axial

$$\Rightarrow \sigma_N = \frac{F_{AT}}{A_{EJE}}$$

Ec(28)



donde:

A_{EJE} : Área de la sección transversal del eje

$$\text{donde } F_{AT} = 202471.02N \text{ y } A_{EJE} = \pi \times r^2 = \pi(6.75Cm)^2 = 143.13Cm^2 \quad Ec(29)$$

$$\Rightarrow \sigma_N = \frac{202471.02N}{(0.01431m^2)} = 14.15Mpa$$

para determinar si el eje extrusor no presenta fallas debido a la carga axial aplicada, comparamos el valor obtenido con el valor del esfuerzo ultimo propio del acero 1045.

$$S_U \geq \sigma_N \quad \Rightarrow \quad 570Mpa \geq 14.15Mpa$$

se determina que el eje no falla debido a el esfuerzo normal sobre este.

Debido a Esfuerzo Cortante

$$\Rightarrow \tau_{CORTANTE} = \frac{F_{CT}}{A_{EJE}} = \frac{116896.69}{0.01423m^2} = 8.23Mpa \quad Ec(30)$$

para determinar si el eje extrusor no presenta fallas debido a la carga cortante aplicada, comparamos el valor obtenido con el valor del esfuerzo ultimo propio del acero 1045.

$$S_U \geq \tau_{CORTANTE} \quad \Rightarrow \quad 570Mpa \geq 8.23Mpa$$

5.2.4. Calculo de Potencia transmitida desde el motor hasta eje extrusor

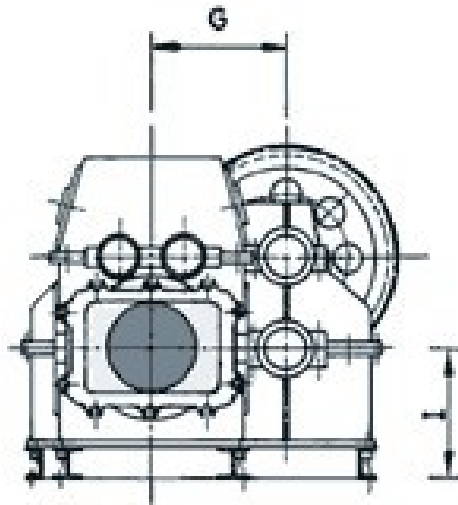


Figura 24a. Esquema de Extrusora según Configuración de Planta .

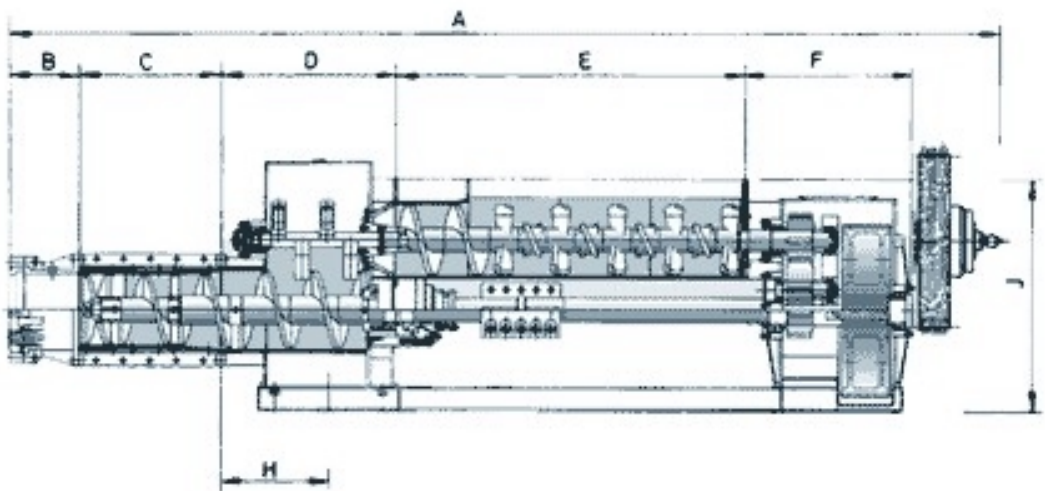


Figura 24b. Esquema de Extrusora según Configuración de Planta .

Tabla 13. Dimensiones de la Maquina Extrusora según Configuración.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
42/44 UNV	3620	170	510	690	1223 x 380	677	395	418	400	900
42/46 UNV	4650	270	760	990	1640 x 650	990	580	610	550	1260
42/47 UNV	6225	400	805	1100	2350 x 800	1020	675	684	650	1480
42/48 UNV	6950	400	850	1200	2600 x 960	1300	757	845	750	1720
42/49 UNV	7650	450	900	1280	3000 x 1200	1370	840	1010	850	2010

Fuente: <http://www.ipiac.it/Catalogo/Maquinas/EspExtrusoras.html>

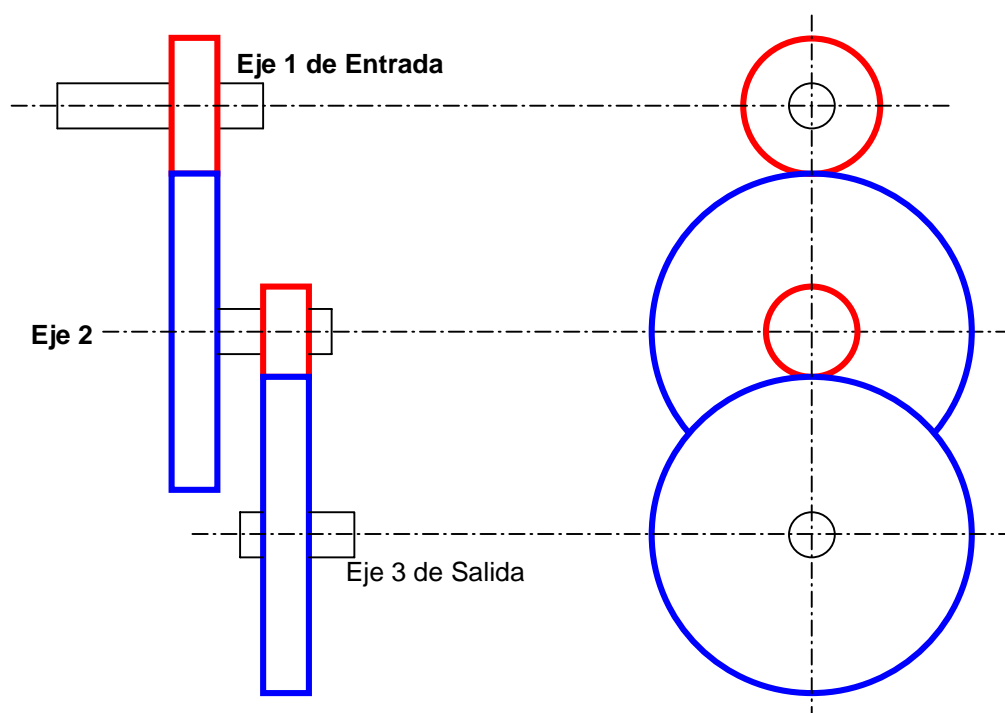


Figura 25. Esquema del Tren de Engranajes de Doble Reduccion para la Transmision de potencia.

Cálculos de Relación de Velocidad en Reductores

Reductor 1

Para calcular las revoluciones a las que gira el piñón 1. Determinaremos las rpm, de la polea conducida por el motor eléctrico, siendo esta similar a la del piñón 1.

Información del sistema de trabajo

Polea 1

$$D_1 = 0.24m = 9.84in$$

$$\eta = 1770rpm$$

$$hp_{Pr\ oyecto} = 125hp$$

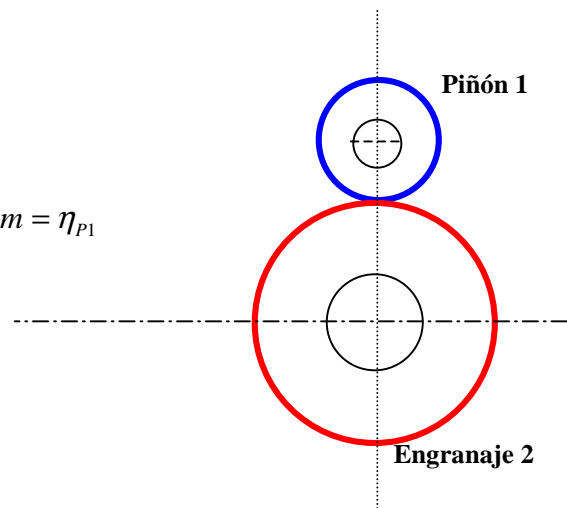
Polea 2

$$D_2 = 0.76m = 30.31in$$

$$\eta_2 = ?rpm.. = \eta_{P1}$$

$$\Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad Ec(19)$$

$$\Rightarrow \eta_2 = \frac{(0.24m)(1770rpm)}{0.76m} = 558.94rpm = \eta_{P1}$$



Según datos tomados tenemos:

Donde:

D : Diámetro de Piñón o Engranaje

η : Velocidad en rpm

$$D_{P1} = 4.40in = 0.11m \quad D_{E2} = 19.48in = 0.49m$$

$$\eta_{P1} = 558.94rpm \quad \eta_2 = ?$$

si $D_{P1} < D_{E2}$

$$\Rightarrow \eta_{E2} = \frac{D_{P1}\eta_{P1}}{D_{E2}} \quad Ec(31)$$

$$\Rightarrow \eta_{E2} = \frac{(0.11m)(558.94rpm)}{(0.49m)} = 125.47rpm = \eta_{P3}$$

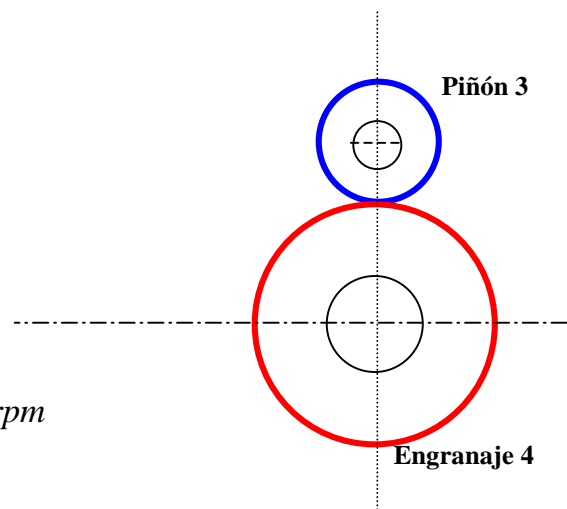
Reductor 2

$$D_{P3} = 4.25in = 0.10m \quad D_{E4} = 19.48in = 0.49m$$

$$\eta_{P3} = 125.47rpm \quad \eta_{E4} = ?$$

si $D_{P3} < D_{E4}$

$$\Rightarrow \eta_{E4} = \frac{(0.10m)(125.47rpm)}{0.49m} = 25.60rpm$$



Análisis de Fuerzas Tangenciales sobre Reductores de Velocidad

Se calculara la fuerza tangencial ejercida sobre el engranaje 4 o el engranaje de el eje extrusor para determinar la potencia transmitida desde el motor hasta el eje, teniendo en cuenta el grado de la fuerza tangencial y su efecto sobre la potencia obtenida en este.

Para tal análisis solo se tendrá en cuenta la interacción del reductor 2.

Para el siguiente análisis se implementaran unas serie de ecuaciones establecidas como:

- ⊕ Carga Transmitida.
- ⊕ Potencia debido a Carga
- ⊕ Torque sobre eje extrusor

Para el calculo de Carga Transmitida Tenemos:

$$\Rightarrow F_t = \frac{4500CV}{V_m} \quad Ec(32)$$

Donde:

F_t : Carga transmitida (kg)

CV : Potencia de Entrada (hp) = 125hp

V_m : Velocidad en la circunferencia primitiva (Piñón) (mpm)

$$\Rightarrow V_{P3} = \pi(D_{P3}) \times \eta \quad Ec(33)$$

Donde:

D_{P3} : Diámetro del Piñón = 4.25in = 0.10m

η_{P3} : Revoluciones en el Piñón = 125.60 rpm

$$\Rightarrow V_m = \pi(0.10m)(125.60rpm) = 39.45mpm$$

Para 112.5 hp de proyecto la carga transmitida esta dada por:

$$F_t = \frac{4500(112.5hp)}{39.45mpm} \Rightarrow F_t = 12832.69kg$$

Calculo de Torque sobre eje extrusor debido a la fuerza tangencial

$$\Rightarrow T = \frac{63000 \times hp}{\eta} \quad Ec(34)$$

Donde:

hp : Potencia sobre eje extrusor

T : Torque sobre eje

η : Revoluciones del eje extrusor

$$\Rightarrow T = \frac{63000(112.5hp)}{25.60rpm} \qquad \Rightarrow T = 276855.46lb.in$$

5.3. Calculo de Perdidas de potencia transmitida o de proyecto desde el motor eléctrico hasta el eje extrusor.

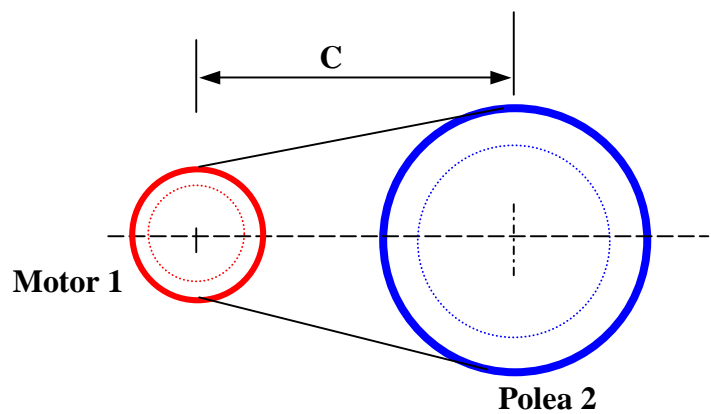
Información del sistema de trabajo

Polea 1

$$D_1 = 0.249m = 9.84in$$

$$\eta = 1770rpm$$

$$hp_{PLACA} = 125hp$$



Polea 2

$$D_2 = 0.76m = 30.31in$$

$$\eta_2 = ?rpm$$

Relación de Velocidades entre Polea 1 y Polea 2

$$\Rightarrow \frac{D_2}{D_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \Rightarrow \eta_2 = \frac{(0.249m)(1770rpm)}{0.76m} = 558.94rpm$$

$$\Rightarrow V_m = \pi \times (D_2) \times \eta_2 \quad Ec(35)$$

$$\Rightarrow V_m = \pi(0.76m)(558.94rpm) = 1334.53mpm$$

Determinación del Numero de correas Optimas para la Transmisión de Potencia Máxima.

Para la realización de los siguientes cálculos se tendrá en cuenta el número de correas necesarias para transmitir la máxima potencia que se emplea desde el motor eléctrico hasta la polea o eje impulsado, teniendo en cuenta los parámetros de entrada para el funcionamiento del sistema y los factores determinantes que interactúan de forma indirecta en la transmisión eficaz de potencia.

En nuestro Trabajo se tendrán en cuenta los parámetros de calculo necesarios para establecer la transmisión de potencia por correas trapezoidales en el sistema de extrusión. Tales parámetros se enuncian a continuación:

- Coeficiente de servicio N_{sf} .
- Potencia de Diseño o Proyecto.
- Coeficiente de Diámetro Pequeño (K_d).

- Selección de Sección de Correa.
- Potencia Nominal.
- Coeficiente de Arco de Contacto (K_θ)

Determinación del Coeficiente de Servicio N_{sf}

Para la determinación del valor de N_{sf} se tendrá en consideración la experiencia a nivel de ingeniería y los parámetros de diseño tales como tipo de maquinaria impulsora y a su vez la conducida, además de los tiempos estipulados de trabajo mecánico de la maquinaria.

Estableciendo parámetros de diseño tales como:

- Maquina conductora = Motor eléctrico C.A. Fase partida.
- Maquina Conducida = Transportador de Arcilla
- Servicio Intermitente, entonces restar 0.2 a coeficiente.

$$\Rightarrow N_{sf} = 1.1 - 0.2 = 0.9 \text{ (Ver anexo B)}$$

Potencia de Diseño Pot_D

$$\Rightarrow Pot_D = Hp_E \times N_{sf} \quad Ec(36)$$

Donde:

Hp_E : Potencia de Entrada

N_{sf} : Coeficiente de Servicio

$$\Rightarrow Pot_D = (125Hp)(0.9) = 112.5Hp$$

Coeficiente de Diámetro Pequeño (K_d)

$$\Rightarrow K_d = \frac{D_2}{D_1} \quad Ec(37)$$

$$\Rightarrow K_d = \frac{(0.76m)}{(0.249m)} = 3.05 \Rightarrow K_d = 1.14 \text{ (Ver anexo C)}$$

Selección de Sección de Correa

Para la selección del tipo de sección de la correa se fijara la potencia de diseño y las revoluciones a las que se encuentra sometida la polea conductora. (Ver anexo C).

Para una $Pot_D = 112.5Hp$ y $n_1 = 1770$ rpm

$$\Rightarrow \text{Sección Tipo C} \left(\begin{array}{l} \mathbf{a = 8.792} \\ \mathbf{c = 38.819} \\ \mathbf{e = 0.0416} \end{array} \right)$$

Calculo de Potencia Nominal

$$\Rightarrow Pot_N = \left[(2.98)a \left(\frac{10^3}{V_m} \right)^{0.09} - \left(\frac{(8.43)c}{K_d \cdot D_1} \right) - \left(\frac{(35.72)eV_m^2}{10^6} \right) \right] \left(\frac{V_m}{10^3} \right) \quad Ec(38)$$

$$Pot_N = \left[(26.20) \left(\frac{10^3}{1334.53mpm} \right)^{0.09} - \left(\frac{327.24}{(1.14)(24.9m)} \right) - \left(\frac{(1.48)(1334.53mpm)^2}{10^6} \right) \right] \left(\frac{1334.53mpm}{10^3} \right)$$

$$\Rightarrow Pot_N = 15.16Hp$$

Determinación del Coeficiente de Arco de Contacto (K_θ)

$$\Rightarrow \frac{D_2 - D_1}{C} = K \quad Ec(39)$$

Donde :

C : Distancia entre centros = 2.1m =82.67in

K : Constante de Relación de diámetros

$$\Rightarrow \frac{(0.76 - 0.249)m}{2.1m} = 0.243$$

\Rightarrow Para transmisión por correas en poleas acanaladas $\Rightarrow K_\theta = 0.96$

Tabla 14. Valores de Coeficientes de Corrección para Efectos de Diámetro Pequeño y Arco de Contacto.

D_2/D_1	K_d	$D_2 - D_1$ C_i	K_θ	
			VV	V-plana
1,000-1,019	1,00			
1,020-1,032	1,01			
1,033-1,055	1,02	0,00	1,00	0,75
1,056-1,081	1,03	0,10	0,99	0,76
1,082-1,109	1,04	0,20	0,97	0,78
		0,30	0,96	0,79
1,110-1,142	1,05			
1,143-1,178	1,06	0,40	0,94	0,80
1,179-1,222	1,07	0,50	0,93	0,81
1,223-1,274	1,08	0,60	0,91	0,83
1,275-1,340	1,09	0,70	0,89	0,84
1,341-1,429	1,10	0,80	0,87	0,85
1,430-1,562	1,11	0,90	0,85	0,85
1,563-1,814	1,12	1,00	0,82	0,82
1,815-2,948	1,13	1,10	0,80	0,80
2,949 y más	1,14			
		1,20	0,77	0,77
		1,30	0,73	0,73
		1,40	0,70	0,70
		1,50	0,65	0,65

Fuente: Diseño de elementos de Maquinas; Faired

Calculo de Potencia Nominal Ajustada

$$\Rightarrow Pot_{NA} = Pot_N \times K_\theta \quad Ec(40)$$

$$\Rightarrow Pot_{NA} = 15.16Hp(0.96) = 14.55Hp$$

Numero de Correas Optimas

$$\Rightarrow \#.de.Correas = \frac{Pot_D}{Pot_{NA}} \quad Ec(41)$$

$$\Rightarrow \#.de.Correas = \frac{112.5Hp}{14.55Hp} = 7.73 \approx 8.Correas$$

5.3.1 Determinación del Porcentaje de Potencia Perdida Durante la Transmisión Por Correas V-V

Actualmente la empresa esta implementando la disposición de 5 Correas trapezoidales tipo C para la transmisión de potencia en el sistema de extrusión de la arcilla, lo que nos hace suponer que hay una perdida considerable de potencia a la hora de ser transmitida desde el motor impulsor hasta la polea conducida, sumando a esto las condiciones criticas en las que trabajan las correas tales como desgaste, sin tensión y bajo un ambiente polvoriento.

A continuación estipularemos el porcentaje de perdida de potencia debido a dicho sistema.

$$\Rightarrow \text{si } \#.de.Correas = \frac{Pot_D}{Pot_{NA}} \quad Ec(42)$$

$$\Rightarrow \#.de.Correas = 5, \quad Pot_{NA} = 14.55Hp,$$

$$\Rightarrow Pot_D = \#.de.Correas \times Pot_{NA} = 5 \times 14.55Hp = 72.75Hp$$

Si Fijamos que 125hp Equivale al 100% de la Transmisión de potencia

$$\Rightarrow 125Hp \longrightarrow 100\%$$

$$72.75Hp \longrightarrow X$$

$$\Rightarrow X = \frac{72.75Hp(100)}{125Hp} = 58.2\%$$

Para el calculo se obtuvo que la potencia tiene una perdida del 58.2% de su capacidad nominal de transmisión neta.

5.4. Diseño de uniones soldadas

Para el diseño de las uniones soldadas, en este caso en particular el de las uniones de la cuchillas helicoidales con el eje de extrusión, se tendrán en consideración la fuerzas resultantes sobre tales elementos y los efectos producidos a partir de su interacción.

Para tal propósito se ubicaran las fuerzas resultantes sobre los centroides de las áreas en cuestión y se verificara si dichas áreas se muestran resistentes a los esfuerzos a las que son sometidas por la fuerzas actuantes a nivel del tornillo extrusor.

También se tendrá en cuenta para la selección de la soldadura adecuada la forma, tipo y propiedades de la misma y la facilidad de su adquisición en los mercados regionales.

Se hace necesario determinar a continuación una serie de parámetros que influyen de manera determinante en la obtención de esfuerzos a partir de las fuerzas actuantes sobre el eje de extrusión tales como:

- ⊕ Centroide de la Helicoide.
- ⊕ Centroide del Cordón de Soldadura.
- ⊕ Área de La Helicoide.

Determinación del Centroide de la Superficie Helicoidal

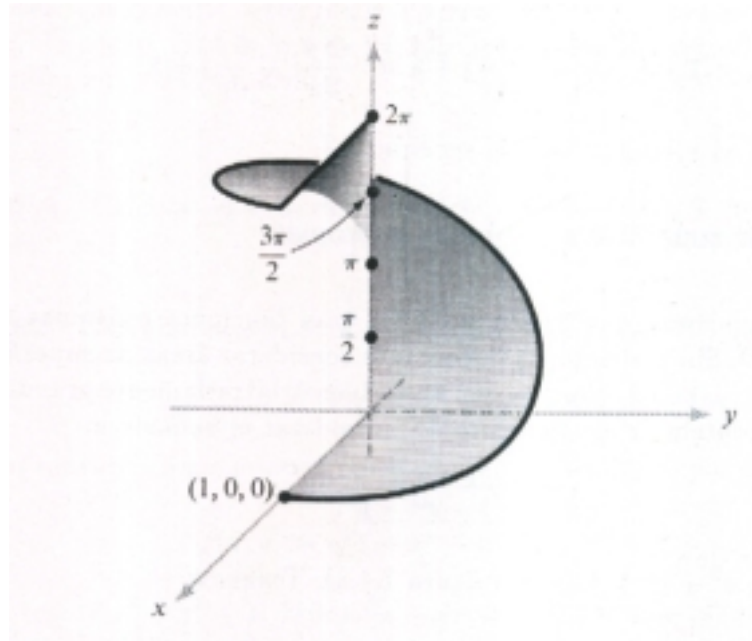


Figura 26. Esquema de Superficie de Cuchilla Helicoidal.

Para la determinación del centroide fijaremos parámetros de diseño tales como densidad, masa, espesor y área de superficie a través de la aplicación de ecuaciones matemáticas que definan su valor correspondiente.

Estas ecuaciones se encuentran establecidas dentro de las coordenadas cilíndricas y paramétricas.

Para las coordenadas Cilíndricas y Paramétricas tenemos que:

$$\Rightarrow x = r\cos(\theta), \quad y = r\sin(\theta), \quad z = \theta \quad Ec(43)$$

Donde:

$$\Rightarrow m = \int_C \rho \times ds \quad \text{Ec(44)}$$

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{m} \int_C x \times ds \quad \text{Ec(45)}$$

$$\Rightarrow \bar{y} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{m} \int_C y \rho \times ds \quad \text{Ec(46)}$$

$$\Rightarrow A_s = \iint \|T_r \times T_\theta\| dr \cdot d\theta \quad \text{Ec(47)}$$

Donde:

$$\rho : \text{Densidad del acero} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\varepsilon : \text{Espesor de la Hélice} = 1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$$

$$R : \text{Radio de la Hélice.} = 12.5 \text{ cm}$$

de Ec(47) tenemos que:

$$\Rightarrow T_r = \frac{\partial x}{\partial r} i + \frac{\partial y}{\partial r} j + \frac{\partial z}{\partial r} k$$

derivando parcialmente con respecto a r y θ y utilizando parámetros de coordenadas cilíndricas establecidas en Ec(43).

$$\Rightarrow T_r = \text{Cos}(\theta) i + \text{Sen}(\theta) j + 0k$$

$$\Rightarrow T_\theta = \frac{\partial x}{\partial \theta} i + \frac{\partial y}{\partial \theta} j + \frac{\partial z}{\partial \theta} k$$

$$\Rightarrow T_r = -\text{Sen}(\theta).ri + \text{Cos}(\theta).rj + 1k$$

Realizando el producto cruz entre los dos Vectores T_r y T_θ

$$\Rightarrow T_r \times T_\theta = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \text{Cos}(\theta) & \text{Sen}(\theta) & 0 \\ -r\text{Sen}(\theta) & r\text{Cos}(\theta) & 1 \end{vmatrix}$$

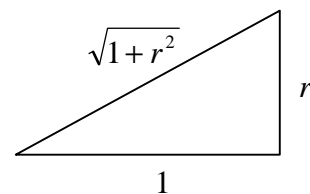
$$\Rightarrow T_r \times T_\theta = \text{Sen}(\theta)i - \text{Cos}(\theta)j + rk$$

$$\Rightarrow \|T_r \times T_\theta\| = \sqrt{\text{Sen}(\theta)^2 + \text{Cos}(\theta)^2 + r^2} = \sqrt{1+r^2}$$

$$\Rightarrow A_s = \int_0^{2\pi} \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr d\theta$$

Integramos cada integral individual por separado

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr$$



siendo

$$\Rightarrow \text{Tang}(\alpha) = r$$

$$\Rightarrow \text{Sec}^2(\alpha) = dr$$

$$\Rightarrow \text{Sec}(\alpha) = \sqrt{1+r^2}$$

Integramos cada integral individual por separado

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \int_{6.75}^R \text{Sec}^3(\alpha) d\alpha$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \text{Sec}^3(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2} [\text{Sec}(\alpha) \cdot \text{Tang}(\alpha) + \text{LN}[\text{Sec}(\alpha) + \text{Tang}(\alpha)]]_{6.75}^R$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \frac{1}{2} [\text{Sec}(\alpha) \text{Tang}(\alpha) + \text{LN}[\text{Sec}(\alpha) + \text{Tang}(\alpha)]]_{6.75}^R$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \frac{1}{2} [\text{Sec}(\alpha) \cdot \text{Tang}(\alpha) + \text{LN}[\text{Sec}(\alpha) + \text{Tang}(\alpha)]]_{6.75}^R$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \frac{1}{2} [\sqrt{1+r^2} \cdot r + \text{LN}|\sqrt{1+r^2} + r|]_{6.75}^R$$

Evaluando para los valores dados de la integral tenemos que:

$$\int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \frac{1}{2} [\sqrt{1+R^2} \cdot R + \text{LN}|\sqrt{1+R^2} + R| - [\sqrt{1+(6.75)^2} \cdot (6.75) + \text{LN}|\sqrt{1+(6.75)^2} + (6.75)|]]$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \frac{1}{2} [\sqrt{1+R^2} \cdot R + \text{LN}|\sqrt{1+R^2} + R| - (48.66)]$$

de igual forma resolvemos para la siguiente integral

$$\Rightarrow \nabla = \int_0^{2\pi} \sqrt{1+r^2} d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} [\sqrt{1+R^2} \cdot R + \text{LN}|\sqrt{1+R^2} + R|] d\theta$$

$$\Rightarrow \int_0^{2\pi} \sqrt{1+r^2} d\theta = \frac{1}{2} [\sqrt{1+R^2} \cdot R + \text{LN}|\sqrt{1+R^2} + R|]_{\theta=0}^{2\pi}$$

$$\Rightarrow \int_0^{2\pi} \sqrt{1+r^2} d\theta = \pi \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]$$

$$\Rightarrow m = \rho V = \rho \pi \varepsilon \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]$$

de Ec(45) $\bar{x} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{m} \int_C x \times ds$

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{\rho \varepsilon \int_0^{2\pi} \int_0^R r \sqrt{1+r^2} \cos(\theta) dr d\theta}{m}$$

Resolviendo para la integral de línea tenemos:

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R r \sqrt{1+r^2} dr \quad \text{haciendo} \quad u = 1+r^2 \Rightarrow du = 2r dr \Rightarrow \frac{1}{2} du = r dr$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R u^{1/2} \frac{1}{2} du = \frac{1}{2} \frac{u^{3/2}}{3/2} = \frac{1}{3} \left| (1+R^2)^{3/2} - (1+(6.75)^2)^{3/2} \right|$$

$$\int_{6.75}^R u^{1/2} \frac{1}{2} du = \frac{1}{2} \frac{u^{3/2}}{3/2} = \frac{1}{3} \left| (1+(14)^2)^{3/2} - (1+(6.75)^2)^{3/2} \right| = \frac{1}{3} \left| (2765.02) - (317.72) \right| = 815.76$$

Para calculo de

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{\rho \varepsilon \int_0^{2\pi} [815.76] \cos(\theta) d\theta}{m}$$

Evaluando valores para integral en el numerador tenemos que:

$$\Rightarrow \rho \varepsilon \frac{1}{3} [815.76] \text{Sen}(\theta) \Big|_0^{2\pi} = 0$$

$$\Rightarrow \bar{x} = \frac{0}{m} = 0$$

para calculo de \bar{y} tenemos: $\bar{y} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{m} \int_C y \rho \times ds$ y siendo $y = r \text{Sen}(\theta)$

Remplazando para y tenemos:

$$\Rightarrow \bar{y} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{m} \int_C y \rho \times ds \qquad \bar{y} = \frac{\rho \varepsilon \int_0^{2\pi} \int_{6.75}^R r \text{Sen}(\theta) \sqrt{1+r^2} dr d\theta}{m}$$

$$\Rightarrow \bar{y} = \frac{\rho \varepsilon \int_0^{2\pi} [815.76] \text{Sen}(\theta) d\theta}{m}$$

\Rightarrow Evaluando valores para integral en el numerador tenemos que:

$$\Rightarrow \rho \varepsilon \frac{1}{3} [815.76] (-\text{Cos}(\theta)) \Big|_0^{2\pi}$$

$$\Rightarrow \bar{y} = \frac{0}{m} = 0$$

para calculo de \bar{z} tenemos: $\bar{z} = \frac{\rho \cdot \varepsilon}{m} \int_C \rho \theta \times ds$

$$\Rightarrow \bar{z} = \frac{\rho \varepsilon \int_0^{2\pi} \int_{6.75}^R \theta \sqrt{1+r^2} dr d\theta}{m}$$

$$\Rightarrow \int_{6.75}^R \sqrt{1+r^2} dr = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]_0^R$$

$$\Rightarrow \int_0^{2\pi} \sqrt{1+r^2} d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right] \theta d\theta$$

$$\Rightarrow \int_0^{2\pi} \sqrt{1+r^2} d\theta = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} \frac{\theta^2}{2} \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]_0^{2\pi}$$

$$\Rightarrow \int_0^{2\pi} \sqrt{1+r^2} d\theta = \frac{4\pi^2}{4} \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]$$

$$\Rightarrow \bar{z} = \frac{\rho \varepsilon \int_0^{2\pi} \int_0^R \theta \sqrt{1+r^2} dr d\theta}{m}$$

reemplazando para valor de masa y la integral respectivamente tenemos:

$$\Rightarrow \bar{z} = \frac{\rho \varepsilon \pi^2 \left[\sqrt{1+R^2} \cdot R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]}{\varepsilon \rho \pi \left[\sqrt{1+R^2} + R + LN \left| \sqrt{1+R^2} + R \right| \right]} = \pi$$

de la determinación del parámetro $\bar{z} = \pi$ definimos que el centroide de la figura helicoidal se encuentra determinado en el punto π al igual que el centriode del cordón de soldadura dispuesto para la unión de la hélice con el eje extrusor.

Determinación del esfuerzo cortante sobre hélice debido a carga axial.

Para la determinación del esfuerzo cortante producido sobre la soldadura primero estableceremos el tipo de unión a utilizar para soldar las hélices sobre el eje extrusor y del ancho que deberá ser el cordón de soldadura para conseguir la máxima unión entre eje y cuchilla extrusora.

También se establece la longitud del cordón a través del calculo de la curva de longitud de la hélice, para que de esta forma se pueda determinar la magnitud del esfuerzo debido a la presión interna dentro del cilindro extrusor.

Determinación de la longitud del tramo o cordón de soldadura.

$$L = \int_0^{2\pi} \sqrt{[x'(\theta)]^2 + [y'(\theta)]^2 + [z'(\theta)]^2} d\theta \quad Ec(48)$$

siendo:

$$x = r\cos(\theta) \Rightarrow x' = -r\sin(\theta)$$

$$y = r\sin(\theta) \Rightarrow y' = r\cos(\theta)$$

$$z = \theta \Rightarrow z' = 1$$

reemplazando para los valores de las funciones derivadas y integrando desde el inicio hasta el final de la hélice tenemos:

$$L = \int_0^{2\pi} \sqrt{[r\sin(\theta)]^2 + [r\cos(\theta)]^2 + (1)^2} d\theta = \int_0^{2\pi} \sqrt{r^2 + 1} d\theta$$

$$L = \sqrt{r^2 + 1} [\theta]_0^{2\pi} \Rightarrow L = 2\pi\sqrt{r^2 + 1}$$

evaluando para $r = 12.5cm$, en la ecuación de longitud tenemos:

$$L = 2\pi\sqrt{(12.5cm)^2 + 1} = 78.8cm$$

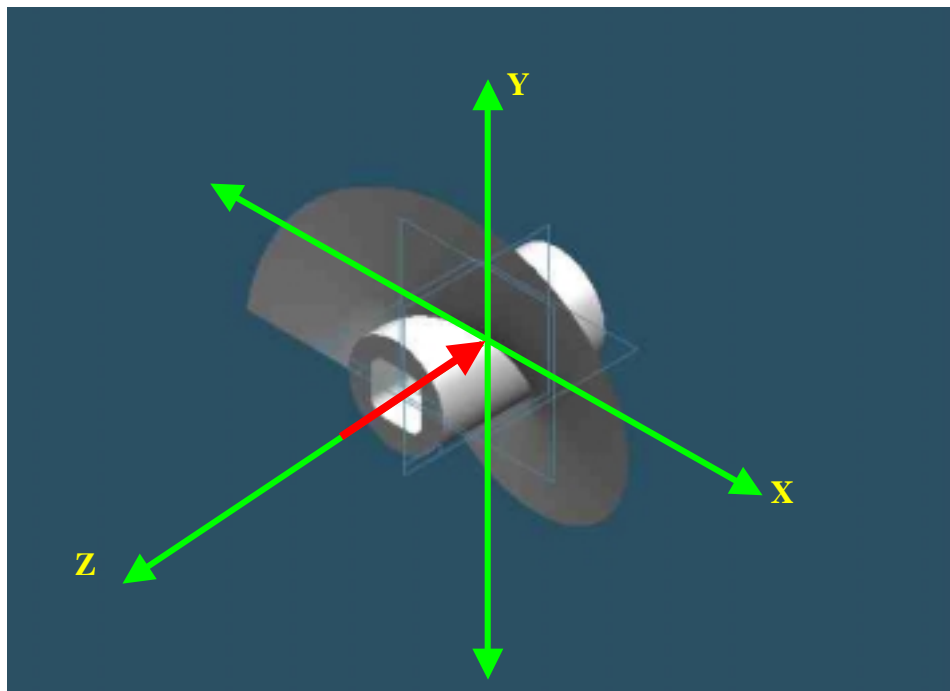


Figura 27. Fuerza resultante sobre cuchilla helicoidal.

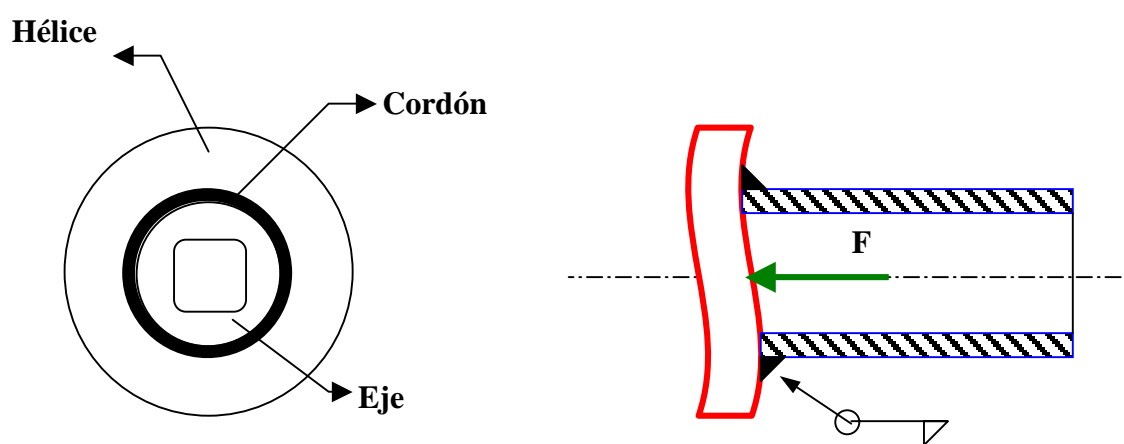


Figura 28. Detalle de Unión Soldada tipo Filete para Arreglo entre Hélice y Eje Extrusor.

Para el arreglo de la unión entre la hélice y el eje extrusor se selecciona un tipo de soldadura a tope, y considerando que esta tiene una pendiente de 45° entre las dos superficies unidas como se muestra en la figura 28.

Los tamaños típicos de la soldadura varían desde 1/8 hasta 1/2 in en intervalos de 1/16 in.

Para tal arreglo hemos considerado que el tamaño del cordón de soldadura será de 1/8 in teniendo en cuenta el número de pasadas y el grado de profundidad del mismo.

Se supone que el esfuerzo desarrollado en soldaduras de filete es un esfuerzo cortante sin importar la dirección de la carga. Para esto el esfuerzo cortante máximo ocurre en la garganta del filete donde el espesor es 0.707 veces el tamaño nominal de la soldadura .

Por lo tanto el esfuerzo cortante en la soldadura producido por la carga es:

$$\Rightarrow \tau = \frac{P}{L.t} \quad Ec(49)$$

donde:

P : Carga sobre soldadura

L : Longitud del cordón de soldadura

t : Espesor de la garganta

siendo la carga $P = 202471.02\text{N}$

$$\Rightarrow \tau = \frac{202471.02N}{0.78m(0.707)(0.0031m)} = 122.70Mpa$$

para el valor obtenido podemos establecer el nivel de esfuerzo que esta soportando la soldadura de filete aplicada para la unión entre eje extrusor y la hélice y de esta forma también podemos seleccionar el tipo de electrodo que servirá como material de aporte en el proceso de soldadura.

De acuerdo con el valor obtenido para el esfuerzo cortante en el cordón de soldadura, el tipo de soldadura, el ancho del cordón, los materiales a unir en este caso acero 1045 y la profundidad del electrodo definimos el electrodo según nuestras exigencias y las requeridas por la optimización.

A continuación se muestran las tablas 15 y 17 respectivamente para la selección del electrodo y tipo de soldadura a usar.

Tabla 15. Propiedades de los Electrodo de Soldar Acero.

Tipo de Electrodo	Resistencia a la tensión mínima		Esfuerzo Cortante Permisible		Metales Típicos Unidos
	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa	
E60	60	414	18	124	A36, A500
E70	70	483	21	145	A242, A441
E80	80	552	24	165	A572, Grado 65
E90	90	621	27	186	-
E100	100	690	30	207	-
E110	110	758	33	228	A514

Fuente: Resistencia de materiales aplicada 3ed. Robert mott.

Tabla 16. Clasificación de los Electroodos.

Clasificación	Penetración	Aplicación Básica
E6010 E6011	Profunda	Buena propiedades mecánicas, especialmente cuando se emplean soldaduras múltiples, como en edificios, puentes, recipientes a presión y turbinas.
E6012	Media	Bueno para soldaduras de filete horizontales de alta velocidad y un solo pase; fácil de manejar, especialmente adaptado a casos de pobre ajuste.
E6013	Media	Diseñado para obtener soldaduras de buena calidad dentro del metal.
E6020	Profunda Media	Un electrodo de alta producción para soldaduras de filete horizontal en secciones pesadas
E6027	Media	Electrodo de polvo de hierro; rápido y fácil de manejar

Fuente; Elementos de Maquinas 7ed. M.F. Spott.

Tabla 17. Electroodos Recomendados para Soldadura Fuera de Posición

CLASIFICACIÓN DE ELECTRODOS AWS – ASTM*	CATEGORÍA DE LA SOLDADURA	CARACTERÍSTICAS GENERALES
RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN, 60.000 Lb/ Pulg²		
E6010	Congelante	El metal fundido de la soldadura reendurece rápidamente, es adecuada para soldar en todas las posiciones con corriente directa de polaridad invertida; tiene bajo régimen de depósito y forma un arco de profunda penetración; puede usarse para soldar todo tipo de juntas.
E6011	Congelante	Similar a la E6010, con la excepción de que puede usarse con corriente alterna y con corriente directa.
E6012	Seguidora	Mayor rapidez de avance y soldaduras menores que la E6010, CA o CD, polaridad directa; penetración menor que la E6010. Se usa principalmente para soldaduras de una pasada en lamina metálica delgada y en las posiciones plana, horizontal y vertical hacia abajo
E6013	Seguidora	Similar a la E6012, con la excepción de que puede usarse con CD (cualquier polaridad) o con CA.
E6027	De relleno	Alto régimen de depósito, por contener su recubrimiento alrededor del 50% de polvo de hierro; su uso principal se encuentra en las soldaduras de varias pasadas, de ranura profunda y de filete, en la posición plana o en filetes horizontales usando CD (cualquier polaridad) o CA.

E7014	De relleno y Congelante	
E7018	De relleno y Congelante	
E7024	De relleno	
E7028	De relleno	

*Las soldaduras E6020, E7015 y 3710 no se incluyen, por su utilización limitada. Solo los electrodos hasta 3/16 pulg, de diámetro pueden usarse en todas las posiciones desoldar

Fuente: Henry Horwitz, P. Soldadura Aplicaciones y practica, Alfaomega.

Origen: The procedure Nandbook of arc welding 12a. ed. P. 6.2 - 12 .

Para el proceso de unión de los materiales determinamos que el método para llevar a cabo la aplicación es por arco eléctrico y el electrodo requerido para llevar a cabo este tipo de aplicación es el electrodo E6010 de 1/8 in , ya que este además de ser un electrodo, que cumple con las especificaciones de diseño para la unión del arreglo , es un electrodo que ofrece una profundidad tipo alta, la cual nos garantiza una excelente resistencia frente a las condiciones de cargas debido a las presiones internas generadas en el cilindro extrusor, y a la vez también de la aplicación de un electrodo E7018 de buena capacidad de relleno para ajustar las juntas a los bordes del eje extrusor con lo cual nos pueda brindar la mayor eficiencia y resistencia a la hora de trabajar bajo condiciones extremas de corrosión brinda facilidad de adquisición el mercado regional.

ESTIMACIÓN DEL COSTO DE MATERIAL AHORRADO A TRAVES DE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE HELICES DESMONTABLES POR UNION SOLDADA.

En este aparte se determinara el estimativo en costo del material que se puede ahorrar, implementando la alternativa de cuchillas o hélices desmontables por unión soldada y de las perdidas en cuantías del material empleado durante la elaboración de las mismas por el medio de la fundición ver figura 29.

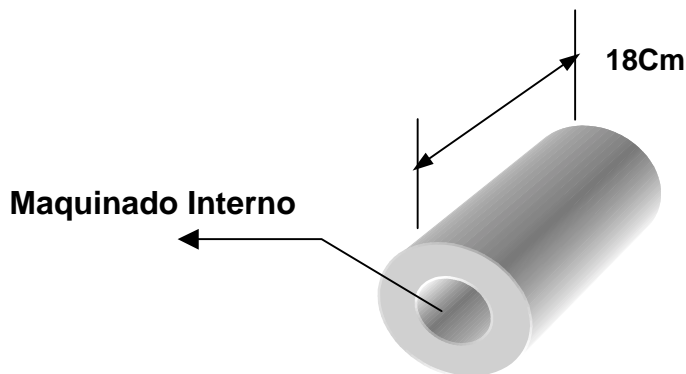


Figura 29. Cubo de Hélice que se pierde durante el recambio de las cuchillas.

Para el sistema de extrusión aquí estudiado, tenemos que se encuentra constituido por siete hélices de tipo helicoidal lo que equivale de igual forma a la cantidad de cubos presentado sobre el eje de extrusión.

Dado la cantidad, la longitud, y el valor en peso de dichos cubos, estipularemos a continuación la cantidad total en kilogramos de acero perdida durante la operación de recambio de la cuchilla ver tabla 18.

Teniendo como consiguiente el valor total en peso de material perdido, se valorara la cantidad mencionada en pesos, con la finalidad de conseguir un estimativo general de la totalidad de la perdida, adicionándole de igual forma el valor del maquinado interno del eje.

Tabla 18. Características de los Cubos en Estudio.

CUBO	LONGITUD (Cm)	PESO (KG)	ESPESOR DE PARED	MAQUINADO
1	25	30	15mm	Cuadrado
2	18	25	15mm	Cuadrado
3	18	25	15mm	Cuadrado
4	18	25	15mm	Cuadrado
5	18	25	15mm	Cuadrado
6	18	25	15mm	Cuadrado
7	18	25	15mm	Cuadrado
TOTAL	175	180		

- Sabiendo que el costo por kilogramo del acero fundido se encuentra en el orden de los \$. 8.000 M/cte, en total se estipula que la empresa pierde en costos operativos por desperdicio en materiales alrededor de los \$ 1.500.000.00 , siendo solo este el costo reflejado sobre los cubos que se pierden.
- Hay que tener en cuenta que en la operación de maquinado también se generan otros costos operativos, que le dan otro valor agregado a la suma total que pierde la empresa por el empleo de este tipo de sistema

6. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LA MAQUINA EXTRUSORA

6.1. Generalidades sobre los mantenimientos.

El mantenimiento es un conjunto de actividades que debe realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

Desde el punto de vista de quien administra el mantenimiento el objetivo principal es la conservación del servicio. Esto es, la maquina deber recibir un mantenimiento no por ella misma, sino para su conservación y para garantizar que la función que ella realiza dentro del proceso productivo se cumpla a cabalidad y se mantenga la capacidad productiva en el fin deseado.

6.2. Tipos de Mantenimientos.

Existen diversas formas de realizar el mantenimiento a un equipo de producción, cada una de las cuales tiene sus propias características como describiremos a continuación:

➤ **Mantenimiento Correctivo.**

Como su nombre lo indica, es un mantenimiento encaminado a corregir una falla que se presenta en determinado momento. En otras palabras es el equipo quien determina las paradas.

Su función primordial es poner en marcha el equipo lo mas rápido y con el mínimo costo posible.

➤ **Mantenimiento Periódico.**

Este tipo de mantenimiento, como su nombre lo indica, es aquel que se realiza después de un periodo de tiempo generalmente largo (entre seis y doce meses). Este mantenimiento se realiza por lo general en plantas de procesos industriales como las petroquímicas, azucareras, papeleras, y cementeras, etc. Consiste en realizar grandes paradas en las que se efectúan reparaciones mayores.

➤ **Mantenimiento Predictivo.**

Este tipo de mantenimiento consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos mediante equipos sofisticados a parte de maquinarias que sean muy costosas o a las cuales no se les puede permitir fallar en forma imprevista, pues arriesga la integridad de los operarios o causan daños de cuantía. La

mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción.

➤ **Mantenimiento Preventivo.**

El mantenimiento preventivo es aquel que se hace mediante un programa de actividades (Revisiones y lubricación), previamente establecido, con el fin de anticiparse a la presencia de fallas en instalaciones y equipos.

Este programa se fundamenta en el estudio de necesidades de servicio de un equipo, teniendo en cuenta cuales de las actividades se harán con el equipo detenido y cuales cuando está en marcha, además se estima el tiempo que se toma cada operación y la periodicidad con que se efectúa, con el fin de poder determinar así las horas – hombre que requiere una tarea de mantenimiento al igual que las personas que se van a emplear en determinados momentos del año.

6.3. Selección del tipo de Mantenimiento a Seguir.

El plan de mantenimiento elaborado para la maquina extrusora tiene como finalidad corregir y prevenir fallas, minimizar los costos de parada del equipo por daños y reparaciones .

Maximizar la utilización del capital invertido en instalaciones, aumentando así su vida útil y garantizando la seguridad industrial.

La industria ladrillera de la costa ha implementado un tipo de mantenimiento correctivo, el cual no es funcional ni eficaz ya que se paraliza la maquina mucho tiempo al reparar las piezas que han sufrido una falla, por tal razón, nosotros por medio de este proyecto implementamos otro plan de mantenimiento como es el preventivo en el cual hacemos énfasis en las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva o de cambio.

Este mantenimiento preventivo lo vamos a ejecutar teniendo en cuenta los altos niveles de productividad que requiere la empresa, ya que este permite aumentar la eficiencia de la producción, la cual es directamente proporcional a la calidad del producto.

Las técnicas y operarios de la maquina extrusora mediante sus experiencias laborales nos han apartado información valiosa acerca de los partes eléctricas, mecánicas y de lubricación, ya que esta maquina no posee catálogos de fabricantes manuales, planos, ni memorias de cálculos realizados para implementar el mantenimiento preventivo.

6.3. Programa de Mantenimiento para los Elementos Componentes de la Maquina Extrusora.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR SISTEMA L.E.M.

El sistema L.E.M. no es mas que un programa de mantenimiento preventivo, solo que en este las actividades propias del mantenimiento están agrupadas en tres especialidades, tienen un tratamiento especifico y se presentan con mayor frecuencia en la maquina. Los tres grupos son:

L : Actividades de lubricación

E : Actividades eléctricas y electrónicas.

M : Actividades mecánicas.

TARJETA MAESTRA.

Maquina : EXTRUSORA

Marca: VERDEZ

Modelo: 507

Capacidad de trabajo: 2700 ladrillos/hora

Valor : \$ 120.000.000.oo

SERVICIOS

TRABAJO

PRESION
ELECTRICIDAD
VOLTIOS
AMPERIOS

2 TURNOS

FRECUENCIA:

S: Semanal M: Mensual A: Anual.

Q: Quincenal T: Trimestral

LUBRICACIÓN

PARTES A LUBRICAR	LUBRICANTE	FRECUENCIA	TIEMPO (Hr)	OPERARIO
COJINETES	VALVULINA 90	M	1.0	MAXILIANO
ENGRANAJES	VALVULINA 90	M	2.0	“
PIÑONES	SAE W50	T	1.0	“
BUJES	GRASA/ROJA	T	1.0	“

OBSERVACIONES:

COJINETES

- Desmontar eje central, procediendo desde la boquilla de flujo hasta cojinete secundario.
- No golpear eje durante el desmontaje; Genera desbalanceo dinámico y vibraciones sobre cojinetes.
- Antes de proceder a lubricar retirar lubricación anterior; genera superficie limpia capaz de sostener por mucho mas tiempo la aplicación de lubricación.
- Al montar eje verificar si no existe excesivo rozamiento entre y superficie de cojinete.
- Proceda a encender la maquina después del montaje, sin materia prima, permite una buena lubricación sobre los elementos en cuestión.

ENGRANAJES

- Antes de lubricar, limpiar perfectamente superficies dentadas y verificar que no existan objetos ajenos en el sistema.
- Revisar condiciones y estado delos dientes de piñoneria.

BUJES

- Verificar desgaste sobre superficie y condiciones presentes.

OBSERVACIONES DE DAÑOS ENCONTRADOS:

REVISA :

RECIBE:

ELECTRICO

HP	VOLTIOS	AMPERIOS	REVISAR	FRECUENCIA	TIEMPO Hr.	OPERARIO
125	220- 440	155 -157	CONEXIONES ELECTRICAS	Q	1	HECTOR
			SUICHES	M	0.5	HECTOR
			GUARDAMOTOR	M	0.5	HECTOR
			TEMPERATURA	D	0.5	HECTOR
			REVOLUCIONES	D	0.5	HECTOR
			BASE	M	0.5	HECTOR

OBSERVACIONES:

CONEXIONES

- Verificar instalaciones, empalmes y distribución de líneas eléctricas.

SUICHES

- Revisar si están en óptimas condiciones de operación. A la vez que del buen estado de los fusibles.
- Mediciones periódicas de temperatura de motores planta diagnostico de incrementos de temperatura; establecer temperatura de operación entre 40 y 45 °C.
- Revisar pernos de anclaje a la base de los motores ; impedir vibraciones y desbalanceo en sistema.
- Medición periódica de revoluciones sobre el motor.

OBSERVACIONES DE DAÑOS ENCONTRADOS:

REVISA :

RECIBE:

MECÁNICO

CANTIDAD	REVISAR	TIEMPO Hr	FRECUENCIA	OPERARIO
1	EJE CENTRAL	3	M	HECTOR
2	COJINETES	5	M	MAXILIANO
8	CORREAS EN V	1	T	HECTOR
6	CUCHILLAS	4	M	MAXILIANO
2	POLEAS	1	A	MAXILIANO
1	BOMBA DE VACIO	1	T	HECTOR
2	COSTILLAS	2	M	MAXILIANO
1	CILINDRO EXTRUSOR	3	T	MAXILIANO
	BUJE BRONCE	1	M	HECTOR
	CORTABARRO	1	M	HECTOR
	TORNILLOS DE MAQUINA	3	T	MAXILIANO

OBSERVACIONES:

CORREAS

- Verificar tensión y ajustes al sistema de transmisión. Revisar progresión de desgaste cambio cada trimestre

COSTILLAS

- Verificar separación entre hélices y cilindro extrusor, no sobre pasar los 12 mm de separación.
- Cambio Semestral a todo el conjunto de costillas a lo largo del cilindro extrusor.

TORNILLOS DE MAQUINA

- Cambio periódico y de forma alternada.

BOMBA DE VACIO

- Verificar presión de succión y descarga de caudal Diario. Cambio anual de pistones.

OBSERVACIONES DE DAÑOS ENCONTRADOS:

REVISA :

RECIBE:

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Análisis Comparativo.

Con la programación actual de extrusión se obtienen 45 ladrillos por minuto para un total de 2700 ladrillos / hora , trabajando 2 horas diarias en el proceso de elaboración de ladrillos, lo que refleja una producción diaria de 5400 ladrillos, siendo la producción mensual estipulada en 162.000 ladrillos. Por esta razón en la actualidad la industria ladrillera esta tomando en consideración este estudio de la maquina extrusora con el fin de cumplir con la demanda del mercado regional.

7.2. Calculo del Tiempo de Retorno de la Inversión.

El tiempo requerido para recuperar la inversión de \$4.180.000 que cuesta la optimización del sistema de extrusión se calcula aplicando los conceptos de ingeniería económica, teniendo como tasa de interés del 2.46% efectivo mensual, como ingresos por conceptos de ventas de la capacidad de producción mensual \$ 85.860.000 y como gastos de administración, producción y ventas de \$45.000.000.

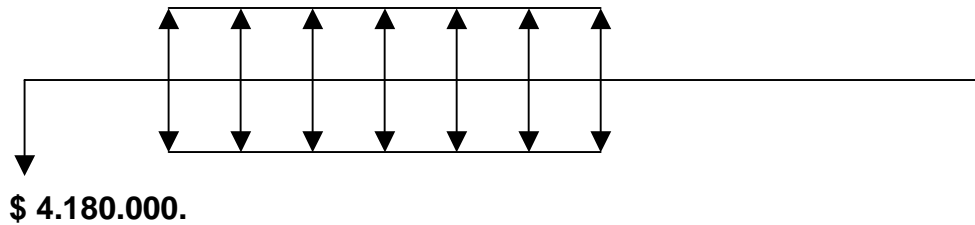


Figura 30. Distribución para el calculo del tiempo de retorno de la inversión.

$$\Rightarrow \frac{A[(1+i)^n - 1]}{i} = P(1+i)^n + \frac{F[(1+i)^n - 1]}{i} \quad Ec(50)$$

donde:

A : Valor Mensual = \$85.860.000

F : Valor futuro.= \$ 45.000.000

P : Valor presente. = \$ 4.180.000

i : Interés mensual. = 2.46%

n : Numero de meses = ?

Remplazando para $Ec(50)$ tenemos que:

$$n = 0.46.Meses \approx 15.dias$$

con este resultado se concluye que aun bajo costo de optimización es viable la posibilidad de implementar el estudio de la maquina ya que la recuperación en el dinero invertido es recuperado en un tiempo relativamente corto .

CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de ensayos de laboratorio estandarizados por las normas AFS, se pudo establecer la clasificación y las propiedades que presenta la arcilla en condiciones normales. Tales propiedades como la permeabilidad, la resistencia a la compresión, el contenido de aglomerante y el número de finura, nos definieron parámetros los cuales podemos concluir de la siguiente manera.

La permeabilidad y el contenido de humedad son dos factores que varían de forma directamente proporcional ya que a mayor contenido de humedad mayor permeabilidad se presenta en la arcilla, esto conlleva a que las arcillas sean menos compactas y que presenten dilataciones y agrietamientos a la hora de la cocción de los ladrillos.

De igual forma los ensayos que se hicieron para determinar el número de finura de la materia prima nos presentó un valor del 37.35 de finura el cual no se encuentra establecido en el manual de normas AFS, esto se debe en gran parte a que no se está utilizando un tipo de arena de construcción adecuada como material aglomerante para la elaboración de ladrillos, ya que la empleada actualmente se utiliza para evitar los altos niveles de plasticidad en la arcilla, pero presenta un tipo de granulometría demasiado gruesa en comparación a la óptima para obtener un tipo de arcilla requerida para la elaboración de piezas moldeadas.

A través de los estudios elaborados en el laboratorio de metalografía podemos concluir que el acero de los componentes de la maquina tales como la hélice de extrusión son aceros de tipo 1045 el cual es un material optimo para el trabajo que realiza la maquina, sin embargo se le aplico un tratamiento térmico como es el temple para aumentar su dureza en la parte superficial y poseer un núcleo tenaz el cual pueda soportar cargas de impactos producidas durante su funcionamiento. El temple superficial aplicado se hizo utilizando varios medios de enfriamientos tales como aceite SAE W50 Y aceite Capella, con este ultimo tipo de medio enfriador notamos que la pieza aumentó su dureza en un 10% ya que siendo este un aceite térmico posee la propiedad de retener mas calor.

Actualmente el sistema de transmisión de potencia para la puesta en marcha del sistema de extrusión trabaja con un numero de correas insuficientes para la transmisión neta de potencia, ya que mediante cálculos desarrollados encontramos que el numero de correas optimas es de 8 correas para transmitir la potencia generada por el motor al eje extrusor y de esta forma el sistema pueda trabajar en condiciones optimas.

Mediante este estudio establecimos que la forma de optimizar la maquina de extrusión a través del sistema de cuchillas prefabricadas desmontables es viable ya le permite a la empresa economizar gastos de funcionamiento y tiempos de mantenimiento utilizando este tipo de diseño en particular para la elaboración y producción de ladrillos.

OBSERVACIONES

Durante la ejecución de los ensayos para determinar y establecer las propiedades de interés dentro del estudio de la materia prima, pudimos observar que al someter las arcillas a pruebas de resistencia a la compresión en un estado de humedad relativamente alto se consiguen niveles muy bajos de resistencia a la compresión por parte de la arcilla, lo que genera malas compactaciones de la arcilla al interior del cilindro extrusor y al final durante la elaboración del ladrillo, traduciéndose esto en pérdidas de la producción diaria y a la vez en pérdidas de tiempo de trabajo estipulado por la empresa.

Otra observación muy importante es que las arcillas para elaboración de ladrillos tienen que presentar un porcentaje de humedad promedio en el orden del 6% – al 8% de humedad lo cual garantiza que la arcilla durante el proceso de mezcla presente una excelente desairación y buena homogenización de la pasta y que al final de la extrusión se obtenga resultados favorables ya que durante la cocción del ladrillo la desairación de la arcilla es un punto clave para evitar agrietamientos en los ladrillos.

Se observa que al reducir la sección de salida de la boquilla, aumenta la presión máxima y baja el rendimiento de la máquina, por aumentar la corriente de reflujo o sea la cantidad de arcilla de retroceso. Por lo tanto, al aumentar la presión se

alarga la zona de compresión en el interior del cilindro. Si se quiere mantener el rendimiento será preciso aumentar la velocidad de la hélice.

Los procesos de obtención de los materiales empleados para la elaboración de los elementos de trabajo no son los mas apropiados ya que estos no presentan un método de control a la ora de ser obtenidos por fundición, lo que se traduce en desgastes masivos y de forma muy rápida en los materiales fundidos, lo que trae consigo, el paro prematuro de la maquinaria y una sucesión de recambios de hélices (cuchillas) lo que genera altos costos de operación para la empresa durante la elaboración diaria de ladrillos.

BIBLIOGRAFÍA

- **FERDINAND P. BEER. E. JHONSTON RUSSELL**, Mecánica de Materiales. Colombia: 2 Ed. McGraw – Hill, 1993. 738 p.

- **SHIGLEY JOSEPH EDUARD Y MISCHKE R CHARLES**, Diseño en ingeniería Mecánica. México: 5 ed. McGraw – Hill.1997. 883 p.

- **MORING FAIRES VIRGIL**, Diseño de Elementos de Maquinas, México: 1 ed. Uthea Noriega Editores.1993. 802 p.

- **M. F. SPOTT. T.E. SHOUP**. Elementos de Maquinas, México: 7 ed. Prentice Hall. 1998. 375 – 378 p.

- **BARREIRO JOSÉ APRAIZ**, Tratamientos térmicos de los Aceros, 9 ed. Limusa Noriega Editores. 1998.

- **ALEXANDER CASTELLANOS Y JESÚS ARIETA**, Tesis; Manual de Tratamientos Térmicos. Colombia: 1 ed. 2003.

- **AVNER H. SYDNEY**, Introducción a la Metalurgia Física. México: 2 ed. McGraw – Hill. 1987. 695 p.

- **BAUMEISTER THEODORE**, Marks: Manual del Ingeniero Mecánico, Colombia: 2 ed. Vol. II. McGraw – Hill. 1984. 10 – 50 – 10 – 51 p.
- **MOTT. L . ROBERT**. Resistencia de Materiales Aplicada, Mexico: 3 ed. Prentice Hall . 1996. 573 – 576. p.
- **MILLER IRWIN**. Estadística para Ingenieros, Mexico: 4 ed. Prentice Hall. 1992. 22 – 26 p.
- **WEEKS JONSON**, METALURGIA. Madrid: 4 ed. Reverté S,1992. 397 p.

PAGINAS O SITIOS EN LA WEB

- www.verdes.com.esp
- www.negociosolavaria.com.ar
- [www. Extrumac.com/extrusoras](http://www.Extrumac.com/extrusoras)
- www.inpi.gov.ar
- www.negociosolavarria.com.ar/mariosisti/notastecnicas.htm
- <http://www.ipiac.it/Catalogo/Maquinas/EspExtrusoras.html>

ANEXO A

Tabla A. Reactivos de Ataque Para Examen Microscópico

Reactivo de Ataque	Composición	Usos	Observaciones
Ácido Nítrico (Nital)	Acido Nitrico Blanco 1 – 5 ml Alcohol Metílico o Etilico (98% o Absoluto) (También Alcohol Amilico 100 ml)	En Aceros al carbón: a) Para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) Para revelar fronteras de perlita, c) Para diferenciar la perlita de la martensita	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO ₃ . El reactivo 2 (a sido picrico) generalmente superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto.
Acido Picrico (picral)	Acido Picrico 4gr Etil o Alcohol de metilo (95% o Absoluto 100ml)	Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, normalizados, templados y revenidos, esferoidizados, austenizados. Para todos los aceros de baja aleación atacados por este reactivo.	Ocasionalmente útiles para soluciones más diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan fácilmente como el nital. Tiempo de ataque de unos cuantos segundos a un minuto o más.
Cloruro Ferrico y Ácido Hidroclórico	Cloruro Ferrico 5gr Ácido Hidroclórico 50ml Agua 100ml	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables.	
Hidróxido de Amonio y Peroxido de Hidrogeno	Hidróxido de Amonio 5 partes Agua 5 Partes Peroxido de Hidrógeno 2 – 5 pates	Generalmente empleado para cobre y muchas de SVS aleaciones	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peróxido fresco para buenos resultados
Persulfato de Amonio	Persulfato de Amonio 10 gr Agua 90 ml	Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce aluminico	Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión
Reactivo de Palmerton	Oxido Crómico 200 gr Sulfato de Sodio 15 gr Agua 1000ml	Reactivo general para zinc y sus aleaciones	Inmersión con agitación moderada
Molibdato de Amonio	Ácido Molibdico 85 % 100gr Hidróxido de Amonio (gr.esp.0.9) 140ml Agua 240 ml Filtrar y añadir al ácido nítrico (gr.esp.1.32)	Ataque rápido para plomo y sus aleaciones; muy apropiado para remover la capa gruesa de metal trabajado	Frotar la muestra y lavar bajo chorro de agua de manera alternada
Ácido Hidrofluorico	Ácido Hidrofluorico 0.5 ml Agua 99.5 ml	Examen microscópico general para aluminio y sus aleaciones	Frotar con algodón por 15 s

ANEXO B

COEFICIENTES DE SERVICIOS N_{sf}

Sumar 0,2 a los valores dados para cada una de las siguientes condiciones: servicio continuo (más de 16 horas por día); ambiente húmedo; transmisiones con polea loca; transmisiones aceleradas. Restar 0,2 si el funcionamiento es completamente intermitente o de temporada. Estos coeficientes representan términos medios de los valores que se encuentran en la literatura técnica, atendiendo principalmente a las referencias (17.1, 17.11) y en particular para correas trapezoidales; sin embargo, pueden servir de guía para otros elementos de transmisión.

MÁQUINAS CONDUCIDAS	MÁQUINAS CONDUCTORAS	
	Motores eléctricos C.A. fase partida C.A. de jaula ardilla par normal, y sincrónicos C.C. devanado en derivación Ruedas hidráulicas Turbinas hidráulicas y de vapor Motores de combustión interna (transmisión hidráulica)	Motores eléctricos C.A. monofásicos devanado serie C.A. alto par o alto deslizamiento C.A. anillos rozantes C.A. inducción de repulsión C.A. con condensador C.C. devanado compuesto Máquinas de vapor y ejes de transmisión Embrague sobre eje conductor o conducido
Agitadores, líquido Fresadoras para levas Transportadores, empaquetadoras Taladradoras, tornos. Tornos o máquinas de roscar. Pequeños ventiladores hasta 10 CV.	1,1	1,2
Compresores y sopladores (giratorios). Transportadores de mineral, arena. Dínamos y alternadores. Ejes de transmisión o de línea Máquinas-herramientas (otras) Máquinas de imprimir Bombas (giratorias) Cizalladoras.	1,2	1,4
Molinos de bolas Mezcladoras (papel) Sierras circulares Compresores (alternativos). Transportadores, de cangilones, de banda articulada, de tornillo sinfín, de cadena sinfín con arrastre Trituradoras, machacadoras, etc. Molinos de martillos Pulverizadoras Bombas (alternativas) Punzonadoras, prensas Hélices Tambores clasificadores, cribadoras. Molinos tubulares.	1,4	1,6
Cabrestantes o tornos izadores Ventiladores de minas Ventiladores de acción directa Continuas de hilar Tambores o barriles de frotación Retorcedoras (textiles)	1,6	1,8

ANEXO C

LONGITUDES NORMALIZADAS DE CORRAS TRAPEZOIDALES NORTEAMERICANAS DE POTENCIA CONSTANTES.

El valor D_s mín es el diámetro primitivo de la polea menor que debe utilizarse con esta sección. Si se emplea una polea mas pequeña, lo probable es que la correa tenga menor duración. L esta expresada en pulgadas (y en centímetros).

SECCIÓN A			SECCIÓN B			SECCIÓN C			SECCIÓN D		
D_s mín = 3 pulg (7,62 cm)			D_s mín = 5,4 pulg (13,71 cm)			D_s mín = 9 pulg (22,86 cm)			D_s mín = 13 pulg (33 cm)		
Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg	(cm)	Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg	(cm)	Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg	(cm)	Co- rrea núm.	Longitud primitiva pulg	(cm)
A26	27,3	(69,3)	B35	36,8	(93,4)	C51	53,9	(136,9)	D120	123,3	(313,1)
A31	32,3	(82,0)	B38	39,8	(101,1)	C60	62,9	(159,7)	D128	131,3	(333,5)
A35	36,3	(92,2)	B42	43,8	(111,2)	C68	70,9	(180,0)	D144	147,3	(374,1)
A38	39,3	(99,8)	B46	47,8	(121,4)	C75	77,9	(197,8)	D158	161,3	(409,7)
A42	43,3	(109,9)	B51	52,8	(134,1)	C81	83,9	(213,1)	D173	176,3	(447,8)
A46	47,3	(120,1)	B55	56,8	(144,2)	C85	87,9	(223,2)	D180	183,3	(465,5)
A51	52,3	(132,8)	B60	61,8	(156,9)	C90	92,9	(235,9)	D195	198,3	(503,6)
A55	56,3	(143,0)	B68	69,8	(177,2)	C96	98,9	(251,2)	D210	213,3	(541,7)
A60	61,3	(155,7)	B75	76,8	(195,0)	C105	107,9	(274,0)	D240	240,8	(611,6)
A68	69,3	(176,0)	B81	82,8	(210,3)	C112	114,9	(291,8)	D270	270,8	(687,8)
A75	76,3	(193,0)	B85	86,8	(220,4)	C120	122,9	(312,1)	D300	300,8	(764,0)
A80	81,3	(206,5)	B90	91,8	(233,1)	C128	130,9	(332,4)	D330	330,8	(840,2)
A85	86,3	(219,2)	B97	98,8	(250,9)	C144	146,9	(373,1)	D360	360,8	(916,4)
A90	91,3	(231,9)	B105	106,8	(271,2)	C158	160,9	(408,6)	D390	390,8	(992,6)
A96	97,3	(247,1)	B112	113,8	(289,0)	C173	175,9	(446,7)	D420	420,8	(1068,8)
A105	106,3	(270,0)	B120	121,8	(308,3)	C180	182,9	(464,5)	D480	480,8	(1221,2)
A112	113,3	(287,7)	B128	129,8	(329,6)	C195	197,9	(502,6)	D540	540,8	(1373,6)
A120	121,3	(308,1)	B144	145,8	(370,3)	C210	212,9	(540,7)	D600	600,8	(1526,0)
A128	129,3	(328,4)	B158	159,8	(405,8)	C240	240,9	(611,8)	D660	660,8	(1672,4)
			B173	174,8	(444,0)	C270	270,9	(688,0)			
			B180	181,8	(461,7)	C300	300,9	(764,2)			
			B195	196,8	(499,8)	C330	330,9	(840,4)			
			B210	211,8	(537,9)	C360	360,9	(916,6)			
			B240	240,3	(610,3)	C390	390,9	(992,8)			
			B270	270,3	(688,0)	C420	420,9	(1069,0)			
			B300	300,3	(762,7)						
Constantes para potencia nominal: $a = 2,684$ $c = 5,326$ $e = 0,0136$			Constantes para potencia nominal: $a = 4,737$ $c = 13,962$ $e = 0,0234$			Constantes para potencia nominal: $a = 8,792$ $c = 38,819$ $e = 0,0416$			Constantes para potencia nominal: $a = 18,788$ $c = 137,7$ $e = 0,0848$		

ALGUNOS DIÁMETROS DE POLEA NORMALIZADOS

Varía en aumentos de 0,2 pulg (0,50 cm) desde 2,6 pulg (6,6 cm) hasta 5,2 pulg (13,20 cm); luego en aumentos de 0,4 pulg (1,01 cm) hasta 6,4 pulg (16,25 cm); luego los diámetros de 7; 8,2; 9; 10,6; 12; 15; 18 pulg (o sea, respectivamente, 17,78; 20,82; 22,86; 26,92; 30,48; 38,10; 54,72 cm).	Varía en aumentos de 0,2 pulg (0,50 cm) hasta 4,6 pulg (11,68 cm); luego los diámetros de 5; 5,2; 5,4; 5,6; 6; 6,4; 6,8; 7,4; 8,6; 9,4; 11; 12,4; 15,4; 18,4; 20; 25; 30; 38 pulg (o sea, respectivamente, 12,70; 13,20; 13,71; 14,22; 15,24; 16,25; 17,27; 18,79; 21,84; 23,87; 27,94; 31,50; 39,12; 46,74; 50,80; 63,50; 76,20; 96,52 centímetros).	Varía en aumentos de 0,5 pulg (1,27 cm) desde 7 pulg (17,78 cm) hasta 11 pulg (27,94 cm); luego en aumentos de 1 pulg (2,54 cm) hasta 14 pulg (35,56 cm); de 2 pulg (5,08 cm) hasta 20 pulg (50,80 cm); luego los diámetros de 24, 30, 36, 44, 50 pulg (o sea, respectivamente, 60,96; 76,20; 91,44; 111,76; 127 centímetros).	Varía en aumentos de 0,5 pulg (1,27 cm) desde 13 pulg (33,02 cm) hasta 16 pulg (40,64 cm); luego los diámetros de 18, 22, 27, 33, 40, 48, 58 pulg (o sea, respectivamente, 45,72; 55,88; 68,58; 83,82; 101,60; 121,92; 147,32 cm).
---	---	--	--

ANEXO D

Propiedades de los aceros 1045 bajo Tratamientos Térmicos Recomendados y sus niveles de dureza Alcanzados.

Tratamientos térmicos recomendados (valores en °C) :

FORJADO	NORMALIZADO	RECOCIDO		TEMPLADO	REVENIDO	PUNTOS CRÍTICOS APROX.	
		ABLANDAMIENTO	REGENERACIÓN			Ac1	Ac3
1050-1200	870-890	650-700 enfriar al aire	800-850 enfriar al horno	820-850 Agua 830-860 Aceite	300-670	730	785

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397:

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE AREA %	DUREZA BRINEL	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF = 100%
	MPa	(kgf/mm ²)	Ksi	MPa	(kgf/mm ²)	Ksi				
CALIENTE Y MAQUINADO	570	58	82	310	32	45	16	40	163	55
ESTIRADO EN FRIO	630	64	91	530	54	77	12	35	179	

ANEXO E

Densidades Absolutas y Relativas Especificas.

las densidades realitas se hn determinado con relación al agua a 4°C y la presión atmosférica normal.

Sustancia	Densidad relativa	Densidad promedio	
		lb/pie ³	kg/m ³
Excavaciones en agua			
Arena o grava	0.96	60	951
Arena o grava y arcilla	1.00	65	1 041
Arcilla	1.28	80	1 281
Lodo de río	1.44	90	1 432
Tierra vegetal	1.12	70	1 122
Escollera de piedra	1.00	65	1 041
Gases, véase la Sec. 4,			
Propiedades térmicas y Termodinámica			
Materias minerales			
Asbesto, amianto	2.1-2.8	153	2 451
Baritina	4.50	281	4 504
Basalto	2.7-3.2	184	2 950
Bauxita	2.55	159	2 549
Piedra azul	2.5-2.6	159	2 549
Bórax	1.7-1.8	109	1 746
Creta	1.8-2.8	143	2 291
Arcilla marga	1.8-2.6	137	2 196
Dolomita	2.9	181	2 901
Feldespato ortosa	2.5-2.7	162	2 596
Gneis	2.7-2.9	175	2 805
Granito	2.6-2.7	165	2 644
Roca verde eruptiva, trapa o roca trapeana	2.8-3.2	187	2 998
Yeso, alabastro	2.3-2.8	159	2 549
Hornblenda	3.0	187	2 998
Caliza	2.1-2.86	155	2 484
Mármol	2.6-2.86	170	2 725
Magnesita	3.0	187	2 998
Roca de fosfato, apatita	3.2	200	3 204
Pórfido	2.6-2.9	172	2 758
Piedra pómez natural	0.37-0.90	40	641
Cuarzo, pedernal	2.5-2.8	165	2 645
Arenisca	2.0-2.6	143	2 291
Serpentina	2.7-2.8	171	2 740
Esquisto arcilloso, pizarra	2.6-2.9	172	2 758
Esteatita, talco	2.6-2.8	169	2 709
Sienita	2.6-2.7	165	2 645
Piedra extraída de la cantera y apilada			
Basalto, granito, gneis	1.5	96	1 579
Caliza, mármol, cuarzo	1.5	95	1 572
Arenisca	1.3	82	1 314
Esquisto arcilloso	1.5	92	1 474
Roca verde o diorita, hornblenda	1.7	107	1 715
Sustancias bituminosas			
Alquitrán bituminoso	1.20	75	1 201
Asfalto	1.1-1.5	81	1 298

Fuente: Manual del Ingeniero Mecánico Maks.

Sustancia	Densidad relativa	Densidad promedio	
		lb/pie ³	kg/m ³
Metales, aleaciones, minerales			
Aluminio, bronce de	7.7	481	7 702
Aluminio, fundición de amasado	2.55-2.80	165	2 643
Acero de herramientas	7.70-7.73	481	7 703
Acero, estirado en frío	7.83	489	7 832
Acero para maquinaria	7.80	487	7 800
Bronce, 7.9 a 1.4% Sn	7.4-8.9	509	8 153
Bronce fosforoso	8.88	554	8 874
Cobre, fundición laminada	8.8-8.95	556	8 906
Cobre, pirita de	4.1-4.3	262	4 197
Estaño, fundición de amasado	7.2-7.5	459	7 352
Estaño, mineral casiterita	6.4-7.0	418	6 695
Hierro, colado en lingotes	7.2	450	7 207
Hierro dulce, forjado o pudelado	7.6-7.9	485	7 658
Hierro, escorias de	2.5-3.0	172	2 755
Hierro, especular	7.5	468	7 496
Hierro, ferrosilicio	6.7-7.3	437	6 984
Hierro, fundición gris	7.03-7.13	442	7 079
Hierro, mineral hematitas	5.2	325	5 206
Hierro, mineral limonita	3.6-4.0	237	3 796
Hierro, mineral magnetita	4.9-5.2	315	5 046
Iridio	21.78-22.42	1383	22 160
Latón, fundición laminada	8.4-8.7	534	8 553
Manganeso	7.42	475	7 608
Manganeso, mineral pirolusita	3.7-4.6	259	4 149
Mercurio	13.546	847	13 570
Monel, metal, laminado	8.97	555	8 688
Níquel	8.9	537	8 602
Oro, acuñado (U.S.)	17.18-17.2	1073	17 190
Oro, fundición de amasado	19.25-19.35	1205	19 300
Plata alemana	8.58	536	8 586
Plata, fundición de amasado	10.4-10.6	656	10 510
Platino, fundición de amasado	21.5	1330	21 300
Plomo	11.34	710	11 370
Plomo, mineral galena	7.3-7.6	465	7 449
Tungsteno	19.22	1200	18 820
Uranio	18.7	1170	18 740
Zinc, fundición laminado	6.9-7.2	440	7 049
Zinc, mineral blando	3.9-4.2	253	4 052
Sólidos diversos			
Algodón, lino, cáñamo	1.47-1.50	93	1 491

Fuente: Manual del Ingeniero Mecánico Maks.

