



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

“ANÁLISIS DEL PROCESO EN LA ELABORACIÓN  
DE TABLAS REFRACTARIAS DE GRUPO  
INDUSTRIAL MORGAN, S.A. DE C.V.”

**M O N O G R A F Í A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL  
P R E S E N T A :  
P.D.I.I. JESÚS ALBERTO CORONA GARCÍA

DIRECTOR: ING. ARTEMIO SÁNCHEZ CERÓN

## **DEDICATORIAS**

### **A Dios:**

Por Permitirme llegar a la meta deseada. Por el valioso apoyo que siempre me brindaste durante mi Carrera Profesional.

### **A Mis Padres:**

Porque gracias a sus consejos y gran ayuda tanto moral como económicamente, he logrado cumplir satisfactoriamente uno de mis objetivos que me había trazado en la vida, por esa razón estaré eternamente agradecido.

### **A Mi Sobrino:**

Jonás Mariano Jurado Corona por su amor y alegría.

### **A Mis Hermanas:**

Por el apoyo moral que durante mis estudios me brindaron en el logro de un importante objetivo de mi vida.

### **A Mi Escuela:**

Por brindarme esta Hermosa Carrera, Siempre estaré orgulloso de ti.

### **A Mis Maestros:**

Por la Confianza y Conocimientos, que me brindaron desde el inicio de mi Carrera hasta el término de mi preparación profesional.

## CONTENIDO

ÍNDICE	PÁGINA
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
<b>CAPÍTULO 1:_ MARCO TEÓRICO</b>	
1.1.- La fibra cerámica refractaria.....	5
1.2.- Características y usos de las fibras de cerámica refractarias.....	10
1.3.- Propiedades de sustancias refractarias.....	12
1.4.- Industrias que aplican la fibra cerámica refractaria.....	18
1.5.- Introducción de las tablas refractarias.....	20
1.6.- Fundamentos del proceso del formado al vacío.....	24
<b>CAPÍTULO 2:_ LA FABRICACIÓN DE TABLAS REFRACTARIAS EN GRUPO INDUSTRIAL MORGAN PLANTA PACHUCA</b>	
2.1.- Antecedentes de la empresa.....	30
2.1.1.- Constitución de Morgan en México.....	31
2.1.2.- Situación actual de la Empresa.....	34
2.2.- Sistema actual de fabricación de tablas refractarias.....	38
2.2.1.- Diagrama de flujo para producción de tablas refractarias.....	39
2.2.2.- Distribución de planta.....	41
2.3.- Problemática en la fabricación de tablas refractarias.....	42

## **CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE MEJORA EN LA FABRICACIÓN DE TABLAS REFRACTARIAS**

	<b>PÁGINA</b>
<b>3.1.- Introducción. ....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.- Sistema de fabricación de tablas refractarias propuesto. ....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.1.- Diagrama de flujo Propuesto. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.- Gráficos propuestos para la fabricación de tablas refractarias. ....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.- Cálculos y Resultados Obtenidos. ....</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>Anexo 1: Hoja Ruta de Operaciones. ....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 2: Lay out Planta Pachuca. . . . .</b>	<b>65</b>
<b>Anexo 3: Diagrama de flujo Orden de Compra. ....</b>	<b>66</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS. ....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>75</b>
<b>CIBERGRAFÍA. ....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

## PÁGINA

Figura 1.1.- Filamentos de Fibra Cerámica Refractaria. . . . .	7
Figura 1.2.- Clasificación General de las Fibras. . . . .	9
Figura 1.3.- Diagrama de Flujo General de la Fabricación de Refractarios. . . . .	23
Figura 2.1.- Organigrama de la Empresa. . . . .	37
Figura 2.2.- Diagrama de Flujo para la producción de Tablas Refractarias. . . . .	40
Figura 2.2.2.- Distribución de Planta de la Línea de Formado al Vacío . . . . .	41
Figura 2.2.3.- Diagrama de Recorrido de una Tabla Refractaria. . . . .	42
Figura 3.1.- Cursograma Sinóptico Preparación de mezclas. . . . .	44
Figura 3.2.- Cursograma Sinóptico Molienda de Chopped. . . . .	44
Figura 3.3.- Cursograma Sinóptico Formado de tablas Refractarias. . . . .	45
Figura 3.4.- Diagrama de flujo Propuesto. . . . .	48
Figura 3.5.- Tanque de Mezclado. . . . .	50
Figura 3.6.- Dimensiones de las Tablas Refractarias. . . . .	52
Figura 3.7.- Cortes de la Tabla Refractaria. . . . .	53
Figura 3.8.- Dimensiones de los cortes de desperdicio. . . . .	53
Figura 3.9.- Dimensiones de la Tabla a Cortar. . . . .	56
Figura 3.10.- Obtención de dos tablas, a partir de una. . . . .	57
Figura 3.11.- Porcentajes actuales y propuestos. . . . .	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Tiempo de Formado de tablas. . . . .	51
Tabla 3.2 Tiempo de Secado. . . . .	51
Tabla 3.3 Mezcla de Tablas Refractarias M. . . . .	58
Tabla 3.4 Mezcla de tablas Refractarias HS. . . . .	58
Tabla 3.5 Datos de Tablas Refractarias M. . . . .	59
Tabla 3.6 Datos de Tablas Refractarias HS. . . . .	60

## INTRODUCCIÓN

Los productos refractarios se pueden definir, de una manera muy general, como aquellos materiales no metálicos, que soportan temperaturas muy elevadas sin fundirse, sin sufrir una deformación excesiva o sin experimentar cambios de composición. Existe una gran cantidad de requisitos que debe llenar un material refractario para considerarse como tal, algunos de estos son: 1) tener buen aislamiento térmico, 2) trabajar el refractario como un material estructural de alta temperatura, 3) servir como soporte del enrollamiento metálico en hornos de resistencia eléctrica.

Los aislantes tienen mucha importancia en la construcción de hornos, pues evitan pérdidas de calor excesivas y, por consiguiente, un consumo de potencia desmedido, siendo posible, así, alcanzar temperaturas máximas con una geometría de horno dada. Las **Tablas Refractarias**, los ladrillos y el polvo suelto son las formas más comunes de materiales refractarios aislantes y ambos tienen sus usos propios.

Para Grupo industrial Morgan planta Pachuca es importante hacer un análisis en la fabricación de tablas refractarias para determinar el porcentaje de desperdicio que se produce para poder competir con las demás corporaciones.

En la línea de Formado al Vacío se requiere determinar cuál es **el porcentaje de desperdicio de material** en el producto terminado (de Tablas Refractarias), para poder solucionar el problema o minimizarlo.

Se determinarán la solución más adecuada al proceso de fabricación de Tablas Refractarias, que convengan a la empresa. Al finalizar el análisis se podrá proponer una solución al problema del desperdicio en Tablas Refractarias, en el producto terminado.

En la determinación de material perdido en el producto terminado de Tablas Refractarias se determinó: el peso de la charola y tabla en húmedo, peso después de secado, humedad, peso después de rectificado, peso después de corte, volumen y densidad.

Para verificar el porcentaje de preparación de mezcla se comparó el de la fórmula original con el que se estaba realizando durante el análisis. Para lo cual se hizo necesario pesar cada uno de los ingredientes.

En la determinación de la manera de agregar la materia prima al mezclador se tomaron tiempos y secuencia de pasos, durante todo el turno (de 8 horas).

La limitación se encontró en la aplicación de la alternativa que disminuye el desperdicio de material, la cual consiste en disminuir el ángulo de inclinación del molde (que tiene forma de pirámide truncada) , debido a que se tiene un extenso pedido y por lo cual en este periodo no se pueden cambiar los moldes, ya que implicaría el paro del proceso.

El trabajo consta de 3 capítulos, cuyo contenido es el siguiente:

Capítulo 1. Marco Teórico. Señala el concepto de Fibra cerámica Refractaria, características, usos, propiedades. Se Describe que es una Tabla refractaria y su fundamento.

Capítulo 2. La fabricación de Tablas Refractarias en Grupo Industrial Morgan Planta Pachuca. Hace enfoque al proceso actual en la elaboración de Tablas Refractarias de Grupo Industrial Morgan.

Capítulo 3. Propuesta de Mejora en la Fabricación de Tablas Refractarias. Se maneja una propuesta de mejora para la Elaboración de Tablas Refractarias, marca el procedimiento para reducir el porcentaje de desperdicio de las Tablas Refractarias.

## **JUSTIFICACIÓN**

La producción de Tablas Refractarias en Grupo industrial Morgan planta Pachuca tiene una gran demanda a nivel mundial.

Para Grupo industrial Morgan planta Pachuca es importante hacer un análisis en la fabricación de tablas refractarias para determinar el porcentaje de desperdicio que se produce y tomar las medidas apropiadas para poder competir con Augusta, miembro de la Corporación del grupo Morgan localizada en Estados Unidos de Norteamérica, la cual tiene un desperdicio del 15%, mientras que en México se pierde el 22%.

Se requiere analizar las variables de proceso que influyen en el producto terminado. Procurando obtener una solución en la cual no se afecte la formulación de la mezcla, sino más bien el dar una alternativa sencilla que no afecte demasiado los costos del producto final.

Lo que lleva a este estudio es el interés de aportar alternativas de solución que permita reducir el porcentaje de desperdicio que permitan el reducir costos en la línea de formado al vacío, para mantenerla estable y con esto obtener un producto de la mejor calidad, con lo cual aumente la producción y la necesidad de contratar mayor personal, proporcionando empleos, necesarios en Nuestro Estado.

## **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar el proceso actual en la elaboración de Tablas Refractarias de Grupo Industrial Morgan S.A. de C.V. Específicamente la Línea de Formado Al Vacío.

## **OBJETIVO ESPECIFICO:**

Proponer la mejor solución al método de trabajo para la Elaboración de Tablas Refractarias, que convengan a la empresa. En este caso dar una solución al problema del desperdicio en Tablas Refractarias, en el producto terminado.

## **CAPITULO 1:\_ MARCO TEÓRICO**

### **1.1 La fibra cerámica refractaria.**

Fibra Cerámica Refractaria (FCR) es una fibra vítrea sintética (SVF por su siglas en ingles) primero descubierta en 1942 y comercializada completamente en los años 60 tempranos. Es un aislamiento económico de energía; es ligero con conductividad termal baja, capacidad baja del almacenaje del calor y resistencia excelente del choque termal. La FCR es un material refractario, capaz de servir con muy alta temperatura, substituyendo el ladrillo y refractarios duros en usos hasta 2800 ° F. Los productos de Fibra Cerámica Refractaria son materiales importantes para los hornos industriales, los calentadores petroquímicos y los reactores y para las unidades de la contención del calor en el producto químico, fertilizante, acero, metales calor-que tratan, no ferrosos, cristal, de cerámica, fundición, cemento y las industrias Forjadoras. Otras aplicaciones están en la protección contra los incendios, convertidores catalíticos automotores, protectores de calor, bolsas de aire, espacio aéreo y usos de la defensa.

Las fibras vítreas sintéticas son un grupo de materiales inorgánicos fibrosos que contienen aluminio o silicatos de calcio y trazas de óxidos y metales. Las fibras vítreas sintéticas se fabrican a partir de roca, escoria, arcilla o vidrio. A diferencia de las fibras de materiales naturales, tales como el asbesto, las fibras vítreas sintéticas no poseen una estructura molecular cristalina. La orientación al azar de las moléculas en las fibras vítreas sintéticas da lugar a una estructura amorfa. Las fibras vítreas sintéticas se catalogan en dos grupos: filamentos y lanas. Los filamentos consisten de filamentos continuos de vidrio, mientras que las lanas se subdividen en lanas de vidrio, lanas de roca, lanas de escoria, fibras refractarias de cerámica y otros tipos de fibras de origen más reciente.

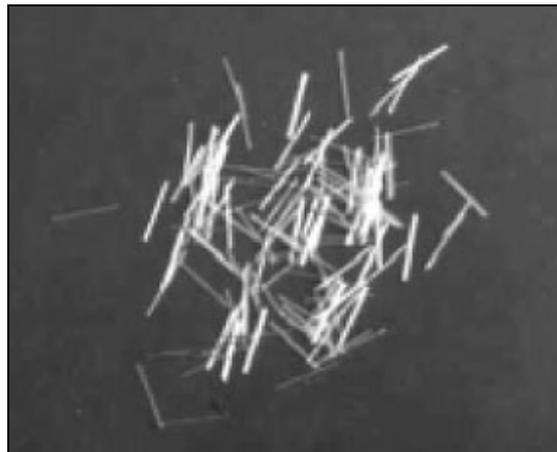
Las fibras vítreas sintéticas se usan principalmente como aislantes contra el calor y contra ruidos, para reforzar otros materiales y como materiales de filtración. Las lanas de vidrio son usadas ampliamente como materiales de aislamiento en casas y edificios. En años recientes, la producción y uso de las fibras vítreas sintéticas ha aumentado debido a que estos materiales frecuentemente se usan en lugar del asbesto.

Una fibra es simplemente una partícula alargada y fina. Por definición, una fibra es una partícula de al menos 5 micrómetros de longitud (1 micrómetro es igual a 1/1,000,000 parte de 1 metro y se representa con la notación  $\mu\text{m}$ ) y, además, la longitud de la partícula debe ser al menos 3 ó 5 veces mayor que su diámetro. El diámetro de la partícula es una característica importante ya que las partículas de diámetro pequeño pueden permanecer suspendidas en el aire con más facilidad que las partículas más gruesas. Esto, a su vez, puede permitir que las fibras finas sean inhaladas al respirar depositándose en las partes profundas del pulmón. Solamente las fibras muy finas, aquellas con diámetro menor de 3  $\mu\text{m}$ , pueden alcanzar las partes más profundas del sistema respiratorio de los seres humanos luego de ser inhaladas. Las fibras más gruesas se depositan en las superficies revestidas de tejido mucoso de la parte superior del tracto respiratorio, las cuales incluyen la nariz y la boca. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que las fibras respirables son aquellas partículas con longitudes mayores de 5  $\mu\text{m}$ , diámetros menores de 3  $\mu\text{m}$  y proporciones de longitud: diámetro que sean mayores o iguales que 3:1. Las fibras pueden tener diámetros relativamente grandes o pequeños, dependiendo de la manera en que las fibras son fabricadas. En general, la lana de vidrio, la lana de roca, la lana de escoria y las fibras refractarias de cerámica tienen los diámetros más pequeños mientras que las fibras de vidrio de filamento continuo tienen los diámetros más grandes.

Como miembro del grupo del SVF de productos artificiales, al igual que las lanas de cristal y mineral fibroso, es un material amorfo del aluminio-silicato. Como el otro SVFs, Fibra Cerámica Refractaria se produce bajo condiciones altamente

controladas, usando un proceso de Fibrilización del derretimiento. Una variedad de formas del producto puede ser manufacturada, incluyendo bultos, las mantas, las formas vacío-formadas, los módulos, los papeles y los cementos. Fibra Cerámica Refractaria representa la porción más pequeña de la industria del SVF, explicando menos el de 2% de la producción mundial total. Global, Fibra Cerámica Refractaria desempeña un papel importante de la conservación controlando temperaturas altas y reduciendo el consumo del combustible fósil a la energía de ahorro y protege el ambiente.

Los filamentos o fibras continuas, son fibras de diámetro muy uniforme, adecuados para tejidos. Las fibras cortas que proceden de los filamentos quedan excluidas en principio como fibras respirables debido al grosor de su diámetro (figura 1.1).



**Figura 1.1 Filamentos de Fibra Cerámica Refractaria.**

Las lanas son masas de fibras entrelazadas y sin ningún tipo de disposición ordenada. El diámetro de estas fibras es menos uniforme que el de los filamentos por lo que aunque su diámetro nominal sea superior al respirable es de esperar siempre una fracción de fibras finas que responden a la definición de respirables.

Por sus aplicaciones en el intervalo de temperaturas de trabajo en campo de los aislamientos se diferencian los siguientes tipos de fibras entre las FMA con estructura vítrea:

- *Lanas minerales*, también denominadas genéricamente *lanas aislantes*. Incluyen *lana de vidrio*, *lana de roca* y *lana de escoria*,
- *Fibras cerámicas*, también llamadas *fibras cerámicas refractarias* (FCR). Se elaboran a base de sílice y óxido de aluminio fundido y puede llevar otros óxidos (circonio, hierro, magnesio) en cantidades minoritarias. Estas fibras presentan una elevada resistencia a las temperaturas más altas, donde las lanas de aislamiento no son eficaces.
- *Fibras de aislamiento para alta temperatura*.
- *Micro fibras* para aplicaciones especiales

Las denominaciones comerciales o de uso pueden resultar a veces confusas ya que no existe una terminología bien definida, por lo que pueden darse varios términos sinónimos para un mismo producto o un mismo nombre puede aplicarse a dos productos distintos. Por ejemplo, el término fibra de vidrio puede utilizarse tanto para referirse al filamento continuo como a la lana. La denominación comercial puede aludir a la forma de presentación (fibra, lana), a su composición (vidrio, basalto, roca, escoria, etc.) o a su aplicación (de aislamiento, de alta temperatura, etc.).

Existen muchos y variados tipos de fibras con distintas aplicaciones. La figura 1.2 presenta una clasificación de conjunto por su origen y naturaleza.

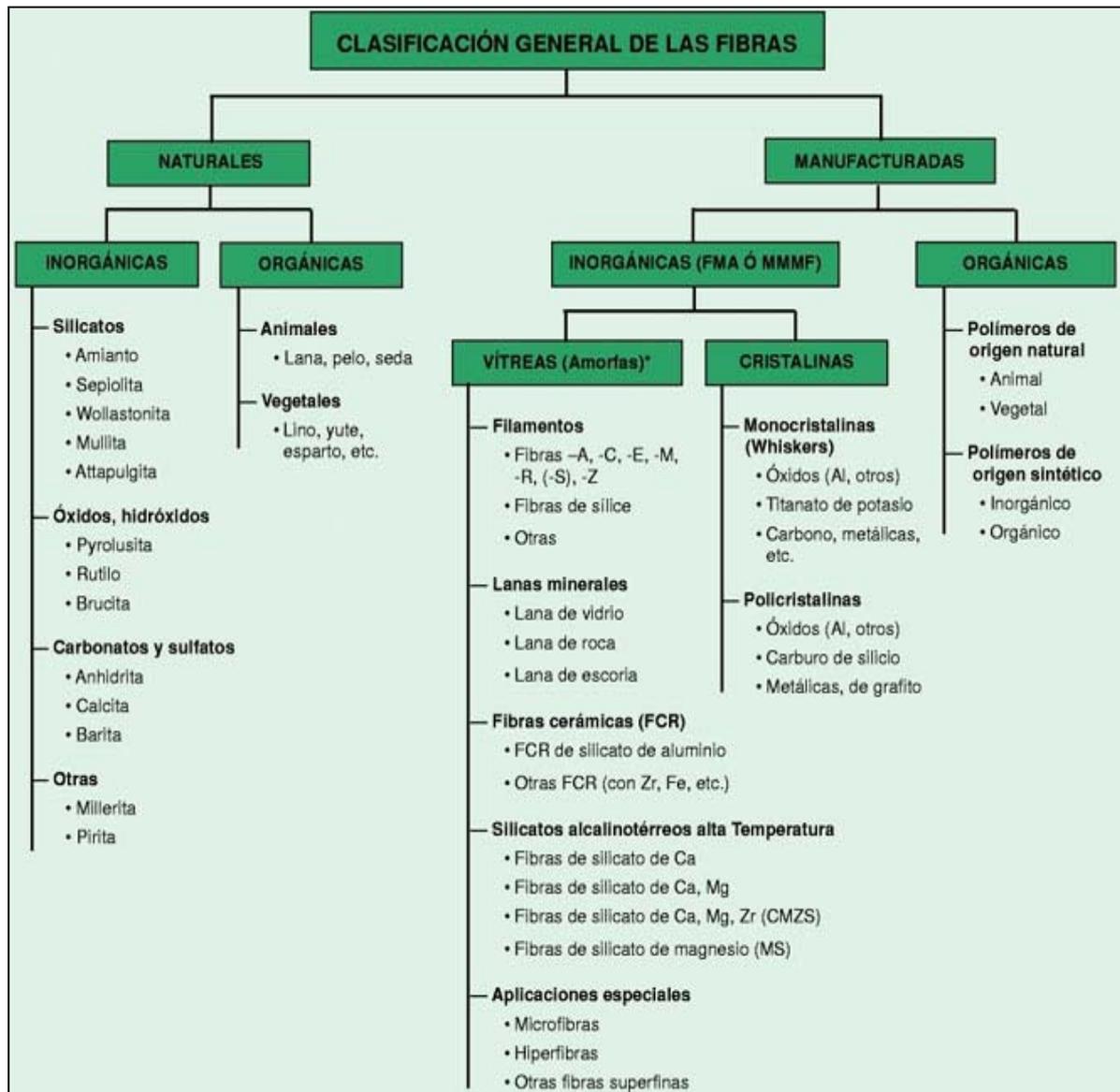


Figura 1.2 Clasificación general de las fibras.

## 1.2 Características y usos de las fibras de cerámica refractarias comerciales.

1. La fibra cerámica refractaria comercial fue comercializada completamente en los años 60 tempranos, substituyendo en gran parte refractarios aisladores tradicionales (los ladrillos y los concretos) en el equipo de proceso de alta temperatura, debido a los ahorros de la energía grandes producidos por su conductividad termal baja y masa termal baja.
2. Las características químicas y físicas de fibra cerámica refractarias comerciales proporciona características excelentes y los ahorros de la energía del aislamiento termal para las temperaturas hasta sobre 1400°C (2550°F).
3. Las Fibras manufacturadas tiene diámetros el variar a lo largo de su longitud del  $\mu\text{m}$   $<0.5$  al  $\mu\text{m}$   $>10$ , y longitudes a partir del 10 a 100 milímetros. Además, según lo fabricado, los productos de FCR contienen 20 - el 50% en peso de las partículas de cristal.
4. Las fibras respirables aerotransportadas de la fibra cerámica refractarias comerciales encontradas en ajustes ocupacionales tienen dimensiones perceptiblemente diferentes de fibras manufacturadas de fibra cerámica refractarias comerciales y de fibras aerotransportadas del asbesto. La fibra cerámica refractaria comercial aerotransportada tiene diámetros del medio geométrico en la gama 0.5 a las longitudes del  $\mu\text{m}$  1.5 y del medio geométrico del  $\mu\text{m}$  10 a 50.
5. Las fibras respirables aerotransportadas del asbesto tienen  $\mu\text{m}$  de los diámetros  $<0.3$  del medio geométrico, y son generalmente más cortas que fibras de cerámica refractarias comerciales aerotransportado; pocas de

estas fibras del asbesto serían perceptibles por la microscopia óptica del contraste de la fase, la técnica estándar para contar fibras.

6. Las fibras cerámicas refractarias comerciales se refiere a veces incorrectamente como “substitutos del asbesto.” El asbesto - un término de uso general describe un grupo de fibras naturales, teniendo una amplia gama características físicas y químicas. Es solamente capaz de tener una temperatura máxima de uso de 850°C (1550°F), y fue utilizado sobre todo en la construcción de Hornos y productos térmicos, ahora substituyeron a las fibras alternativas y los materiales no fibrosos.
7. Las fibras cerámicas refractarias comerciales y las fibras del asbesto tienen características químicas y físicas muy diversas. Las fibras del asbesto están más cercanas en la composición a las fibras de las lanas de cristal de una temperatura más baja que a fibras de cerámica refractarias comerciales.
8. Las fibras de cerámica refractarias comerciales es materiales frágiles que tienen fuerzas extensibles mucho más bajas que fibras del asbesto; La rotura de fibras de cerámica refractarias comerciales es más transversal que longitudinalmente en fibras más finas. Todas las fibras vítreas sintéticas (SVFs) son más solubles en pH neutral (e.g. líquido del pulmón) que todas las fibras del asbesto, y fibras de cerámica refractarias comerciales no son ningún menos soluble que muchas el otro SVFs.

### 1.3 Propiedades de sustancias refractarias.

**La alúmina** es el refractario más usado, porque se obtiene con una pureza muy alta, por su punto de fusión elevado ( $1900^{\circ}$  C), por su baja reactividad, por su resistencia al choque térmico regular y por su conductividad eléctrica muy baja a temperatura elevada.

*La Alúmina:* se encuentra en toda la corteza terrestre como componente de los aluminosilicatos. Por motivos económicos, la alúmina se extrae de la bauxita mediante el proceso Bayer. La bauxita está extendida por todo el cinturón ecuatorial en distintos estados de pureza, y se clasifica en dos tipos: refractaria y metalúrgica.

La bauxita de calidad refractaria la suministran China y Guayana en forma de calcinado a alta temperatura de los yacimientos de los minerales diásporo ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) en China y gibosita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) en Guyana. Durante la calcinación se forma una compleja unión de fases de corindón ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), mullita, vidrio de sílice y, en menor cantidad, alumino-titanatos. El consumo mundial de bauxita de calidad refractaria supera las 700.000 toneladas por año.

La bauxita de calidad metalúrgica se extrae en Australia, Jamaica y África Occidental y tiene proporciones variables de alúmina en función de las impurezas principales que presente, tales como sílice y óxido de hierro. La alúmina de los minerales metalúrgicos se extrae de una mina por disolución en hidróxido sódico, que rinde una solución de aluminato sódico, la cual se separa del óxido de hierro y la sílice, que se rechazan como estériles en forma de barro rojo. Del aluminato sódico se precipita esencialmente hidróxido de aluminio puro que se calcina a diversas calidades de alúmina.

Las alúminas de gran pureza utilizadas en la industria cerámica y obtenida mediante los procesos Bayer se clasifican en alúmina laminada, alúmina fundida o alúmina calcinada. La alúmina laminada se obtiene por calcinación a elevada temperatura

(~2.000 °C o 3.630 °F) a partir de alúmina calcinada a baja temperatura en grandes hornos rotatorios que utilizan petróleo como combustible. La alúmina fundida se obtiene por fusión eléctrica de la alúmina calcinada. Las alúminas laminada y fundida se venden a la industria refractaria molidas y clasificadas según el tamaño del granos para ser utilizadas en una amplia variedad de productos de gran calidad, como los refractarios de vaciado continuo (por ejemplo, compuertas de corredera ranuradas de un solo canto), o los refractarios monolíticos para aplicación en altos hornos y en la Industria petroquímica. Las alúminas calcinadas en polvo constituyen la principal materia prima empleada en la industria cerámica avanzada, tanto para aplicaciones electrónicas como de ingeniería. Los polvos se producen en una amplia variedad de calidades de acuerdo con especificaciones exactas de composición química, tamaño de partícula y tipo de cristal, para adaptarse a una gran diversidad de aplicaciones del producto acabado. Hay un comercio internacional de alúminas de gran calidad bien asentado. Muchos de los fabricantes de productos cerámicos tienen en sus plantas instalaciones de Moler y atomizar. Es evidente que el crecimiento del suministro a instalaciones de atomizado está limitado, así que hay una necesidad constante de alúminas adecuadas a las características de la planta del cliente a fin de que el uso de éstas pueda optimizarse a un precio aceptable. La alúmina es un importante material cerámico que se obtiene con un elevado grado de pureza. La posición dominante de la alúmina como materia prima cerámica se debe a que posee atractivas propiedades a un coste relativamente bajo. Esta eficacia del costo es atribuible a la naturaleza de mercancía indiferenciada que adquiere el movimiento comercial a consecuencia de la gran demanda de alúmina por parte de la industria del aluminio.

La sílice se usa generalmente como una sustancia pura en forma de cuarzo fundido o mas correctamente, sílice fundida. No es particularmente estable y se halla sujeta a reducción parcial por muchos metales. Tiende a reaccionar con varios óxidos metálicos debido a la naturaleza ácida del  $\text{SiO}_2$  y a que los óxidos metálicos tienen, en general, una naturaleza básica. Las principales ventajas de la sílice fundida son:

- 1.-Impermeable a los gases.
- 2.-Resistencia mecánica.
- 3.-Químicamente resistente, particularmente a la mayoría de las soluciones acuosas y los gases.
- 4.-Coeficiente de expansión extraordinariamente bajo.
- 5.-Aislamiento eléctrico.
- 6,-Soportar temperaturas de calentamiento de hasta los 1000 °C.

*La Sílice:* además de su uso en refractarios y cerámica blanca, también es el punto de partida en la fabricación de silicio, carburo de silicio y tetracloruro de silicio. A su vez, el silicio es el punto de partida para la obtención de nitruro de silicio y el tetracloruro de silicio es el precursor para una amplia gama de compuestos organosilíceos, que en condiciones controladas se pirolizan a carburo de silicio de gran calidad y nitruro de silicio.

A pesar de su tendencia a oxidarse, el nitruro de silicio y sus derivados de Sialon, así como también el carburo de silicio, tienen la capacidad potencial de cumplir muchos de los objetivos de propiedades fijados por el mercado de la maquinaria térmica.

Una característica del silicio y de los materiales cerámicos derivados del mismo es que se encuentran fácilmente en la corteza terrestre, por lo que ofrecen potencialmente facilidad de suministro en todo el mundo. En la práctica, sin embargo, se requiere un importante consumo energético para la producción de silicio y carburo de silicio. En consecuencia, la fabricación de estos materiales está limitada a los países con energía eléctrica barata y fácilmente asequible.

Las principales aplicaciones de la Wollastonita vieron su desarrollo a final de la década de 1970. Como sustituto de los asbestos de fibra corta, Desde ese momento, el consumo mundial de la Wollastonita ha tenido un importante progresión.

La acicularidad del mineral es un factor importante para su uso industrial, tanto que su mercado se divide en dos tipos principales:

a) Producto no acicular o de bajo ratio (Índice de Acicularidad de 3:1 a 5:1), que se utiliza como cargas en general, en cerámica y en fundentes metalúrgicos

b) Producto acicular o de alto ratio (Índice de Acicularidad de 15:1 a 20:1), que se utiliza como cargas funcionales para refuerzos en compuestos polímeros termoplásticos y termosellantes, así como sustituto de asbestos. La wollastonita aporta dureza, resistencia a la flexión y al impacto, mejorando la estabilidad calorífica y dimensional de los plásticos.

La wollastonita se ha consolidado hoy como un importante mineral industrial. Es un ingrediente necesario en la cerámica refractaria y utilizado como aditivo en pinturas (como antioxidante y anticorrosivo), siendo para ello tratado superficialmente con xilanos. En el sector cerámico sirve para rebajar el punto eutéctico de gresificación, incrementa de forma sensible la resistencia mecánica y mejora la permeabilidad sin producir desprendimientos gaseosos.

Actualmente ha adquirido un importante papel como mineral con importantes características que le confieren el calificativo de "ecológico", ya que su utilización en la industria cerámica permite la incorporación del ion Calcio a la pasta sin la introducción de carbonatos y, consiguientemente, sin desprendimientos de Dióxido de Carbono en las emisiones a la atmósfera por ese concepto. Asimismo reduce de forma muy importante los tiempos del ciclo de cocción, con los consiguientes ahorros energéticos y de emisiones gaseosas. Ello le confiere un interés indudable ante el problema del denominado Cambio Climático por el aspecto positivo que le confiere su apoyo al denominado Protocolo de Kioto.

Por otra parte, su cualidad de "adsorción química" lo constituye como un mineral - utilizable junto con los carbonatos que lo acompañan en los yacimientos- en los

procesos de corrección y restauración ambiental, ya que hace que precipiten los metales pesados originados por el Drenaje Ácido de Minas y los fija de forma permanente a su estructura, impidiendo su redisolución posterior aunque perduren las condiciones ácidas del suelo o de las aguas afectadas.

Se utiliza también en el sector cementero y en la industria del papel.

Su característica como mineral Bioactivo le confiere una nueva aplicación en los implantes de huesos sintéticos, especialmente como efectivas prótesis vertebrales, donde se necesita una fuerte capacidad de sustentación.

Los aislantes tienen mucha importancia en la construcción de hornos, pues evitan pérdidas de calor excesivas y por consiguiente, un consumo de potencia desmedido, siendo posible, así, alcanzar temperaturas máximas con una geometría de horno dada. Las **Tablas Refractarias**, los Ladrillos y el Polvo suelto son las formas más comunes de materiales refractarios aislantes y ambos tienen sus usos propios.

Algunos materiales cerámicos pueden soportar temperaturas extremadamente altas sin perder su solidez. Son los denominados materiales refractarios. Generalmente tienen baja conductividad térmica por lo que son empleados como aislantes. Por ejemplo, partes de los cohetes espaciales son construidos de azulejos cerámicos que protegen la nave de las altas temperaturas causadas durante la entrada a la atmósfera.

Los requisitos principales para considerar a un material refractario como bueno son que no se ablande o derrita y que se mantenga sin reacciones bajo las temperaturas de uso. El último requisito se relaciona con los mencionados anteriormente: la auto descomposición y reacción a otros componentes que podrían presentarse, incluso aquellos que podrían ser perjudiciales.

La porosidad toma una importancia adicional en la cerámica refractaria. Mientras la porosidad se reduce la resistencia, la capacidad de carga y la resistencia ambiental

Se incrementa a medida que la densidad del material aumenta. Sin embargo, mientras la densidad incrementa la resistencia al shock térmico (quebraduras como resultado del rápido cambio de temperatura), las características de aislamiento se reducen. Muchos materiales son usados en estados muy porosos y es frecuente encontrar materiales combinados: una capa porosa con buenas propiedades de aislamiento combinada con una delgada chaqueta de material más denso que provee resistencia.

Tal vez sea sorprendente que estos materiales puedan ser usados a temperaturas en donde se licúan parcialmente. Por ejemplo, los ladrillos refractarios de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), usados para recubrir hornos de fundición de acero, trabajan a temperaturas superiores a 1650 °C (3000 °F), cuando algunos de los ladrillos comienzan a licuarse. Diseñados para esa función, una situación sin sobresaltos requiere un control responsable sobre todos los aspectos de la construcción y uso.

## **Ventajas**

- Baja conductividad térmica
- Bajo almacenamiento de calor
- Rápido calentamiento y enfriamiento, reduciendo tiempos de ciclos
- Ligera, reemplaza a respaldos pesados, menos acero necesario
- Excelente resistencia térmica
- Resistencia a la mayoría de los ataques químicos
- Fácil de cortar e instalar
- Absorbe el sonido
- Resiste penetración de aluminio fundido y otros metales no ferrosos
- No contiene asbesto

## **Aplicaciones Típicas**

- Aislamiento refractario para hornos en paredes, techos, puertas, chimeneas, entre otros.
- Cámaras de combustión en boilers y calentadores
- Aislamiento de respaldo en ladrillos y morteros refractarios
- En canales de transferencia de aluminio y otros metales no ferrosos
- Juntas de expansión
- Barreras contra calor y fuego
- Capa en cara caliente en atmósferas abrasivas y de alta velocidad de los gases

### **1.4 Industrias que aplican la fibra cerámica refractaria.**

Todo proceso de transferencia de calor es susceptible a utilizar la Fibra Cerámica en algunas de sus presentaciones.

A continuación se lista algunas de las industrias que aplican la Fibra Cerámica:

Refinerías, industria química y Petroquímica:

- ◆ Calentadores de aceite crudo
- ◆ Calentadores de proceso
- ◆ Plantas de Amoniaco
- ◆ Plantas de metanol

Industrias de Acero, Metalurgia y siderúrgicas:

- ◆ Hornos de forja
- ◆ Hornos de recocido continuo
- ◆ Hornos de tratamiento térmico

- ◆ Hornos de relevado de esfuerzos
- ◆ Hornos de atmósfera controlada
- ◆ Hornos de recalentamiento
- ◆ Túneles de recocido
- ◆ Hornos continuos

Industrias Cerámica y del Cemento:

- ◆ Hornos para arcilla
- ◆ Hornos para abrasivos de adhesión
- ◆ Hornos para secar artículos Cerámicos
- ◆ Hornos para vidrieras

Otras Áreas:

- ◆ Vehículos de transporte: tierra, mar, aire, espacio
- ◆ Calcinadores
- ◆ Incineradores de desperdicios químicos
- ◆ Calderas
- ◆ Edificios
- ◆ Ingenios azucareros
- ◆ Minería
- ◆ Generación de Energía.

## 1.5 Introducción de las Tablas Refractarias

La tabla de fibra cerámica es un material refractario ligero producido a base de fibras silico-aluminosas para aplicaciones de hasta 1538 °C (2800 °F).

Esta tabla se caracteriza por ser un excelente aislante diseñado especialmente para soportar el flujo de gases a alta velocidad. Es ideal para chimeneas de calentadores, en ductos y hornos, debido a su baja conductividad térmica y a su bajo almacenaje de calor. Permitiendo con estos menores tiempos en ciclos de quemado y un acceso rápido para mantenimientos.

Los productos refractarios se pueden definir, de una manera muy general, como aquellos materiales no metálicos, que soportan temperaturas muy elevadas sin fundirse, sin sufrir una deformación excesiva o sin experimentar cambios de composición. Existe una gran cantidad de requisitos que debe llenar un material refractario para considerarse como tal, algunos de estos son: 1) tener buen aislamiento térmico, 2) trabajar el refractario como un material estructural de alta temperatura, 3) servir como soporte del enrollamiento metálico en hornos de resistencia eléctrica.

Para clasificar los refractarios, se debe conocer algo acerca de las siguientes propiedades:

- 1.- Punto de fusión.
- 2.-Conductividad térmica.
- 3.-Resistencia a temperaturas elevadas.
- 4.-Coeficiente de expansión térmica.
- 5.-Resistencia al choque térmico.
- 6.-Capacidad de ser químicamente inerte a los metales líquidos y a su entorno.
- 7.-Conductividad eléctrica a temperaturas elevadas.

**La Figura 1.3** ilustra la fabricación de las diferentes clases de refractarios. Adopta el estilo de “árbol de decisiones”, con las ramas divergentes provistas de números de identificación. Hay varios caminos, que muestran, cada uno de ellos, un tipo particular de producto refractario.

Estos diagramas de flujo genéricos representan miles de procesos específicos y diferenciados, por ejemplo, por las materias primas, la forma de preparación y la clasificación por tamaño y determinación de las partidas (es decir, cantidad pesada) de cada una, la secuencia y forma de mezclado. Se permiten exclusiones; así, algunos refractarios sin conformar se mezclan en seco y no se mojan hasta la instalación.

Los refractarios y sus productos se presentan a veces preformados (moldeados) o se forman e instalan “in situ”, aunque en general se suministran en las siguientes formas:

*Ladrillo:* las dimensiones estándar de un ladrillo refractario son 23 cm de longitud por 11,4 cm de anchura y 6,4 cm de espesor (ladrillo recto). Se fabrican por extrusión o prensado en seco en prensas mecánicas o hidráulicas. Las piezas formadas se cuecen antes de usarlas o aglomerarse y endurecerse con alquitrán, resina u otros compuestos químicos.

*Moldeado por colado:* mediante el arco eléctrico se funden mezclas refractarias que se moldean por colado en distintas formas (por ejemplo, bloques para tanques de vidrio que alcanzan dimensiones de hasta 0,33 x 0,66 x 1,33 m). Después del moldeado y el recocido, los bloques se rectifican cuidadosamente con una muela para asegurar un encaje preciso.

*Refractarios colados y moldeados a mano:* las formas grandes, como quemadores y bloques de cuba, o complicadas, como las piezas de los alimentadores de vidrio, gacetas y similares, se producen por colado de una barbotina de cemento hidráulico

o por moldeo a mano. Debido a que estas técnicas son muy laboriosas, se reservan para aquellos artículos que no pueden elaborarse de otro modo.

*Refractarios aislantes:* los refractarios aislantes en forma de ladrillo son mucho más ligeros que los ladrillos convencionales de la misma composición debido a su porosidad.

*Moldeables y mezclas aplicables a pistola:* están compuestos de granulados refractarios a los que se añade un fijador hidráulico que al mezclarlo con agua reacciona y aglutina toda la masa. Estas mezclas están diseñadas para ser aplicadas con una pistola dotada de una boquilla a través de la cual se pulverizan con aire a presión. La mezcla se diluye en agua antes de aplicarla con la pistola o en la propia boquilla.

*Refractarios plásticos y mezclas apisonadas:* los refractarios plásticos son mezclas de granulados refractarios y arcillas plásticas o plastificantes con agua. Hay mezclas para apisonar con y sin arcilla y suelen utilizarse con un encofrado. La proporción de agua usada con estos productos varía, pero se procura que sea mínima.

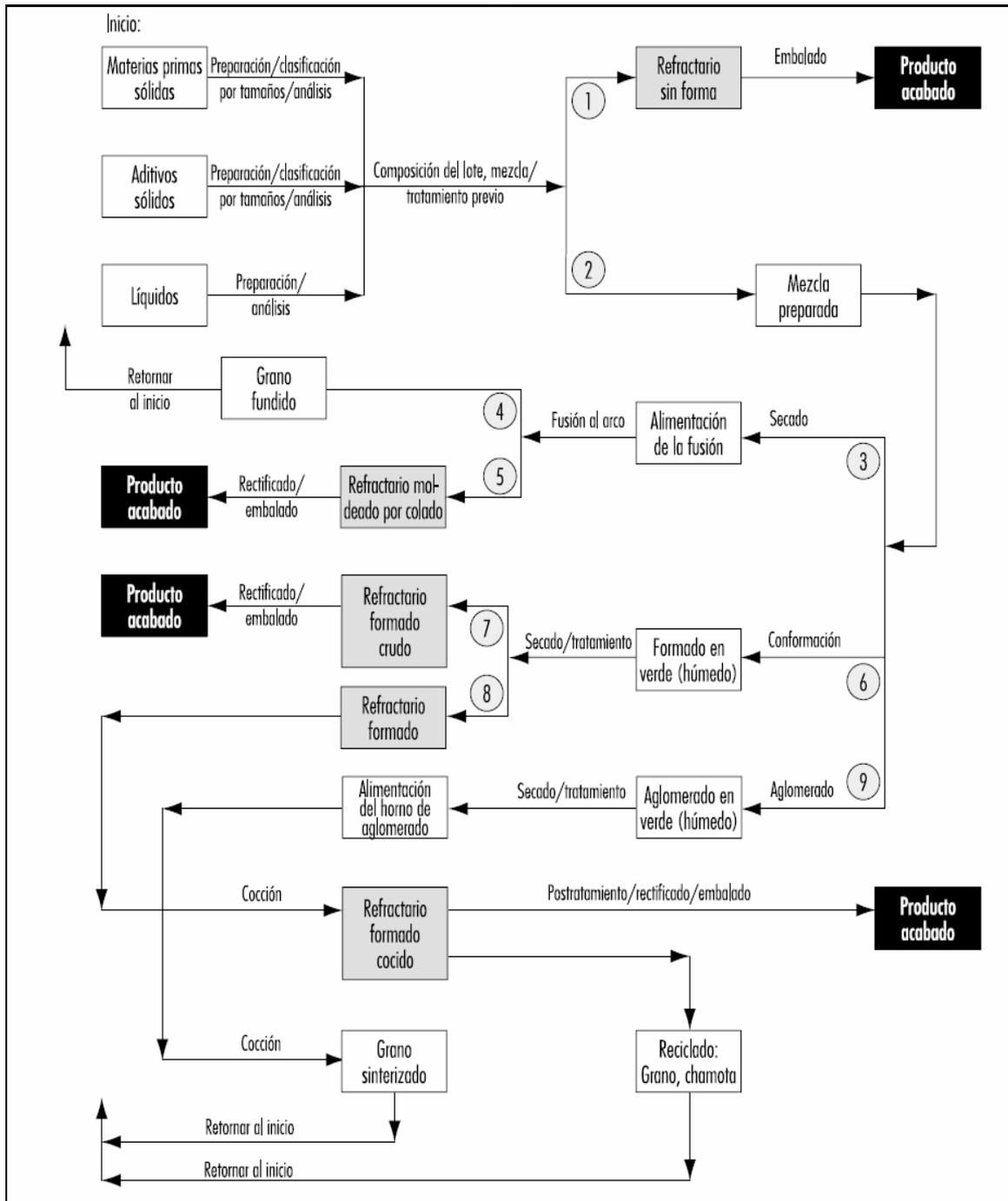


Figura 1.3 Diagrama de flujo general de la fabricación de refractarios.

## 1.6 Fundamento del proceso de formado al vacío.

La mezcla de Tablas Refractarias tiene su fundamento en la **floculación** ya que después de añadir un coagulante al agua, se desencadenan reacciones con los iones para producir compuestos de las especies polinucleares e hidroxomultipositivos.

Las sustancias coagulantes se absorben rápidamente en la superficie de las partículas hidrófobas causantes de la turbiedad, que acaban “revestidas de coagulante”. El resultado neto es que las cargas eléctricas de las partículas se reducen; Entonces según el pH y las dosis de coagulante añadidas, la carga de la partícula, medida en función del potencial Z, puede oscilar entre ser ligeramente negativo a neutro.

En este momento se considera que la suspensión está desestabilizada y en consecuencia, el proceso de floculación está a punto de iniciarse. La mezcla, la agitación o la turbulencia favorecen las colisiones entre las partículas desestabilizadas que producen, de esta forma uniones perdurables, por otra parte, los propios coagulantes aún en ausencia de turbiedad, se hidrolizan y precipitan para formar masas cada vez mayores de material floculante. Cuando este floculo ha alcanzado tamaño suficiente, puede aprisionar físicamente a las partículas de turbiedad, comportándose como una “escoba” a medida que sedimenta.

En contraste, los coloides hidrófilos, que contienen grupos polares de los tipos hidróxilo, carboxilo o fosfático, cargados negativamente reaccionan químicamente con los coagulantes de carga positiva, producidos en la hidrólisis, para formar otro insoluble que es eléctricamente neutro o desestabilizado. El proceso de floculación prosigue de forma análoga al ya descrito para las partículas hidrófobas.

En el proceso de floculación es importante conseguir el flóculo de mayor peso y cohesión posible, ya que estas características facilitan que la tabla se forme, en

general algunos de los siguientes medios favorecen el engrosamiento y consecuentemente, la sedimentabilidad del floculó:

- Una coagulación previa tan perfecta como sea posible.
- Un aumento de la cantidad de flóculos en el agua. Así, conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior, tratando de conseguir la mayor concentración posible.
- Una agitación lenta y homogénea del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con un flóculo.
- El empleo de ciertos productos llamados floculantes.

Los floculantes, llamados también coadyuvantes de floculación, son productos destinados a favorecer el proceso de floculación es decir, la formación de un flóculo voluminoso, pesado y coherente; la acción puede ejercerse al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del flóculo.

En muchos casos, los floculantes vienen a resolver problemas importantes, tales como flóculos pequeños, de sedimentación lenta, formados durante la coagulación a baja temperatura o flóculos frágiles que se fragmentan al someterse a las fuerzas hidráulicas en el tanque.

Los floculantes pueden clasificarse por su naturaleza (mineral u orgánica), su origen (sintético o natural) o el signo de su carga eléctrica (aniónico, catiónico o no iónico).

**Entre los floculantes minerales están la sílice activada** y los “agentes adsorbentes - ponderantes” (arcillas, carbonato cálcico, carbón activo, tierra de diatomeas) y entre los orgánicos los denominados polielectrolitos.

La sílice activada ocupa un lugar especial en la elaboración de Tablas Refractarias. Esta se obtiene a partir del silicato sódico en disolución, a la cual se le neutraliza con

ácido una parte importante de la alcalinidad, en cuyo momento se dice que se ha activado.

Por regla general, la sílice activada se emplea con coagulantes de aluminio y la dosis expresada en mg/l, se determina en función de la del coagulante (de un 7 a un 11% de la dosis de sulfato de alúmina); pero es de anotar que en exceso puede ser perjudicial para el proceso de floculación. La sílice activada, en función de las condiciones de empleo, puede proporcionar considerables ventajas, entre las que destacan:

- Aumento de la velocidad de coagulación.
- Empleo de dosis más reducidas de coagulante.
- Márgenes de pH más amplios para una coagulación óptima.
- Formación de flóculos mayores, más densos y más coherentes.
- Permite una coagulación más eficaz a bajas temperaturas.
- Mejor eliminación del color.
- Mejor floculación de las aguas de elevada turbiedad.
- Mejores características de filtración.

**Frente a estas ventajas la sílice activada puede presentar también algunos inconvenientes, tales como:**

- La preparación de la sílice activada requiere un minucioso control para evitar que gelifique.
- Si no se ejerce un control adecuado pueden producirse flóculos muy grandes, pero la turbiedad residual puede ser elevada.
- La sílice activada puede ser ineficaz para ciertos tipos de agua.
- La sobredosificación puede inhibir la floculación.

Los agentes adsorbentes - ponderantes tienen una misión que puede ser:

- La de dar mayor peso a los flóculos ligeros, caso de la adición de arcillas bentoníticas que al añadirse a los flóculos formados, mejoran su densidad (función ponderante). También se usa en este sentido el carbonato cálcico pulverizado (caliza).
- La de adsorber partículas coloidales, generando un preflóculo, que rápidamente aumenta de volumen, caso del carbón activo o de la tierra de diatomeas (función adsorbente).

**Los polielectrolitos orgánicos tales como el almidón**, compuestos de celulosa, materiales proteínicos, gomas de polisacáridos y los alginatos, **son eficaces coadyuvantes de floculación**; sus características principales son la de ser bicoloides, cargados eléctricamente y tener una larga cadena molecular de átomos de carbono y gran masa molar. Son en su mayor parte de tipo no iónico y su empleo es en ciertos casos ventajoso pues pese a ser necesarios en dosis más elevadas **generalmente tienen un costo inferior al uso de los polielectrolitos sintéticos**.

Sin embargo una importante ventaja de los polielectrolitos sintéticos, consiste en su facilidad de fabricación en la planta a partir de una larga serie de monómeros disponibles; de allí que estos productos puedan estructurarse en función de unos requisitos concretos, sus propiedades son análogas a las de los bicoloides naturales y pueden clasificarse según el tipo de carga eléctrica en aniónicos, catiónicos y no iónicos.

Los polielectrolitos aumentan considerablemente el tamaño de los flóculos, pero de forma similar a lo que ocurre con la sílice, existe una dosis óptima, que sobrepasada se produce una floculación deficiente. En el caso de los polielectrolitos aniónicos la dosis óptima aumenta linealmente con la dosificación de sulfato de alúmina, pero no se modifica el margen de pH óptimo para la coagulación y por esto es que su acción se dice independiente de la acidez o alcalinidad, dureza y turbiedad.

Los polielectrolitos catiónicos cuando se utilizan conjuntamente con coagulantes metálicos tienen las siguientes ventajas: reducción en la dosificación de coagulante, atenuación de la interferencia que sobre la coagulación tienen ciertas sustancias y capacidad de flocular organismos vivos, tales como algas y bacterias.

Los polielectrolitos tienen un importante campo de empleo cuando la floculación se dificulta como consecuencia de cambios de calidad del agua o de la influencia de las temperaturas bajas. Tienen, también, destacadas ventajas con respecto a la sílice activada, entre las que pueden citarse:

- Facilidad de preparación.
- Facilidad de almacenamiento.
- Dosificación menor.

Sin embargo, entre otros inconvenientes merece destacarse el de su posible toxicidad, por lo que es indispensable tener en cuenta la legislación y las sustancias en él autorizadas.

Para la elección del polielectrolito a utilizar se efectuarán siempre ensayos de laboratorio, asimismo se determinará el tiempo que debe transcurrir entre la introducción del coagulante y del floculante. En el caso de descarbonatación con cal, la elección debe orientarse hacia un floculante no iónico o aniónico. Para clarificación la elección debe hacerse entre un floculante no iónico, ligeramente aniónico o catiónico. Si el pH está próximo al de equilibrio, y en presencia de gran cantidad de materia orgánica, se ensayará, en primer lugar, un floculante catiónico.

La floculación tiene lugar en un aparato especialmente diseñado para este fin (tanque de mezclado) o en el interior del decantador propiamente dicho. La elección del tipo de floculador está en relación con la elección del procedimiento de separación utilizado en la continuación del tratamiento, esta elección debe ser

especialmente cuidada cuando la floculación es de tipo difuso y va seguida de decantación estática o flotación.

El floculador es un Tanque provisto de sistemas de agitación que giran con relativa lentitud para no romper por cizalladura los flóculos ya formados, al mismo tiempo, la velocidad de agitación debe ser suficiente para conseguir el engrosamiento progresivo del floculó e impedir que se formen sedimentos en el fondo. Los sistemas de agitación utilizados pueden estar constituidos por hélices especialmente estudiadas o por un conjunto de palas fijadas sobre un eje giratorio vertical u horizontal, en donde es conveniente disponer de mecanismos que permitan adecuar la velocidad de agitación del floculador a la calidad del agua.

El volumen del tanque de floculación es el necesario para que se consiga el tiempo de floculación determinado. Por último, es importante que no se rompa el flóculo al pasar del floculador a la zona de formado al vacío.

## **CAPITULO 2:\_ LA FABRICACIÓN DE TABLAS REFRACTARIAS EN GRUPO INDUSTRIAL MORGAN PLANTA PACHUCA**

### **2.1 Antecedentes de la empresa.**

#### **The Morgan Crucible Co., plc, Perfil Histórico.**

En 1872, William Vaughan Morgan adquirió un negocio comercial y farmacéutico en Londres, el cual manejó, junto con sus hermanos, bajo el nombre de Morgan & Rees. El año siguiente los hermanos Morgan obtuvieron de una empresa americana, una licencia técnica para la fabricación de crisoles, seguida de la adquisición de su primera fábrica en Battersea, Londres, la cual funcionó bajo el nombre de The Patent Plumbago Crucible Company.

Para 1885, el nombre de la compañía había cambiado a su actual nombre: The Morgan Crucible Company, convirtiéndose en una Sociedad Anónima en 1890.

Para fines del siglo XIX, la Compañía había expandido su línea de productos hasta incluir un amplio rango de productos refractarios.

Morgan produjo su primera escobilla eléctrica de grafito (carbón) a principios de 1903, seguida de un rápido crecimiento en las aplicaciones mecánicas de este producto. En la actualidad, Morgan es el productor mundial más fuerte de escobillas de carbón para usos eléctricos.

El origen de la División de Cerámicas Técnicas de Morgan se remonta a la fundación de la Clay Ring Company, en 1907, destinada a suministrar componentes para iluminación a gas. El crecimiento de esta división ha sido verdaderamente significativo durante los últimos veinte años, llegando a colocarse como uno de los principales proveedores de cerámicas técnicas en el mundo.

Durante la década de los 60's, Morgan reconoció el potencial del campo de las formulaciones químicas tecnológicamente sofisticadas, lo cual resultó en la formación de la División de Materiales Especiales, con la que Morgan está ahora sólidamente establecida en electro – óptica, instrumentación nuclear y alta tecnología de semiconductores.

En la actualidad, Morgan continúa siendo tan innovadora como siempre y firmemente enfocada a satisfacer plenamente las necesidades de sus clientes, motivando a sus empleados a maximizar su propio potencial y el del Grupo.

### **2.1.1 Constitución de Morgan en México.**

Grupo Industrial Morgan, S.A. de C.V. es una de las más de 150 empresas que la corporación inglesa The Morgan Crucible Co. Plc. Tiene establecidas en 43 países. Grupo Industrial Morgan, S.A. de C.V. es creada en el mes de octubre de 1958, estableciéndose en la zona de Naucalpan, Estado de México. Actualmente casi la totalidad de su Capital Social está en poder de The Morgan Crucible Co. Plc.

En sus inicios únicamente contaba con una planta productiva dedicada a la fabricación de escobillas de carbón. Complementaba su operación por medio de la importación de crisoles, usados en la industria de fundición, y materiales refractarios para altas temperaturas.

A principios de la década de los 80`s y debido a restricciones a las importaciones que venía realizando y a una necesidad de expansión de su propia planta, la administración de la empresa después de estudiar varias alternativas, decidió mover sus operaciones al Parque Industrial de Atlacomulco, Estado de México.

Se adquirieron tres naves industriales: una para continuar con las operaciones de producción de escobillas de carbón, la segunda y tercera para iniciar la producción

de fibra cerámica y crisoles. Las operaciones en estas nuevas instalaciones se iniciaron formalmente en 1987.

En 1998 y con el propósito de expandir sus operaciones, se adquirió una empresa dedicada a la fabricación y venta de ladrillos horneados aislantes para altas temperaturas, en la ciudad de Pachuca, Hgo. Esta adquisición viene a formar parte de la División de Fibra.

Durante este año, una precipitación pluvial provocó que el Río Lerma, se desbordara e inundara las instalaciones de la división de Fibra, dejando inservible casi la totalidad de la maquinaria y equipo. Ante esa situación, las operaciones de esta división se mudaron hacia las instalaciones en Pachuca, Hgo, la cual se dedica a la producción, distribución y venta de los siguientes productos:

**División de Crisoles:** Se comercializan una gran variedad de crisoles de carburo de silicio y grafito para la industria de la fundición, principalmente de metales no ferrosos, como el aluminio, cobre y bronce, entre otros.

- Crisoles de grafito / arcilla.
- Crisoles de carburo de silicio / grafito.

**División de Fibra:** Ofrece una gran variedad de productos de materiales con tecnologías avanzadas, resistentes a las altas temperaturas y que tiene como objetivo ser el principal fabricante de productos para solucionar problemas de las industrias relacionadas con el calor intensivo.

- Colchoneta aislante de fibra cerámica: KAOWOOL, con una gran variedad de tamaños y estilos para diferentes rangos de temperatura.

- Tablas Refractarias aislante de fibra cerámica, Formado al Vacío: Tablas rígidos aislantes para alta temperatura en diferentes rangos en diversos tamaños y estilos.
- Productos Textiles a base de fibra cerámica: como son cordones, cintas, fundas, combinaciones, etc. para diversas aplicaciones como sellos de puertas, para alta temperatura también.

El principal producto que se fabrica es la fibra cerámica KAOWOOL, la cual se caracteriza por su baja conductividad térmica, excelente resistencia al choque térmico y baja capacidad de almacenamiento de calor. Esta colchoneta se produce a partir de la fusión, por medio de un horno de arco eléctrico de un caolín, una arcilla refractaria natural a base de sílica y alúmina, o de una mezcla de estos componentes. El material fundido se descarga por la parte inferior del horno y se le aplica una corriente de aire comprimido, formándose fibras cerámicas amorfas.

Las Fibras Cerámicas, se recolectan en una cámara de acero a la cual se le extrae aire por la parte inferior, formándose capas de fibra en forma de colchoneta, la colchoneta formada pasa por una etapa de afelpado, lográndose aumentar la resistencia a la tensión al entrelazar o entretrejer las capas de fibras por medio de agujas de forma especial, posteriormente pasa por unas cuchillas que le dan las dimensiones finales a la colchoneta para posteriormente pesarla, empaquetarla y etiquetarla.

El uso de la Fibra se ha extendido día a día, en la actualidad las aplicaciones son ilimitadas.

**División de Concretos:** Cementos, Rigidizantes, moldeables, etc. subproductos auxiliares en al utilización de fibra Cerámica. Concretos refractarios densos y livianos, Ultra resistentes, bajo cemento, plásticos, etc. para cualquier necesidad de este tipo de productos: colados, apizonables, proyectados, etc.

- Concretos densos (pesados).
- Concretos aislantes (ligeros).

La experiencia ha demostrado que los resultados obtenidos al conocer más las necesidades de los clientes, permite aumentar la rentabilidad operativa, y que los mejores resultados se logran cuando las Empresas se organizan en forma Integral y todo el personal se encamina en la misma dirección.

### **2.1.2 Situación Actual de la Empresa**

**Grupo Industrial Morgan, S.A. de C.V.**, es una de las más de ciento cincuenta empresas que la corporación inglesa **The Morgan Crucible Co. plc**, tiene establecidas en cuarenta países, consta con 180 trabajadores entre personal operativo y administrativo y se encuentra ubicada en Cerrada la Paz No. 101, Fraccionamiento Industrial La Paz, C.P. 42092, Pachuca Hgo.

#### **POLÍTICA DE CALIDAD.**

***Grupo Industrial Morgan, S.A. de C.V. cree que la calidad está fundada en la búsqueda incansable de la excelencia.***

Nuestro objetivo es, no solo cumplir, sino exceder los requerimientos de nuestros clientes a través de la mejora continua en productividad, costos, tiempos de entrega y servicios; así como mantener nuestra posición como líder mundial en la fabricación de escobillas, crisoles y fibras cerámicas.

La satisfacción de nuestros clientes a través de gente dedicada a la excelencia.

#### **MISIÓN.**

Mantener nuestro liderazgo tecnológico con materiales de calidad para satisfacer las necesidades y expectativas de nuestros clientes, a través del personal más calificado para un mejor servicio, proporcionando productos libres de defectos y cumpliendo con éxito nuestra responsabilidad social para con nuestros clientes, accionistas y empleados.

## **VISIÓN**

Alcanzar la excelencia en la calidad de nuestros productos y los servicios ofrecidos a nuestros clientes, buscando siempre su total satisfacción; mantener entre nuestra gente un espíritu de participación y responsabilidad en los logros la empresa; conservar la confianza de los inversionistas a través del logro de los objetivos y seguimiento de las políticas del Grupo.

## **NUESTROS VALORES**

### **La Gente:**

Valorarla, confiar en ella y hacerla partícipe y responsable del éxito de Grupo Industrial Morgan, S.A. de C.V.

### **Clientes:**

Entender y satisfacer las necesidades de nuestros clientes, mejor que nadie y ofrecerles productos y servicios que les brinden el mejor valor agregado.

### **Perseverancia:**

Tener una disciplina para alcanzar el éxito.

### **Higiene y Seguridad:**

Desarrollar programas para la prevención de riesgos potenciales que afecten el medio ambiente, la salud y la seguridad de los trabajadores, de las instituciones y de la comunidad que nos rodea.

A continuación se hará una breve descripción de las principales actividades que realiza cada departamento ver también Organigrama: Figura 2.1.

#### **1.- Director General.**

Esta encargada de coordinar todos los departamentos que compone la planta y además, fija los objetivos de producción, verifica que los objetivos se cumplan, publica resultados mensuales de producción.

Planifica, dirige y coordina el funcionamiento general de la empresa con la asistencia de los demás directores de Departamento, o al menos con dos de ellos.

#### 2.- Director Comercial.

Elabora el presupuesto de ventas anual, elabora y valora los objetivos comerciales, elabora los presupuestos de gastos del departamento comercial, define la política de precios y condiciones comerciales, Gestiona la venta de grandes cuentas, Realiza las visitas de acompañamiento con los vendedores, Supervisa las gestiones comerciales, Supervisa los gastos comerciales, en especial, los de ventas.

#### 3.- Embarques.

Se encarga de dar salida a todos los productos que están almacenados para sus distintos puntos de origen. Las principales funciones de embarque se plasman las condiciones de todo contrato de transporte marítimo de mercancías. Cumple una triple función:

1ª Recibo de las mercancías embarcadas y certificado del estado en que éstas se encuentran.

2ª Prueba del contrato de transporte, cuyas condiciones suelen figurar al dorso.

3ª Documento acreditativo de la propiedad de la mercancía transportada, negociable y admitida por los bancos en los créditos documentarios como representación de las mercancías.

#### 4.- Contralor General:

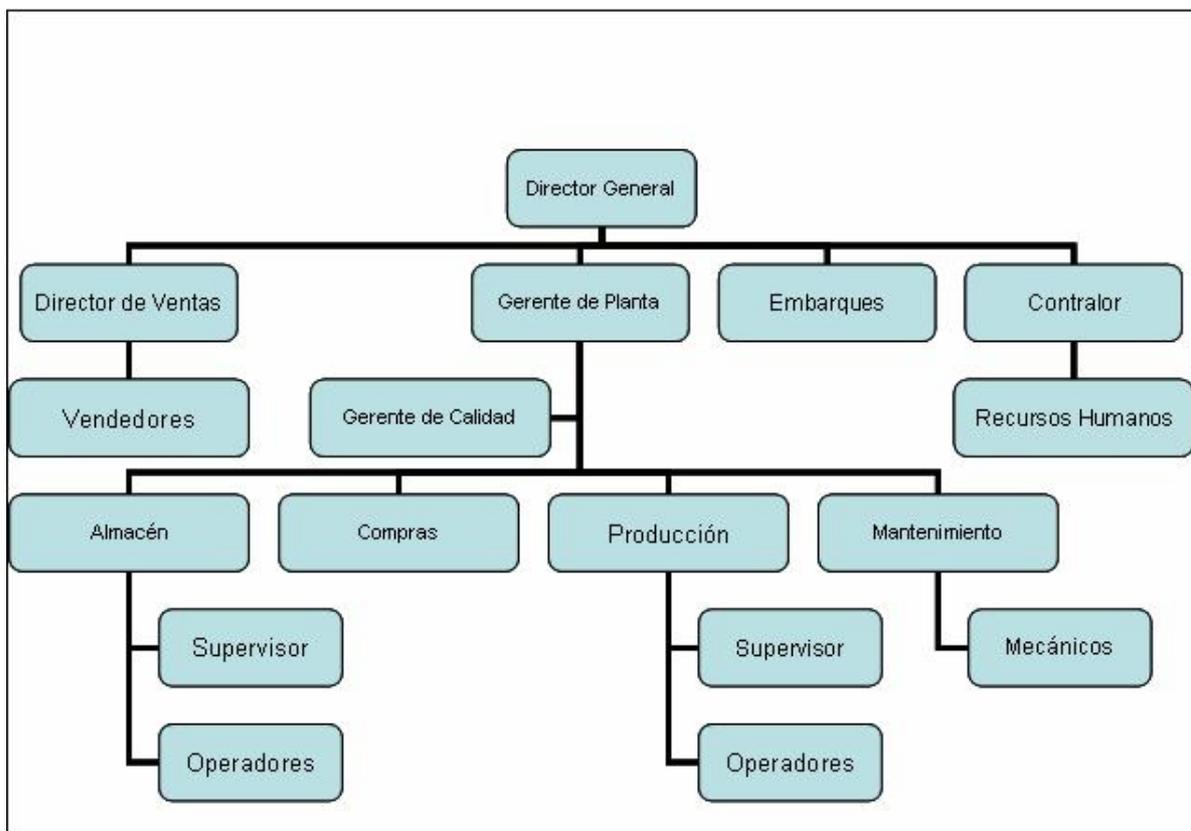
Está constituida por un conjunto de actividades tendientes a lograr los objetivos de custodiar e invertir los valores y recursos de la empresa, a mantener los sistemas de información adecuados para el control de activos y operaciones de la empresa y proteger el capital invertido.

La función financiera resulta esencial para el éxito de toda negociación fabril: hay que invertir en materia prima la cantidad óptima de dinero, obtener los préstamos

bancarios, proveerse de suficiente capital fijo (terrenos, plantas, maquinaria y equipo), conceder créditos a clientes y mantener las operaciones de la empresa a un nivel rentable con los fondos y recursos disponibles. Es decir, la liquidez y el equilibrio financiero son necesarios para sostener a la empresa.

#### 5.- Gerente de Planta.

Es el máximo responsable de la parte de la empresa que desarrolla la actividad que le es propia, suele tener a su cargo, por lo general, la mayor parte de la plantilla e instalaciones. Adema es la parte medular de la empresa.



**Figura 2.1 Organigrama de la Empresa.**

## **2.2 Sistema actual de fabricación de las tablas refractarias: línea de formado al vacío.**

La línea de Formado al Vacío, es el área donde se lleva acabo el proceso de elaboración de Tablas Refractarias.

De manera mas especifica, dentro de la línea de Formado al Vacío se involucran las siguientes actividades.

### **Preparación de Mezclas.**

Para esta actividad se utilizan los siguientes materiales, según el tipo de Tabla Refractaria.

Agua (común y corriente).

Almidón de maíz o papa.

Silica coloidal.

Sosa Cáustica (en caso de ser necesario).

### **Proceso de Formado.**

En esta área se forman las Tablas Refractarias, y puede ser de manera manual o automática.

Consiste en sumergir un molde, manteniendo tiempo y succión estables para obtener el espesor adecuado. Posteriormente se levanta la pieza por medio de vacío y purga de dos planchas una inferior (el del molde) y una superior.

### **Secado de Tablas.**

El proceso de secado es mismo para cualquier tipo de tabla refractaria, solo varía el tiempo de secado.

- 1.- El secado se lleva acabo en un horno de gas.
- 2.- Cada horno de secado se carga con 4 carros (2 de cada lado) y se aseguran las puertas de éste.

### **Rectificación.**

El proceso es el mismo para cualquier tipo de Tabla Refractario.

Se utiliza una maquina para reducir el espesor de las tablas, ya que éstas vienen del área de formado con un espesor mayor al necesario. Otro fin de esta parte es darles un mejor acabado superficial a las tablas.

### **Cortes laterales.**

Se utiliza una sierra para cortar las tablas y darles las dimensiones finales. Esto se hace midiendo en la mesa de trabajo y ajustando, mediante una placa metálica y unos tornillos las dimensiones deseadas.

Las tablas se pasan por la sierra a lo largo de sus 4 lados.

### **Empaque.**

Mientras se empaican las tablas se checa cada una para ver que no tengan los siguientes defectos.

Longitud: ancho y/o espesor, fuera de tolerancia.

Tabla blanda: no debe rendirse a la presión de pulgar.

Tabla débil: no debe agrietarse o romperse cuando se maneje.

Hoyos, grietas, abolladuras, cortes y otros defectos visuales.

Esquinas rotas.

Descuadradas.

Espesor irregular.

Código de color inapropiado (tablas que se hayan quemado).

### **2.2.1 Diagrama de flujo para producción de tablas refractarias**

De manera mas especifica, dentro de la línea de Formado al Vacío se involucran las siguientes actividades como se muestra en la siguiente Figura 2.2.

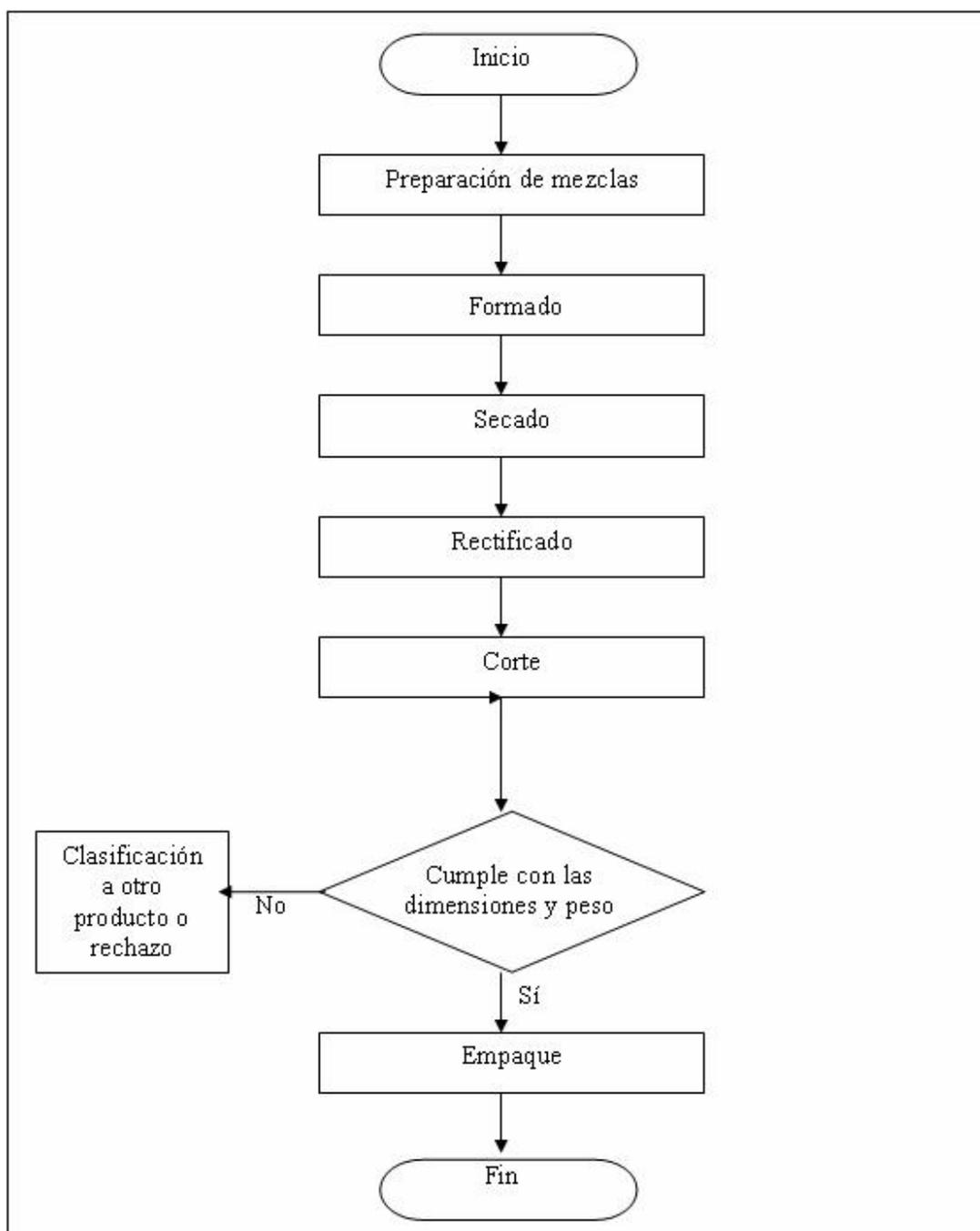


Figura 2. 2.- Diagrama de flujo para producción de tablas refractarias



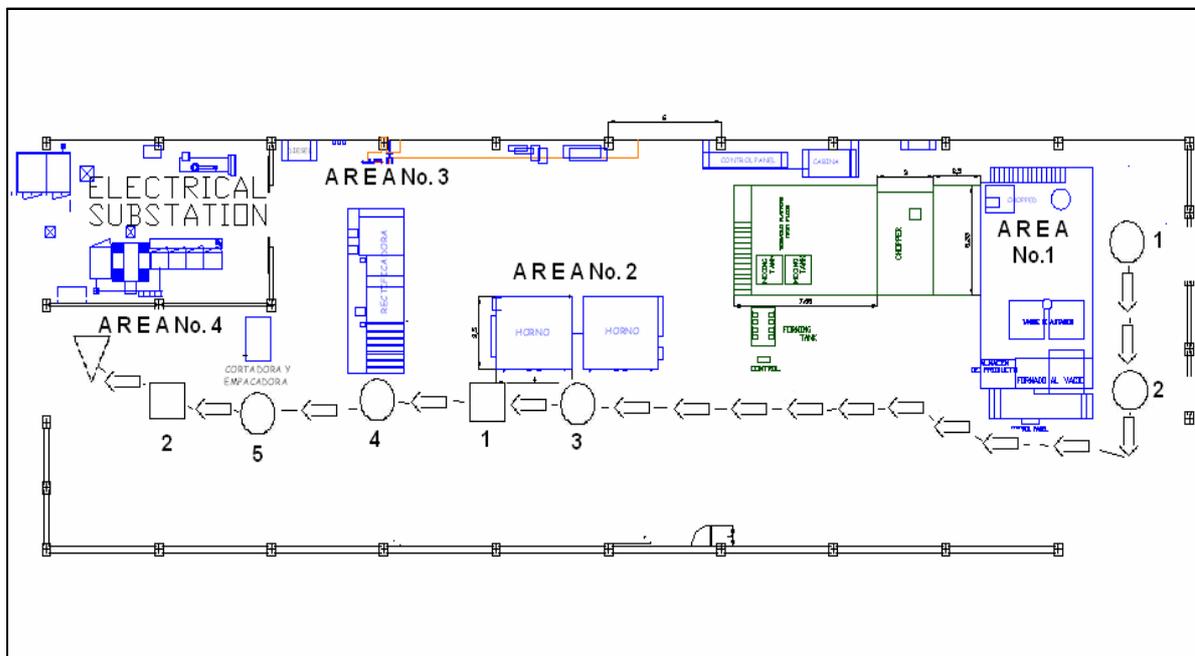


Figura 2.2.3.- Diagrama de Recorrido de una Tabla Refractaria.

### 2.3.- Problemática en la fabricación de tablas refractarias

En la línea de Formado al Vacío se requiere determinar cual es el **porcentaje de desperdicio de material** en el producto terminado (de Tablas Refractarias), para poder solucionar el problema o minimizarlo. Determinar cual es la causa de que no se este llevando acabo correctamente la floculación.

Verificar la preparación de mezclas, así como los que se estén agregando en porcentajes adecuados los ingredientes, en relación a la formulación general, y el orden de agregarlos.

Proponer soluciones y someterlas al análisis de la gerencia, del Grupo Industrial Morgan.

## **CAPÍTULO 3:\_ PROPUESTA DE MEJORA EN LA FABRICACIÓN DE TABLAS REFRACTARIAS.**

### **3.1 Introducción.**

La tabla Refractaria es un material refractario ligero producido a base de fibras silico-aluminosas para aplicaciones alta temperatura de hasta 1538 °C (2800 °F).

La tabla Refractaria se caracteriza por ser un excelente aislante diseñado especialmente para soportar el flujo de gases a alta velocidad. Es ideal para chimeneas de calentadores, en ductos y hornos, debido a su baja conductividad térmica y a su bajo almacenaje de calor. Permitiendo con esto menores tiempos en ciclos de quemado y un acceso rápido para mantenimientos.

Para la determinar el porcentaje de material perdido en el producto terminado de la Tablas Refractarias se tomaron como muestra 2 tipos de Tablas refractarias:

La Tabla Refractaria **M**: Agua, Fibra, Sílica Coloidal, Almidón.

La Tabla Refractaria **HS**: Agua, Almidón, Sílica Coloidal, Wollastonite, fibra.

Para verificar el porcentaje de preparación de mezcla se comparó el de la fórmula original con el que se estaba realizando durante el análisis. Para lo cual se hizo necesario pesar cada uno de los ingredientes.

Para la determinación de material perdido en el producto terminado de Tablas Refractarias se determinó: el peso de la charola y tabla en húmedo, peso de charolas, peso de la tabla en húmedo, peso después de secado, humedad, peso después de rectificado, peso después de corte, volumen y densidad.

### 3.2 Sistema de fabricación de tablas refractarias propuesto.

De manera mas especifica, dentro de la línea de Formado al Vacío se involucran las siguientes actividades, ver también figura 3.1, 3.2, 3.3.

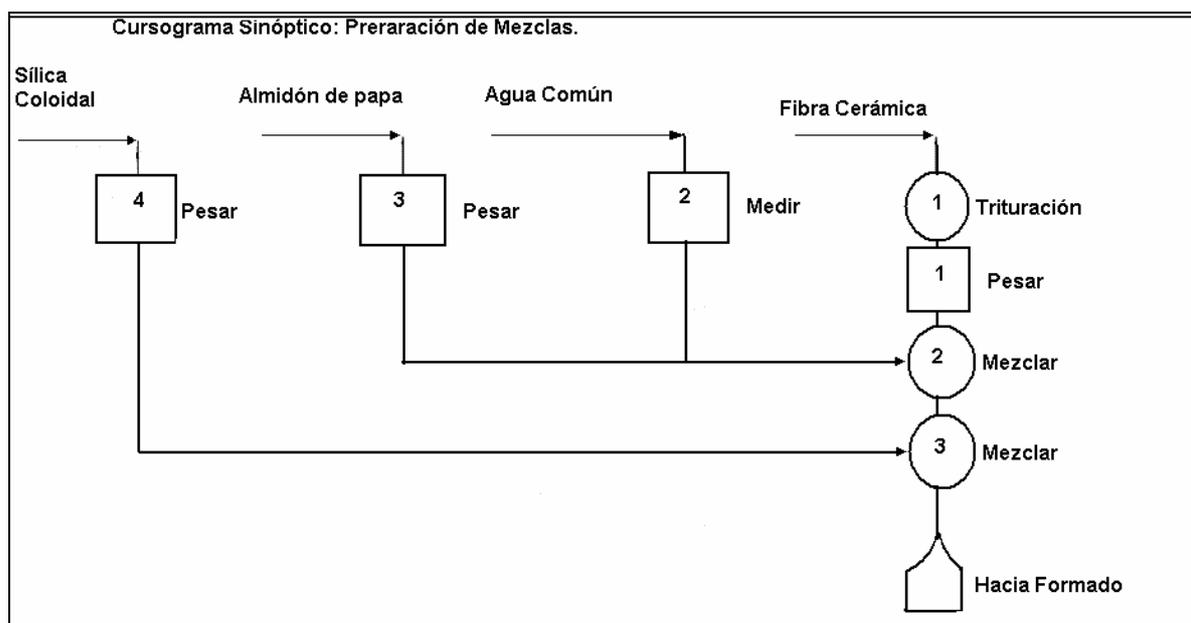


Figura 3.1 Cursograma sinóptico.

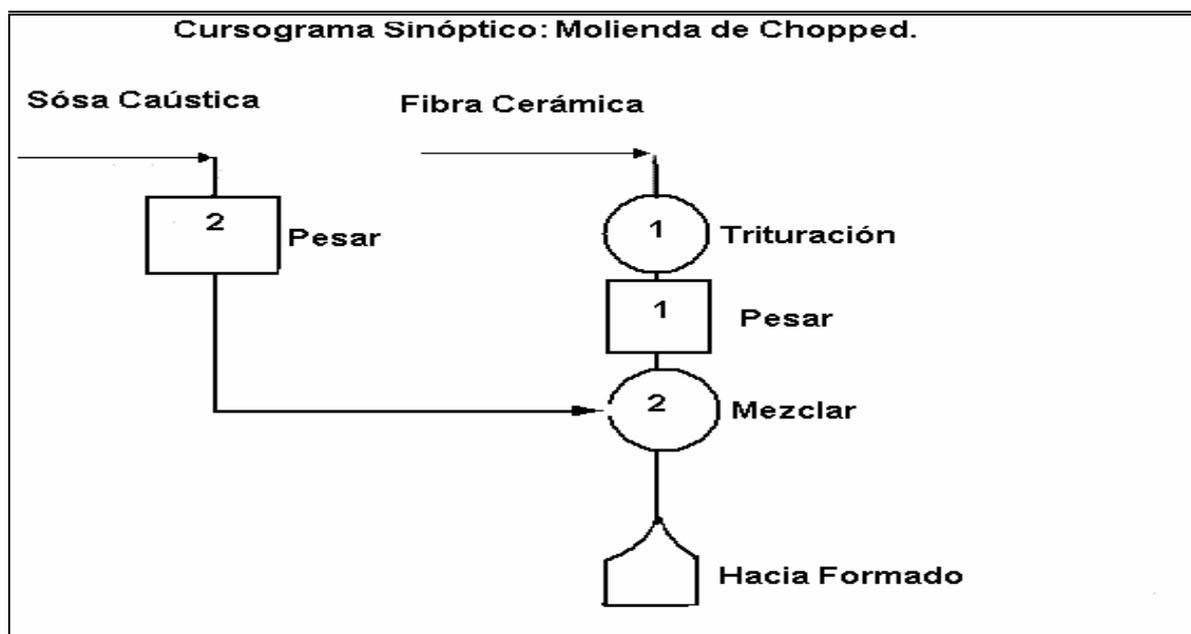
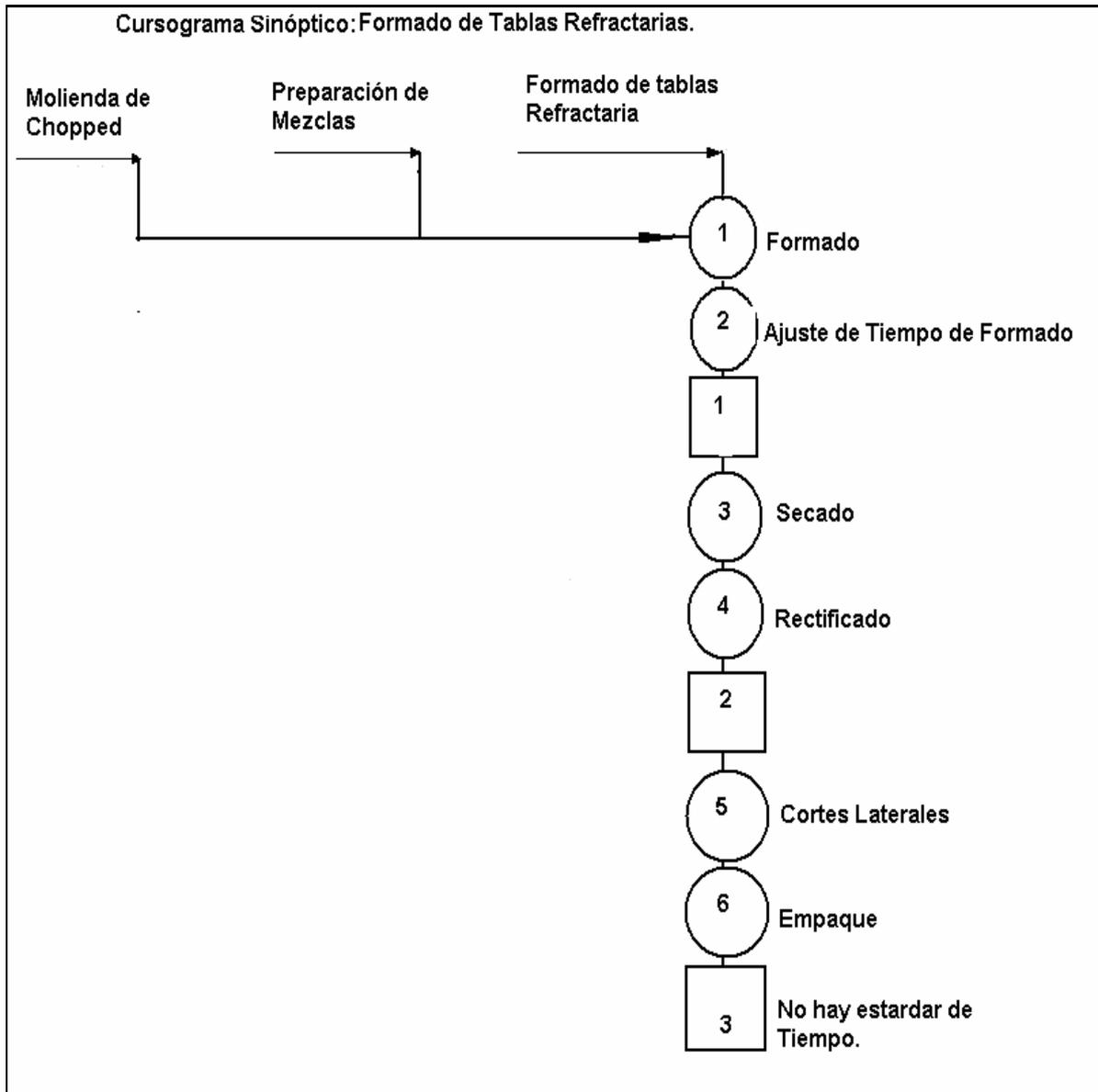


Figura 3.2 Cursograma sinóptico.



**Figura 3.3 Cursograma sinóptico.**

**Molienda de Chopped.**

En esta área, los rollos de fibra cerámica son triturados por medio de un molino, que se encuentra en la misma zona de las tinas de preparación de la mezcla. La fibra triturada es recibida en bolsas de plástico que a su vez son pesadas en una báscula. Cada bolsa pesa 23 Kg.

### **Preparación de almidón.**

En esta área se prepara el almidón que se utilizará en todo el turno. Para una mezcla, se vierten 2.5 kg de almidón por 50 lt de agua.

Para 12 mezclas, se llena el tanque con 600 lt de agua aproximadamente; se enciende el agitador y posteriormente se le agregan 30.0 kg de almidón. Se deja agitando hasta que no haya grumos.

### **Preparación de Mezclas.**

Para esta actividad se utilizan los siguientes materiales, según el tipo de Tabla Refractaria.

Agua (común y corriente).

Almidón de maíz o papa.

Silica coloidal.

Sosa Cáustica (en caso de ser necesario).

### **Proceso de Formado.**

En esta área se forman las Tablas Refractarias, y puede ser de manera manual o automática.

Consiste en sumergir un molde, manteniendo tiempo y succión estables para obtener el espesor adecuado. Posteriormente se levanta la pieza por medio de vacío y purga de dos planchas una inferior (el del molde) y una superior.

### **Secado de Tablas.**

El proceso de secado es mismo para cualquier tipo de tabla refractaria, solo varía el tiempo de secado.

- 1.- El secado se lleva acabo en un horno de gas.
- 2.- Cada horno de secado se carga con 4 carros (2 de cada lado) y se aseguran las puertas de éste.

### **Rectificación.**

El proceso es el mismo para cualquier tipo de Tabla Refractario.

Se utiliza una maquina para reducir el espesor de las tablas, ya que éstas vienen del área de formado con un espesor mayor al necesario. Otro fin de esta parte es darles un mejor acabado superficial a las tablas.

### **Cortes laterales.**

Se utiliza una sierra para cortar las tablas y darles las dimensiones finales. Esto se hace midiendo en la mesa de trabajo y ajustando, mediante una placa metálica y unos tornillos las dimensiones deseadas.

Las tablas se pasan por la sierra a lo largo de sus 4 lados.

### **Empaque.**

Mientras se empaacan las tablas se checa cada una para ver que no tengan los siguientes defectos.

Longitud: ancho y/o espesor, fuera de tolerancia.

Tabla blanda: no debe rendirse a la presión de pulgar.

Tabla débil: no debe agrietarse o romperse cuando se maneje.

Hoyos, grietas, abolladuras, cortes y otros defectos visuales.

Esquinas rotas.

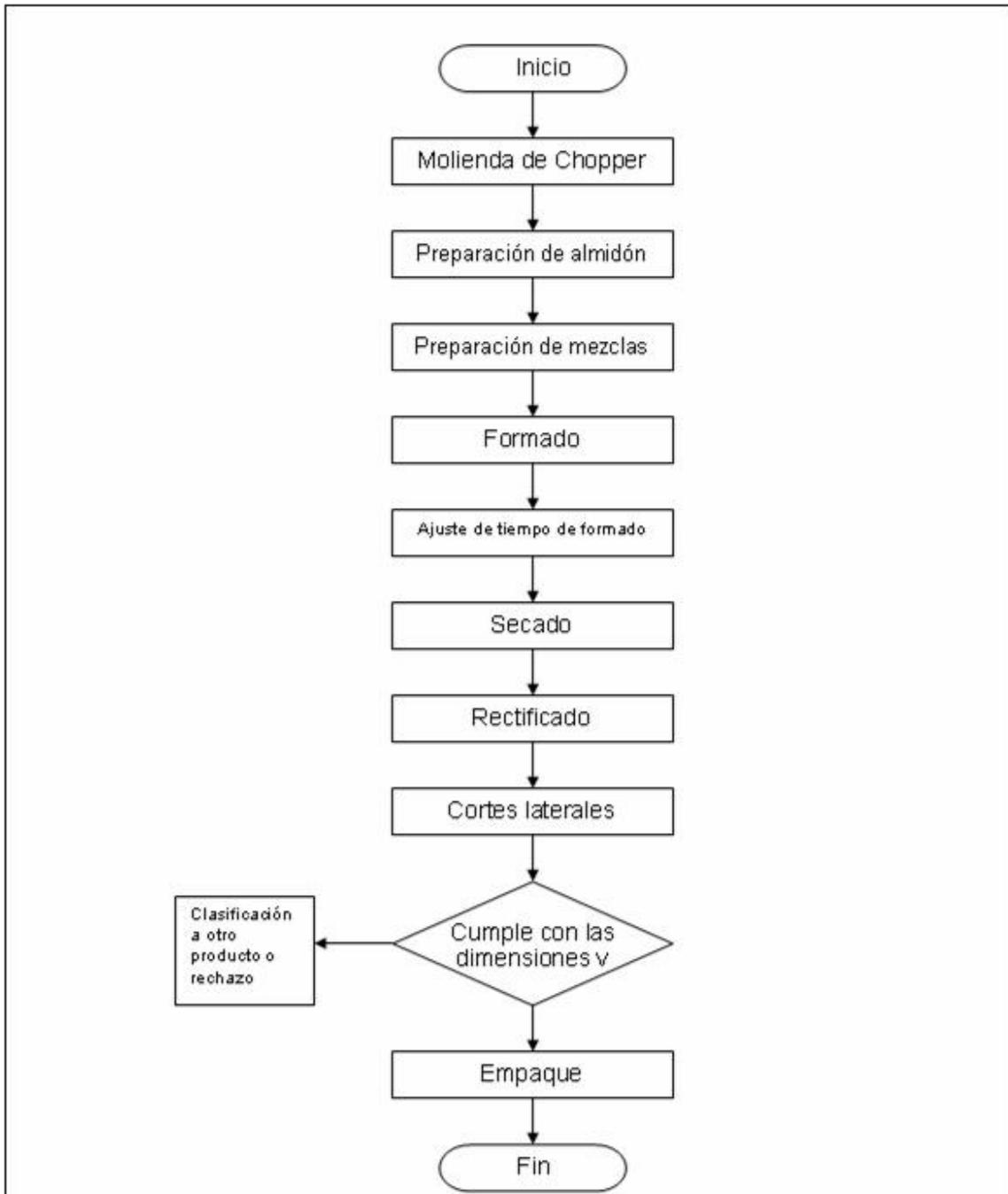
Descuadradas.

Espesor irregular.

Código de color inapropiado (tablas que se hayan quemado).

### **3.2.1.- Diagrama de flujo Propuesto**

Como una propuesta mas especifica, dentro de la línea de Formado al Vacío se involucran las siguientes actividades en un diagrama de flujo, ver figura 3.4



**Figura 3.4 Diagrama de flujo Propuesto**

**Del análisis anterior tenemos lo siguiente solución.**

**1.- Controlar el porcentaje de materia prima de Mezcla.**

Para lo que se requiere se utilice una báscula, para pesar el material y tener un porcentaje adecuado, de acuerdo a la fórmula. Ya que en el estudio de desperdicio, una de las mayores porciones era debido al exceso de fibra, sílice, etc.

Debido al exceso de fibra causa que las tablas salgan huecas y rasgadas, provocando que algunas sean rechazadas. Al igual que afecta que la floculación no se lleve correctamente.

**2.- Manejar un orden de agregar los materiales al mezclador.**

El mezclado es una operación importante, para formar un producto uniforme. En el caso de sólidos se requiere mucha más energía para mezclar.

En el mezclado de sólidos y polvos el producto esta con frecuencia formado por dos o mas fases fácilmente identificables, cada una de las cuales contiene partículas individuales de tamaño relativamente grande. Las muestras pequeñas, tomadas al azar, de un producto de este tipo “bien mezclado” difieren notablemente en su composición; de hecho, las muestras de la mezcla tienen que ser mayores que un cierto tamaño crítico (varias veces el tamaño de la partícula individual más grande que se encuentra en la mezcla) para que los resultados sean significativos.

El grado de la mezcla es más difícil de definir y evaluar para sólidos. En la práctica la utilidad de una mezcladora se mide por las propiedades del producto mezclado que produce (aquella mezcla que cumple los requisitos pedidos y que posee las propiedades necesarias en cada caso, tales como uniformidad visual, resistencia, transferencia de calor, u otras características dadas).

Las propiedades de los materiales varían enormemente de un caso a otro. Aun tratándose de un mismo material, sus propiedades pueden variar ampliamente a lo largo de la operación de mezclado.

El mezclado se lleva a cabo en un tanque agitador (figura 3.5).

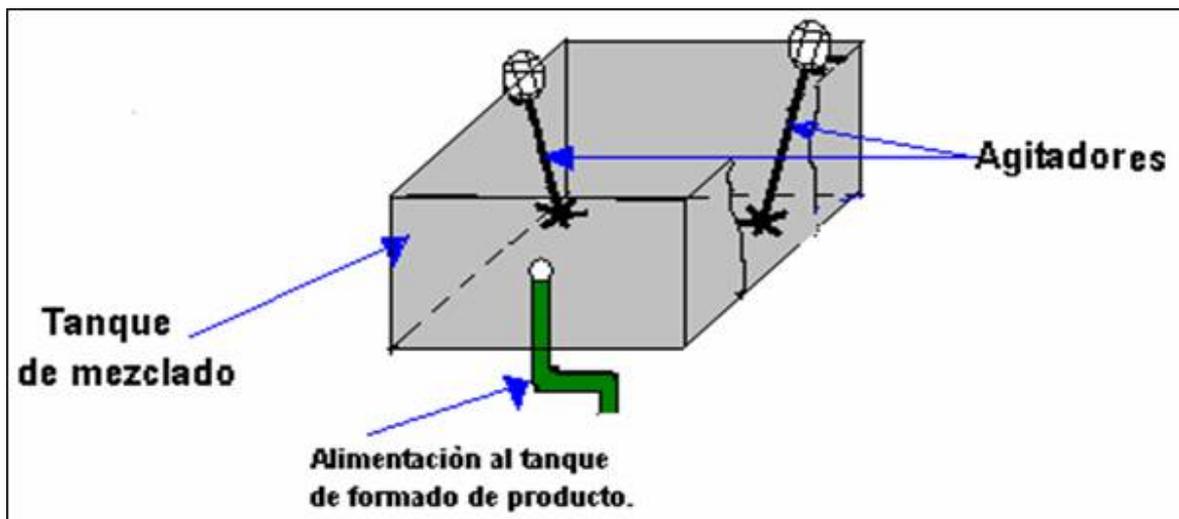


Figura 3.5.- Tanque de Mezclado.

Para promover que la floculación se lleve a cabo correctamente es necesario agregar primero la fibra, para que se desmenuce lo más posible, posteriormente los demás componentes (según el tipo de tabla), respetando la fórmula, los tiempos y el orden.

**Alternativas para minimizar el desperdicio de materia prima en el producto terminado.**

Para esta situación se tienen dos alternativas, que disminuyen el desperdicio, el cuál se lleva a cabo en el área de formado de la Tabla.

En la tabla 3.1 y 3.2 se muestran los tiempos que se llevan a cabo las actividades Formado y Secado.

**TABLA 3.1.- TIEMPO DE FORMADO DE TABLAS.**

	FORMADO	ACABADO		TABLA M	TABLA HS
MEDIDA DE LA TABLA	3/4x25x37"	1/2x 24x36"	TIEMPO DE FORMADO	25 A 35 SEGUNDOS	45 A 55 SEGUNDOS
MEDIDA DE LA TABLA	11/4x25x37"	1x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	35 A 45 SEGUNDOS	45 A 55 SEGUNDOS
MEDIDA DE LA TABLA	13/4x25x37"	11/2x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	45 A 60 SEGUNDOS	45 A 60 SEGUNDOS
MEDIDA DE LA TABLA	21/4x25x37"	2x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	90 A 120 SEGUNDOS	100 A 120 SEGUNDOS

**NOTA:** Los tiempos aquí mencionados son aproximados.

**TABLA 3.2.- TIEMPOS DE SECADO.**

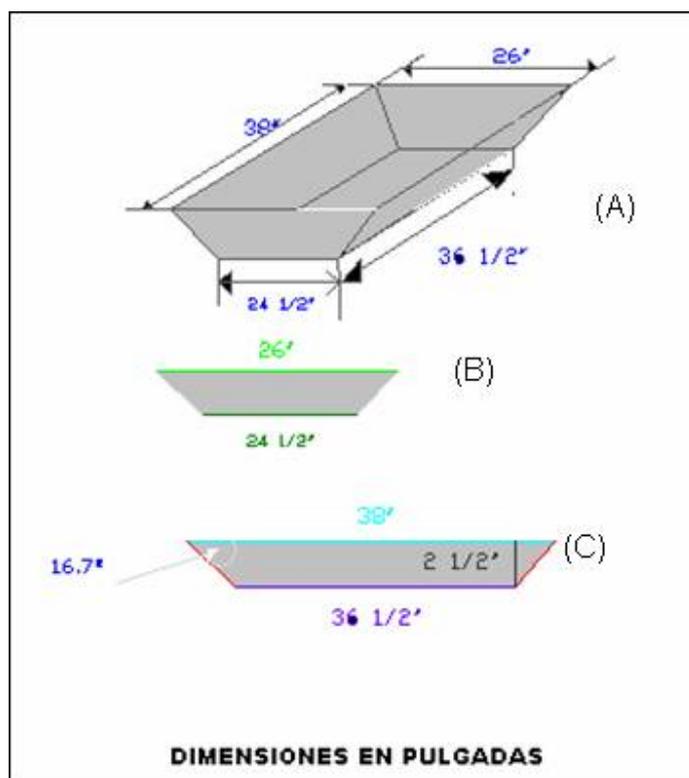
	SECADO		TABLAS M	TABLA HS
MEDIDA DE LA TABLA	1/2x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	8 A 10 HRS	10 A 12 HRS
MEDIDA DE LA TABLA	1x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	10 A 14 HRS	12 A 14 HRS
MEDIDA DE LA TABLA	11/2x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	16 A 20 HRS	14 A 16 HRS
MEDIDA DE LA TABLA	2x24x36"	TIEMPO DE FORMADO	24 A 28 HRS	26 A 32 HRS

**NOTA:** Estos tiempos están previamente estandarizados.

### 3.3 Gráficos propuestos de fabricación de tablas refractarias

#### A) Modificar las dimensiones del molde.

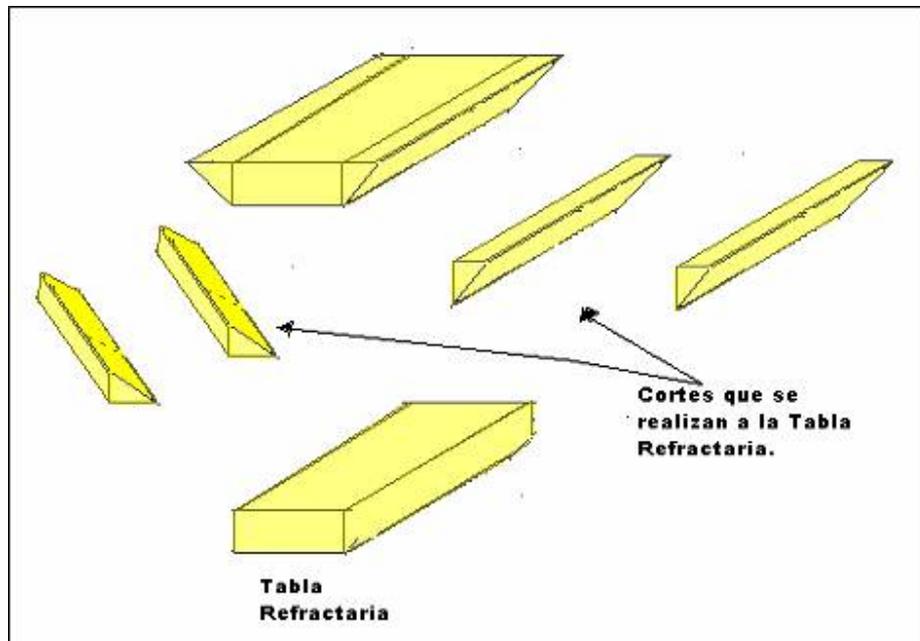
Dimensiones del molde que se utiliza actualmente figura 3.6 (A).



**Figura 3.6.- Dimensiones de las Tablas Refractarias.**

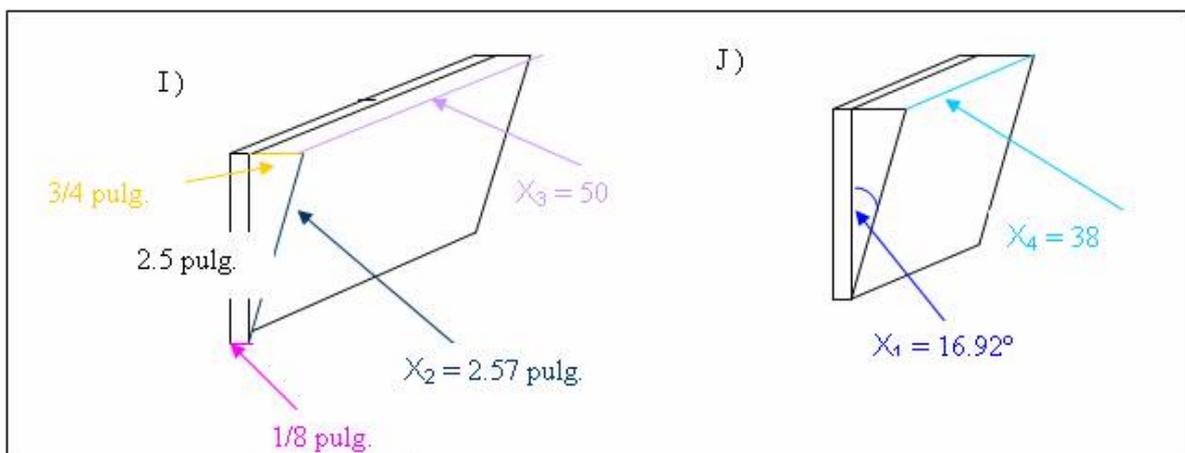
La solución que se ha tomado es reducir el ángulo de inclinación figura 3.6 (c). Por lo que para obtener el mejor resultado se realizaron varias pruebas, para obtener las dimensiones mencionadas, debido a que la inclinación permite obtener la pieza completa, sin rupturas.

No pudiéndose reducir las dimensiones inferiores, ya que reduciría el margen de corte de la pieza, figura 3.7.



**Figura 3.7.- Cortes de la Tabla Refractaria.**

Mediante la siguiente deducción obtenemos la siguiente función, lo cual nos da una solución teórica.



**Figura 3.8.- Dimensiones de los cortes de desperdicio.**

Para **determinar el volumen del desperdicio**, hacemos uso de la figura 3.8 (I) y (J) de la forma siguiente:

$$Volumen(V) = Area * Atura$$

Obtenemos el **área de la base**, el cual tiene geometría triangular y de rectángulo.

$$Area(A) = \frac{Base * Altura}{2} \text{-----}1$$

$$A_{Triangulo} = \left(\frac{3/4 * 2.5}{2}\right) pulg$$

+ -----1\*

$$A_{Rectangular} = (1/8 * 2.5) pulg$$

La longitud (altura) varia como se observa en la figura 3.8 , la cual es  $X_3=50$  pulg y  $X_4=38$  pulg, dándonos el siguiente resultado.

$V = (\text{Área del Triangulo} + \text{Área del Rectángulo})$  por su longitud I  $+$   $(\text{Área del Triangulo} + \text{Área del Rectángulo})$  por su longitud J, con valores tomados de la figura 3.8.

$$V = (A_{Triangulo} + A_{Rectangular}) * X_3 + (A_{Triangulo} + A_{Rectangular}) * X_4 \text{-----}2$$

$$V = \left(\frac{3/4 * 2.5}{2} + \frac{1}{8} * 2.5\right) * X_3 + \left(\frac{3/4 * 2.5}{2} + \frac{1}{8} * 2.5\right) * X_4 = 110 pulg^3 \text{-----}2^*$$

Pero como la solución es variar el ángulo, representado como  $X_1$ , entonces hacemos uso de la siguiente ecuación.

$$\text{Sen}X_1 = \frac{\text{Co}(3/4 \text{ pulg})}{X_2} \text{-----}3$$

$$\text{Co} = \text{Sen}X_1 * X_2 \text{-----}4$$

Donde Co (3/4 pulg) identificado en la figura 3.8 (I) es lo que varía al modificar el ángulo  $X_1$

Por lo cual se sustituye ecuación 4 en 1\* y a su vez estas en 2\*, obteniéndose:

$$V = \left[ -\left( \frac{3/4 * 2.5}{2} + \frac{1}{8} * 2.5 \right) * X_3 + \left( \frac{3/4 * 2.5}{2} + \frac{1}{8} * 2.5 \right) * X_4 - \right] * 2 \text{-----}5$$

Ya que el menor ángulo utilizado en estos moldes es de 4° tenemos las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} 4.00 &\geq X_1 \geq 16.92 \\ 2.50 &\geq X_2 \geq 2.57 \\ X_3 &= 50 \text{ pulg} \\ X_4 &= 38 \text{ pulg} \end{aligned}$$

Si variamos los valores de la ecuación 5 tomando en cuenta las restricciones anteriores obtendremos valores que nos permitan escoger el que mas nos convenga.

Para los valores que obtengamos podremos realizar la siguiente relación:

El volumen obtenido en 2\* se multiplica por 2, ya que el volumen obtenido solo representa la mitad del volumen total desperdiciado, resultando 220 pulg<sup>3</sup> .

**Si 220 pulg<sup>3</sup> = 18.63 Lb de desperdicio por Tabla M**

**Si 220 pulg<sup>3</sup> = 7.76 Lb de desperdicio por Tabla HS**

Con el nuevo volumen  $V$  obtendremos el peso aproximado del desperdicio por tipo de Tabla Refractaria.

Si  $220 \text{ pulg}^3 = 18.63 \text{ Lb de desperdicio por Tabla M}$   
 $V = X \text{ Lb de desperdicio por Tabla M}$

Si  $220 \text{ pulg}^3 = 7.76 \text{ Lb de desperdicio por Tabla HS}$   
 $V = X \text{ Lb de desperdicio por Tabla HS}$

**B)** Utilizar un molde más grande, con el cual se pretendería reducir el desperdicio haciendo solo tres cortes por pieza, figura 3.9.

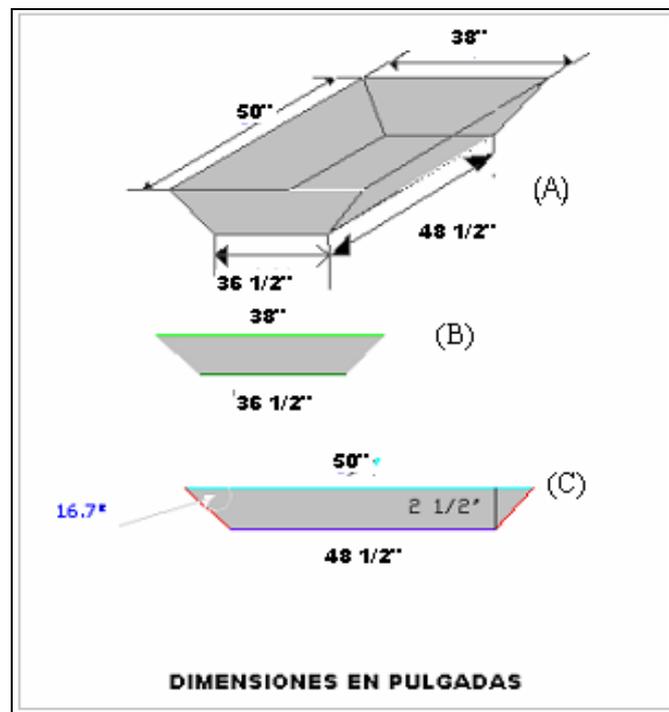


Figura 3.9.- Dimensiones de la Tabla a cortar.

Ya que se harían los cortes normales a los cuatro lados y posteriormente se cortaría a la mitad, figura 3.10.

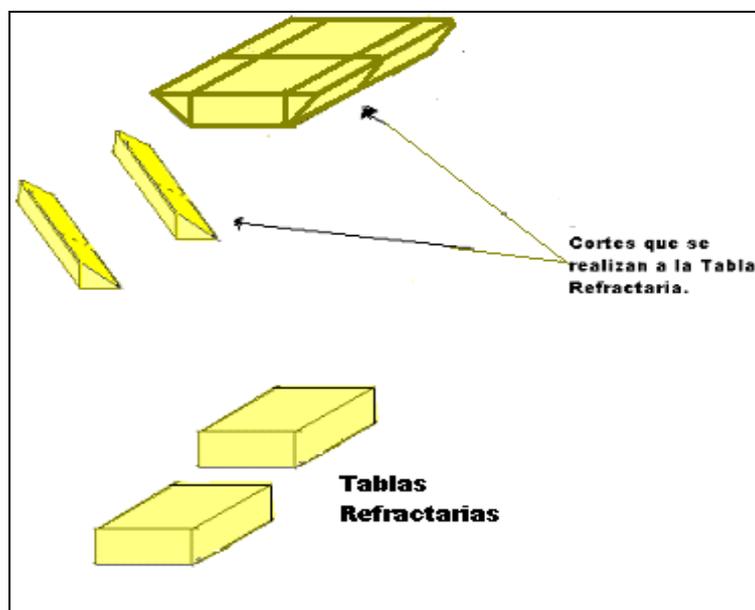


Figura 3.10.- Obtención de dos Tablas, a partir de una.

### 3.4 Cálculos y Resultados obtenidos.

Después de llevar a cabo el análisis se encontraron los siguientes resultados a los problemas planteados.

#### □ Porcentaje de preparación de Mezclas.

En la Tabla 3.3 Y 3.4 se comparan los porcentajes en peso de la fórmula contra los porcentajes en peso de lo que se realiza realmente de las Tablas Refractarias M y HS.

**Tabla 3.3.- Mezcla de Tablas Refractarias M**

<b>Material</b>	<b>% En peso (Formula)</b>	<b>% en peso (Real)</b>	<b>Masa (Lb Real)</b>	<b>Observaciones</b>
Agua	-----	-----	1322.77	La variación de porcentajes se debe a que los ingredientes que se agregan a la mezcla tienen diferente pesos, debido al tipo de báscula que utilizan.
Fibra	88.29	86.22	101.41	
Sílica coloidal	6.91	7.67	9.03	
Almidón	4.80	6.11	7.16	
Total de mezcla	100	100	117.61	
De 16 mezclas (16*117.61) <b>Se tiene un total de 1881.86 Lb.</b>				

**Tabla 3.4.- Mezcla de Tablas Refractarias HS**

<b>Material</b>	<b>% En peso (Formula)</b>	<b>% en peso (Real)</b>	<b>Masa (Lb Real)</b>	<b>Observaciones</b>
Agua	-----	-----	1322.77	La variación de porcentajes se debe a que los ingredientes que se agregan a la mezcla tienen diferente pesos, debido al tipo de báscula que utilizan.
Almidón	2.78	3.41	6.87	
Sílica coloidal	8.05	9.27	18.67	
Alumina	25.35	24.822	50.00	
Wollastonite	12.41	12.15	24.47	
Fibra	51.41	50.35	101.41	
Total de mezcla	100	100	201.43	
De 11 mezclas (11*201.43) <b>Se tiene un total de 2215.8 Lb.</b>				

□ **Porcentaje de Desperdicio de Tabla Refractaria M y HS**

**Tabla 3.5.- Datos de Tablas Refractarias M**

Tabla M	Peso de la Tabla y charola en Húmedo Lb	Peso de la charola Lb.	Peso de la Tabla Húmeda Lb	Peso después de secado. Lb.	Húmeda Lb.	Peso depuse de Rectificado Lb.	Peso después de Corte Lb.	Material perdido por tabla Lb.	Dimensiones de la tabla terminada			Volumen	Densidad
									Largo pulgadas	Ancho pulgadas	Alto pulgadas		
Promedio	<u>111.3</u>	<u>60.1</u> <u>9</u>	<u>50.9</u>	<u>23.4</u>	<u>27.5</u>	<u>20.5</u>	<u>18.6</u>	<u>4.85</u>	<u>36</u>	<u>2</u>	<u>24</u>	<u>0.28p</u> <u>ulg<sup>3</sup></u>	<u>66.43</u> <u>Lb</u> <u>pulg<sup>3</sup></u>

Para determinar el peso total de tablas, tenemos que:

Si se elaboraron **76 tablas** y en promedio pesan **18.6 Lb** (de la tabla 3.5), entonces el peso total de estas es de **1415.81 Lb** (después de secado).

<u>De 16 mezclas en un turno tenemos el consumo total</u>	<b>=1881.86 Lb</b>
---	--------------------

Por lo que tenemos:

**Consumo total de mezcla**

-- **Peso total de Tablas refractarias (después de secado)**

**= Desperdicio en el fondo de tanque de formado y mezclado.**

Dando como resultado:

**1881.86Lb – 1776.04Lb = 105.82Lb**

De 105.82 hay: Vidrio, sílica coloidal- almidón, fibra.
--

**Desperdicio en corte y rectificado.**

El desperdicio por rectificado y corte es de 4.74Lb por tabla (se obtiene de restar 23.36-18.62, de la tabla 3.5), por lo tanto:

76 tablas\* 4.74Lb = 360.23 Lb por 76 tablas.

Por lo tanto se tienen 360.23 Lb de desperdicio en el acabado de la tabla.

**1881.86 Lb** consumo total de mezcla-----100%  
**360.23Lb** de desperdicio después de corte y rectificado-----**19.14%**

**Desperdicio total.**

Tomando en cuenta los 105.82 Lb de material que se queda en el tanque de formado, de mezclado y en el que se va en la succión, tenemos un porcentaje de:

**360.2353 Lb** desperdicio después de corte y rectificado.  
 +  
**105.82 Lb** desperdicio en el fondo del tanque de formado y mezclado.

**466.057 Lb** de desperdicio total.

**1881.86 Lb** consumo total de mezcla-----100%

**466.06 Lb** de desperdicio total ----- **24.766%**

**Tabla 3.6.- Datos de Tablas Refractarias HS**

Tabla HS	Peso de la Tabla y charola en Húmedo Lb	Peso de la charola Lb.	Peso de la Tabla Húmeda Lb	Peso después de secado. Lb.	Húmeda Lb.	Peso depuse de Rectificado Lb.	Peso después de Corte Lb.	Material perdido por tabla Lb.	Dimensiones de la tabla terminada			Volumen	Densidad
									Largo pulgadas	Ancho pulgadas	Alto pulgadas		



**2215.8 Lb** consumo total de mezcla-----100%  
**465.62 Lb** de desperdicio después de corte y rectificado-----**21.013%**

**Desperdicio total.**

Tomando en cuenta los **35.87 Lb** de material que se queda en el tanque de formado, de mezclado y en el que se va en la succión, tenemos un porcentaje de:

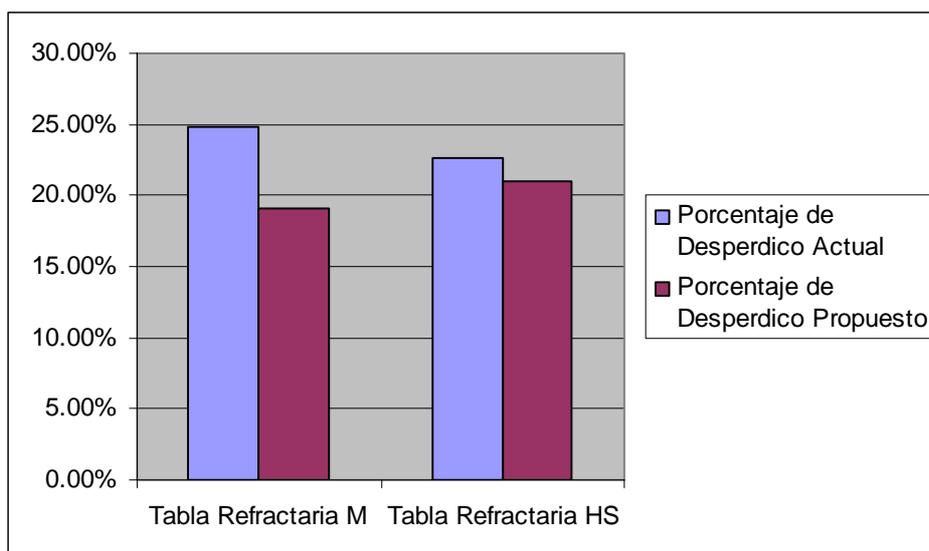
**465.62 Lb** desperdicio después de corte y rectificado.  
 +  
**35.87 Lb** desperdicio en el fondo del tanque de formado y mezclado.

**501.49 Lb** de desperdicio total.

**2215.8 Lb** consumo total de mezcla-----100%

**501.49 Lb de desperdicio total** ----- **22.6322%**

En la siguiente Figura de muestra el grafico correspondiente a los porcentajes actuales y propuestos de desperdicio.



**Figura 3.11.- Porcentajes actuales y propuestos de desperdicio.**

## **CONCLUSIONES.**

Del método actual de fabricación de tablas refractarias se observó que en el porcentaje de materia prima de la mezcla hay mayor exceso agregado de fibra, provocando que queden huecas y rugosas, disminuyendo así la calidad. Con esto, el aumento en tiempo de formado y reduciendo el número de unidades producidas por turno.

El porcentaje de desperdicio tanto en las Tablas M o HS varía debido al tipo de material usado en su fabricación, así como el peso en seco, humedad y peso después de corte. Por lo que es más factible disminuir las dimensiones de molde, para reducir el porcentaje de desperdicio, ya que es sencillo y no modifica el proceso, o bien hacer las piezas más grandes y partiéndolas a la mitad.

Es importante que se respete la fórmula de la mezcla y el procedimiento de mezclado para poder obtener un producto de buena calidad, como el de que se cuestione a los operadores acerca de los problemas que se presentan, ya que ellos son quienes permanecen mayor tiempo en el proceso, lo cual les permite aportar muy buenas ideas, que mejoren la calidad y su desempeño.

Del presente trabajo se cumplió con el análisis de desperdicio en porcentaje de material en el producto terminado, en la determinación de porcentajes de formulación de preparación de mezclas y en el orden de agregarlos. Determinando con esto la solución al problema de desperdicio de material en el producto terminado y las causas que afectan la floculación.

Se tiene una limitación momentánea para la aplicación de la alternativa que disminuye el desperdicio de material, la cual consiste en disminuir el ángulo de inclinación del molde (que tiene forma de pirámide truncada), debido a que se tiene un extenso pedido y por lo cual en este periodo no se pueden cambiar los moldes, ya que involucraría el paro del proceso.

## Anexo 1 Hoja ruta de Operaciones

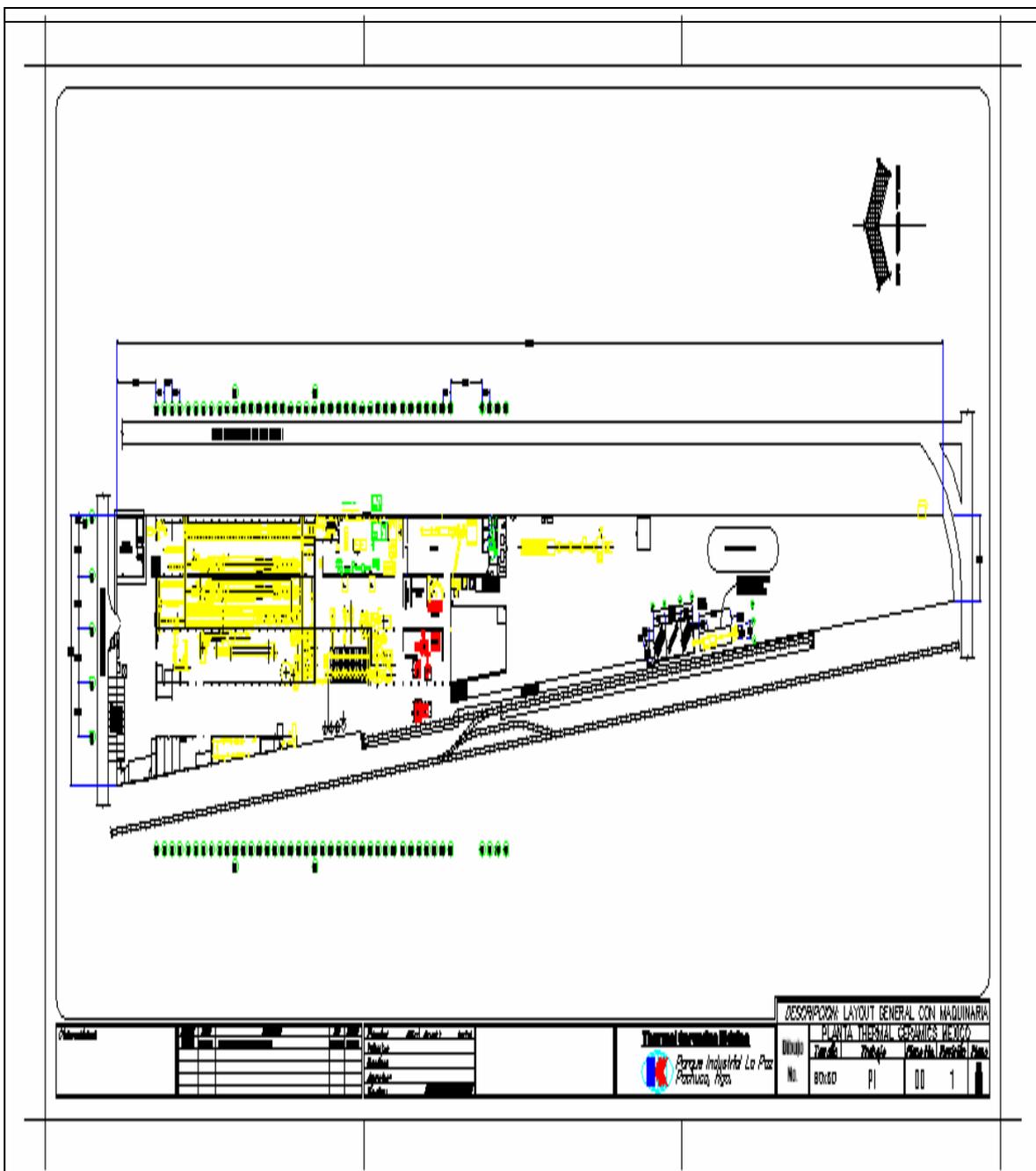
### 1º OPERACIÓN (MEZCLADO)

FECHA: \_\_\_\_\_ LOTE: \_\_\_\_\_ OPERADOR: \_\_\_\_\_ TURNO: \_\_\_\_\_

TIPO DE TABLA: \_\_\_\_\_ TOTAL DE MEZCLAS: \_\_\_\_\_ TIEMPO DE MEZCLADO: \_\_\_\_\_ MIN.

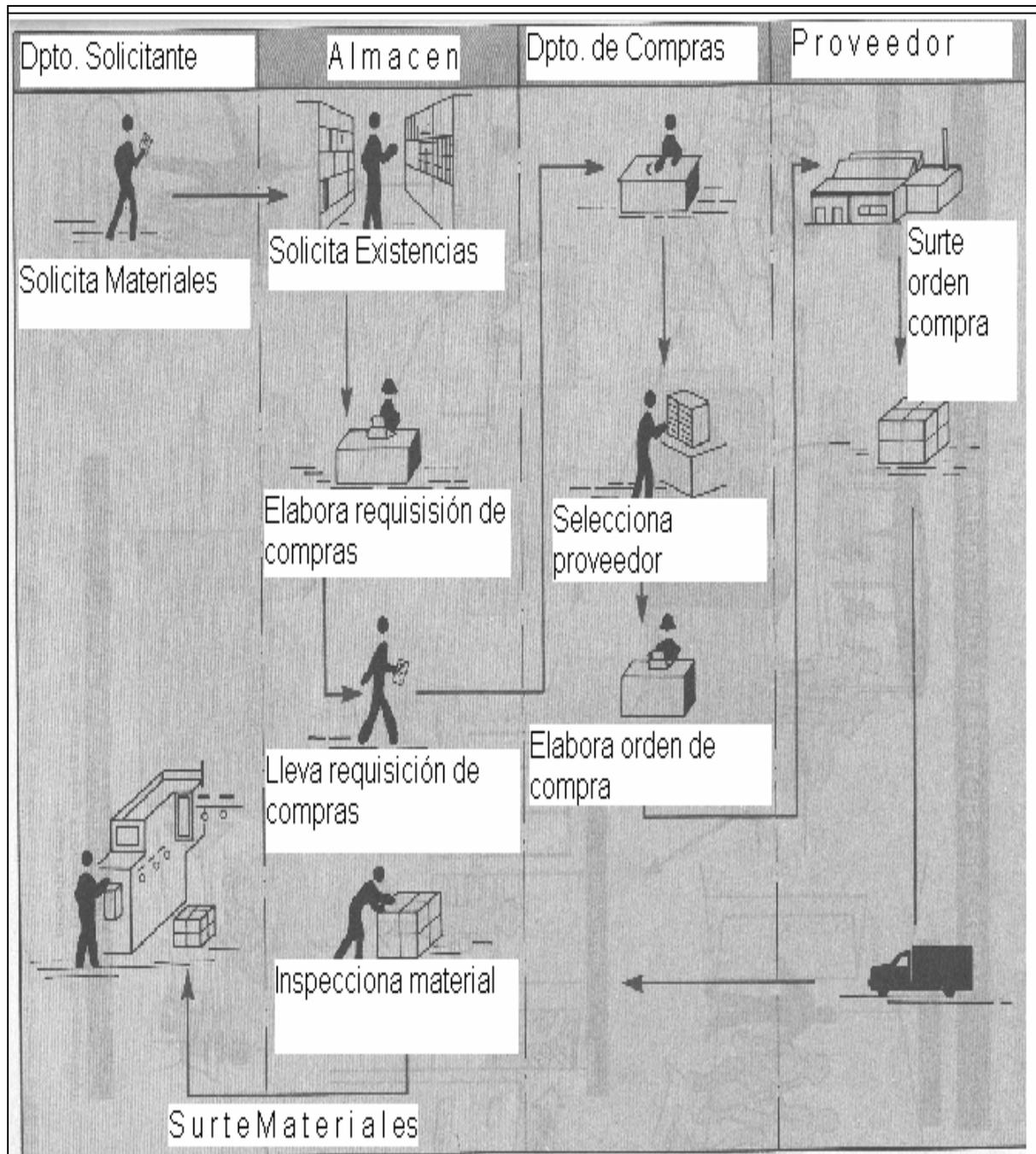
MATERIA PRIMA	No DE LOTE	CANTIDAD/BATCH (KG)	VERIFICACIONES		
			1	2	3
FIBRA CHOPPED DE 2300 Ó 2400					
ALMIDÓN DE MAÍZ O PAPA					
ALUMINA					
WALLASTONITA					
AGUA					
BULK 2600					
SILICA AL 30% O 40%					
SOSA CÁUSTICA					
VERIFICO _____					
OBSERVACIONES: _____					
2º OPERACIÓN (FORMADO AL VACÍO)					
FECHA: _____ OPERADOR: _____ TURNO: _____					
TIPO DE TABLA: _____ TABLAS DE _____ X _____ X _____ NO. DE CARROS FORMADOS: _____ TABLAS POR CARRO: _____					
TOTAL DE TABLAS: _____ TIEMPO DE FORMADO: _____ Seg.					
OBSERVACIONES: _____					
3º OPERACIÓN (SECADO)					
FECHA: _____ OPERADOR: _____ TURNO: _____					
TIEMPO DE SECADO: _____ Hrs. TEMPERATURA: _____ °C. ESTUFA SE ENCENDIO: _____ Hrs. ESTUFA SE APAGO: _____ Hrs TABLAS SECAS SIN RECTIFICAR: _____ DE _____ X _____ X _____ TIPO: _____					
OBSERVACIONES: _____					
4º OPERACIÓN (RECTIFICADO)					
FECHA: _____ OPERADOR: _____ TURNO: _____					
TABLAS POR RECTIFICAR DE _____ X _____ X _____ TIPO: _____ TRABAJAN EXTRACTORES: SI NO PIEZAS RECTIFICADAS: _____ PIEZAS RECHAZADAS: _____ CAUSA DEL RECHAZO: _____					
OBSERVACIONES: _____					
5º OPERACIÓN (CORTE)					
FECHA: _____ OPERADOR: _____ TURNO: _____					
TABLAS DE _____ X _____ X _____ TIPO: _____ TOTAL: _____ CODIGO: _____					
TABLAS DE _____ X _____ X _____ TIPO: _____ TOTAL: _____ CODIGO: _____					
TRABAJAN EXTRACTORES: SI NO					
OBSERVACIONES: _____					
6º OPERACIÓN (EMPAQUE)					
FECHA: _____ OPERADOR: _____ TURNO: _____					
CAJAS CON _____ TABLAS DE _____ X _____ X _____ TIPO: _____					
APARIENCIA DE LA TABLA: _____ TOTAL DE CAJAS: _____					
OBSERVACIONES: _____					

**Anexo 2. Lay Out de Planta Pachuca.**



**NOTA:** Debido A la política de la empresa El tamaño de la imagen no se pudo hacer más clara y grande.

### Anexo 3: Diagrama de flujo Orden de compra



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Acicularidad:** Textura de algunos minerales en fibras delgadas.

**Acción Correctiva:** Acción tomada para eliminar una no conformidad en base a la investigación de las causas y evitar nuevamente su ocurrencia.

**Acción Preventiva:** Acción tomada para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otras situaciones potencialmente indeseables.

**Adsorción química:** Fijación de gases y sustancias químicas disueltas en la superficie de cuerpos sólidos.

**Afelpadora:** Es el equipo que se encarga de tejer la fibra para darle el espesor deseado a la colchoneta.

**Ajuste Alto:** Es el límite superior en el cual el proceso puede correr sin necesidad de ajuste alguno, siempre y cuando no se presenten dos puntos consecutivos entre el ajuste alto y el máximo permitido.

**Ajuste Bajo:** Es el límite inferior en el cual el proceso puede correr sin necesidad de ajuste alguno, siempre y cuando no se presenten dos puntos consecutivos entre el ajuste bajo y el mínimo permitido.

**Alta Dirección:** Persona o grupo de personas que dirigen y controlan el más alto nivel de una organización.

**Ambiente de trabajo:** Conjunto de condiciones bajo las cuales se realiza el trabajo.

**Araña:** Denominación que se le da al distribuidor o alimentador de materia prima por encima del horno.

**Área de la muestra:** Se define como la multiplicación del espesor del producto por el ancho del molde para resistencia a la tensión.

**Aseguramiento de la Calidad:** Parte de la gestión de la calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad.

**Auditoria final del producto:** Es un análisis de las propiedades físicas y visuales que se realiza sobre un lote de la colchoneta.

**Batch:** Es el total de una mezcla de materiales.

**Blanket:** Palabra en inglés que significa colchoneta.

**Bolas de glooch:** Son bolas de lubricante y estas se encuentran cuando el lubricante se acumula en una área de la colchoneta.

**Bottom:** Palabra en inglés que significa inferior.

**Bulk:** Tipo de producto denominado “Fibra a granel” la cual se obtiene a la salida del woolbin

**Bypass:** Es la denominación para el paso alternativo de agua por medio de válvulas.

**Caída del horno:** Es cuando por alguna situación o problema ya no pasa material fundido con estabilidad por la boquilla. La hay voluntaria e involuntaria.

**Calidad:** Grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

**Calificación:** Es un plan de muestreo (o proceso de evaluación del producto hasta que la producción reúna las características de calidad) que consiste en examinar la colchoneta hasta un máximo de 10 muestras consecutivas.

**Calificación de la satisfacción del cliente:** Es la evaluación que realiza el cliente al llenar el formato de satisfacción del cliente.

**Capacidad:** Aptitud de una organización, sistema o proceso para realizar un producto que cumple con los requisitos especificados.

**Característica:** Rasgo diferenciador.

**Carta de Control de Proceso:** En el proceso de control, el operador y los enrolladores grafican alguna característica del producto en este documento.

**CEP:** Significa control estadístico del proceso.

**Cerablanket:** Tipo de colchoneta a base de alúmina y arena sílica.

**Cerachem:** Es un tipo de producto de fibra que contiene zirconia, alúmina y sílica, esta composición es para soportar hasta 2600 °F en servicio.

**Cerachorme:** Es la mezcla que contiene alúmina, carbón, cromo, y sílice.

**Clase:** Categoría o rango dado a diferentes requisitos de la calidad para productos.

**Clasificación:** Es la operación de ubicar el producto dentro de las especificaciones y características que en ese momento cumpla.

**Cliente:** Organización o persona que recibe un producto o servicio.

**Colector:** Equipo para recolectar polvo.

**Coloide:** Cuerpo que, al dispersarse en un fluido (líquido o gas), lo hace de manera que sus partículas adquieren un tamaño comprendido entre 1 y 100 micrómetros, formando una solución denominada coloidal.

**Control de la Calidad:** Parte de la gestión de la calidad enfocada al cumplimiento de los requisitos de la calidad.

**Controladores PID:** Es un controlador proporcional integral derivativo.

**Correr bajo control:** Es un plan de muestreo que consiste en examinar una muestra consecutiva cada hora. Las condiciones de calificación deben ser satisfechas antes de aplicar el Correr Bajo Control.

**Costo de operación/ Lb. De producción:** Es el costo de fabricación de la fibra cerámica, en dólares, que depende si la fibra es soplada o fibra centrifugada.

**Criba:** Equipo para separar tamaños de grano por medio de vibración.

**Cullet:** Prueba realizada para determinar el grado de oxidación – metalización del melt de cerachrome.

**Chumaceras:** Son los rodamientos de flechas o ejes de los rodillos.

**Chopped:** Es la fibra molida que puede ser a base de zirconia, alúmina, sílice, cromo.

**Densidad nominal:** Es una relación entre el peso real del rollo en libras y su volumen nominal en pulgadas cúbicas multiplicado por un factor igual a 1728. Su unidad es lb/pie<sup>3</sup>.

**Desperdicio:** Subproducto de menor valor en un proceso. (Desperdicio de fibra cerámica).

**Disparo de Horno:** Es la operación de suministrar corriente eléctrica en los electrodos para comenzar a fundir la materia.

**DNA:** Determinación de necesidades de aprendizaje.

**Draft box:** Es la denominación de la cámara de succión de woolbin.

**Drip-drums:** Tolva receptora para enfriar material fundido.

**Evidencia objetiva:** Datos que respaldan la existencia a veracidad de algo.

**Excéntrico de afelpadora:** Indica la frecuencia (Hz.) a la cual funciona el tablero de agujas en la afelpadora.

**Fabricador:** Es el Horno que forma parte de la línea de producto en el cual se realiza el tratamiento término de la colchoneta.

**FIB:** Es el documento interno que se utiliza para los ínter almacenes, es decir, los traspasos de unos almacenes a otros.

**Fibrilizar:** Es el proceso para hacer fibra del material fundido.

**Floculación,** es la formación de un flóculo voluminoso, pesado y coherente; la acción puede ejercerse al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del flóculo.

**Flujo:** Cantidad de una sustancia que en una unidad de tiempo pasa por una sección determinada.

**Frecuencia maestra:** La frecuencia a la cual gira el motor que mueve a la malla de woolbin.

**Frita:** Vidrio cuya propiedad es un punto de fusión bajo y se emplea en los disparos de horno.

**Grados centígrados:** Unidad de escala termométrica dividida en 100 unidades.(° C)

**Grados Fahrenheit:** Unidad de escala termométrica (atribuida a un inversor).(° F)

**Hoppers:** Tolvas pequeñas de almacenamiento de materiales.

**Horómetro:** Equipo que mide la cantidad en horas.

**Housing:** Denominación para la caja de soplado.

**HP:** Es la mezcla de alúmina, sílica y chopped (en su caso). Las siglas significan Higt Purity.

**inH<sub>2</sub>O:** Presión diferencial del woolbin.

**Inspección:** Evaluación de la conformidad por medio de observación y dictamen, acompañada cuando sea apropiado por medición, ensayo / prueba o comparación de patrones.

**In situ:** son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico, constituyendo una alternativa o complemento a los ensayos de laboratorio sobre muestras extraídas del terreno.

**Joggeo:** Golpeo manual o strokes manual de la afelpadora.

**Kaowool “S”:** Colchoneta fabricada a base de alúmina y sílice o alúmina, sílice y zirconia. Producto de especificaciones americanas.

**KW/Kg. de fibra:** Es la relación de la potencia consumida en la producción de 1 Kg de fibra cerámica.

**Lote:** Material procesado bajo los mismos parámetros y teniendo el producto aproximadamente las mismas características.

**Marinite:** Aislante térmico y eléctrico.

**Melt:** Es la denominación en inglés para el material fundido dentro del horno.

**Molibdeno:** Es un metal que se encuentra instalado en los electrodos y es el que se encarga de formar el arco eléctrico de fundición.

**Neopremo:** Plástico que sella las orillas de las paredes del woolbin.

**Nozzle:** Término en inglés para denominar a la boquilla.

**Orring:** Sello o empaque plástico circular.

**Panel View:** Panel donde se muestra el sistema de control.

**Partículas hidrófobas:** aquellas sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella.

**PLC:** Siglas que significan “procesador Lógico de Control” y es el sistema de control centralizado.

**Polipasto:** Equipo para subir material pesado.

**Porcentaje se shot a 40 mallas:** Es la cantidad de vidrio que contiene la colchoneta y que es retenido en la malla 40.

**Porcentaje de shot total:** Es el porcentaje total de vidrio presente en la colchoneta.

**PTIF:** Siglas que Significan “Producto Terminado Importado Fibras” y que son usados para la identificación de los productos.

**PTMF:** Siglas que Significan “Producto Terminado Módulos Fibras” y que son usados para la identificación de los productos.

**PTNF:** Siglas que Significan “Producto Terminado Nacional Fibras” y que son usados para la identificación de los productos.

**PTNR:** Siglas que Significan “Producto Terminado Nacional Ladrillos” y que son usados para la identificación de los productos.

**Producto no acicular o de bajo ratio** que se utiliza como cargas en general, en cerámica y en fundentes metalúrgicos.

**Punto eutéctico de gresificación:** Es la máxima temperatura a la que puede producirse la mayor cristalización del solvente y soluto, o también se define como la temperatura más baja a la cual puede fundir una mezcla de sólidos A y B con una composición fija.

**Rango de Espesor:** Es la medida máxima de espesor menos la medida mínima de espesor que se tiene en todo el ancho de la línea y que da la idea de la distribución de la fibra.

**Rango de peso:** Es la diferencia de peso que existe entre dos rollos simultáneos en la línea.**Refracto:** Tipo de colchoneta obtenida durante la transición antes de obtener Cerachrome.

**Relación RT/DN:** Es un factor que nos da una idea de la resistencia de la colchoneta que cuando es menor que uno es la idea de una colchoneta débil.

**Rendimiento de Fibrilización:** Es el porcentaje de aprovechamiento de la materia prima utilizada.

**Rendimiento global:** es la eficiencia en porcentaje del aprovechamiento de la línea de producción de fibra cerámica.

**Resistencia a la tensión:** La cantidad de libras fuerza que soporta una determinada área de la colchoneta (lbf/inch<sup>2</sup>).

**ROBICON:** Sistema electrónico de disparos SCR.

**Scrap:** Denominación para el rollo incompleto y recorte lateral de fibra.

**Shot:** Es el material no fibrilizado que se presenta en formas de partículas esféricas de vidrio.

**Slitters:** Término en inglés para referirse a las cortadoras.

**Stock:** Material de repuesto o refacción.

**Strokes:** Se refiere a la cantidad de agujero que se le da a la colchoneta por minuto, y esto se lleva a cabo en la afelpadora.

**TAP:** Cantidad de material que se extrae del horno en un tiempo de 5 segundos, es decir, el flujo de material procedente del horno para ser fibrilizado y fabricar colchoneta. Su Unidad es lb/HR.

**Tarar:** Poner a ceros la balanza para no considerar el peso de recipiente o bolsa.

**Termopar:** sensor de Temperatura.

**TIC:** Siglas señalando indicador y controlador de temperatura.

**Tiempo de Fibrilización:** Es el tiempo en horas por día (hr/día) de operación del equipo de fibrilizado.

**Tiempo de paro:** Es el porcentaje (%) de tiempo que esta parada la línea de producto sin producir.

**Transición:** Es el lapso de tiempo que transcurre cuando se cambia de materia prima durante la operación normal de un horno.

**Timer:** Cronómetro o contador de tiempo.

**Top:** Término en inglés que significa superior.

**Torque:** Grado de apriete (En kg\*m o lb\*ft).

**Torquímetro:** Equipo para apretar midiendo el torque.

**Trazabilidad:** Capacidad para seguir la historia, la aplicación o la localización de todo aquello que esta bajo consideración, por ejemplo un producto.

**Trim:** Recorte lateral de fibra.

**Validación:** Confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica propuesta.

**Válvulas check:** Válvula que impide el retorno de agua, aire o gas.

**Verificación:** Confirmación mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

**Wet Scrubber:** Término en ingles para la denominación del colector de fibra en húmedo.

**Woolbin:** Término en ingles para la denominación de la cámara receptora de fibra.

**Wollastonita** se ha consolidado hoy como un importante mineral industrial. Es un ingrediente necesario en la cerámica refractaria y utilizado como aditivo en pinturas (como antioxidante y anticorrosivo), siendo para ello tratado superficialmente con xilanos

**Xilanos:** están formados por la unión de residuos de **b-D-xilopiranosas** mediante **enlaces (1b®4)**.

**Zirconia:** Es la mezcla de Alúmina, sílica y zirconia.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**E. Hicks Philip (2001). Ingeniería Industrial y Administración. Ed. C.E.C.S.A. México**

**Grupo Industrial Morgan S.A de C.V. Manual de Control de Calidad Formado al Vacío.**

**Hougen O. A. , K. M. Watson, R. A. Ragatz (1994). Principios de los Procesos Químicos. Editorial Reverté, S.A. Paraguay.**

**Kanawaty George (2002). Introducción al Estudio del Trabajo. Ed. LIMUSA. México.**

**Keyser Carl A. (1988). Ciencia de Materiales para Ingeniería. Ed. LIMUSA. México.**

**Mangonon Pat L. (2001). Ciencia de Materiales, Selección y diseño. Ed. Prentice Hall. México.**

**Mc Cabe, Waren; Smith, Julian y Harriolt, Peter (1991). Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Ed. Mc Graw Hill. España.**

**Schaffer James P. , Ashok Saxena, Stephen D. Antolovich, Thomas H. Sander, Steven B. Warner (2004). Ciencia y Diseño de materiales para Ingeniería. C.E.C.S.A. México.**

**Van Vlack Lawrence H. (1999). Materiales para Ingeniería. Ed. CECSA. México.**

**W. Niebel Benjamín (2000). Ingeniería Industrial métodos, tiempos y movimientos. Ed. Alfaomega. México.**

## **CIBERGRAFIA**

**[http:// www.thermalceramics.com](http://www.thermalceramics.com) (En Línea)**

**[http:// www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_t41.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_t41.htm) (En Línea)**

**[http:// www.rirsaglass.com.mx/fibras.htm](http://www.rirsaglass.com.mx/fibras.htm) (En Línea)**

**[http:// www.protarsa.com/ceramica.htm](http://www.protarsa.com/ceramica.htm) (En Línea)**

**[http:// www.soltrex.cl](http://www.soltrex.cl) (En Línea)**