



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"SOLUCION DE UN PROBLEMA DE SELLADO
PARA EL MANEJO DE CEMENTO Y SUS
COMPONENTES, FINAMENTE MOLTURADOS"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A :

RAUL DE JESUS DUBOIS LOPEZ

ASESOR: M. EN C. RICARDO PARAMONT HERNANDEZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Solución de un Problema de Sellado para el Manejo de Cemento
y sus Componentes, Finamente Molturados.

que presenta al pasante: Raúl de Jesús Dubois López.

con número de cuenta: 8005871-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx., a 3 de S.ptiembre de 1996.

PRESIDENTE

M. en C. René Miranda Ruvalcaba.

VOCAL

M. en C. Adolfo Obaya Valdivia.

SECRETARIO

M. en C. Ricardo P. Hernández García

PRIMER SUPLENTE

I. Q. Guadalupe Franco Rodríguez.

SEGUNDO SUPLENTE

M. en C. José Guillermo Penieres Carrillo

DEDICATORIAS

- A Dios, que me ha brindado la oportunidad de sorprenderme con la magnificencia de su obra y reconocerlo en ella.
- A Mama María, siempre oportuna y amorosa. Porque nunca me ha dejado solo.
- A mi Papa Ayatola, fuente inagotable de sabiduría e inspiración. Por su luz que ilumina y guía mi camino.
- A mi Mama, la mas elevada expresión del alma que conozco. Por mostrarme el amor de dios en su persona.
- A mis hermanos, Elsa, Adriana, Hiliana, Mauricio y Marco, mis compañeros de los años felices. Por ser mi escudo para enfrentar la vida con alegría.
- A mi esposa Ana Luisa, amiga y compañera fiel de mis locuras. Por alimentarme de anhelos y esperanzas.
- A todos los maestros de mi vida, sembradores generosos de la semilla del futuro.
- A parientes y amigos que enriquecen mi existencia.

AGRADECIMIENTOS

- A Ricardo Paramont Hernández García, Gran Maestro, Hombre Gentil y Buen Amigo. Un agradecimiento muy especial, porque sin su inmejorable participación no hubiera sido posible la consumación de esta gran ilusión.

- A los Sinodales, por su dedicación en los años de estudiante y su amable atención por compartir conmigo en este proyecto

INDICE

	Página
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
CAPITULO 1 Descripción General del Proceso de Fabricación de Cemento Portland	4
1.1.- Antecedentes	5
1.2.- Cemento Portland: Definición	5
1.2.1.- Cemento Portland	5
1.2.2.- Conglomerante Hidráulico	5
1.2.3.- Clinker	5
1.3.- Composición Química del Clinker	6
1.4.- Tipos de Cemento y Usos	8
1.5.- Obtención del Clinker	9
1.6.- Fabricación del Clinker	9
1.7.- Fabricación del Cemento Portland	10
1.8.- La Planta en donde se aplicara la Formulación	11
1.9.- Descripción del Proceso de Fabricación de Cemento	11
CAPITULO 2 Importancia del Sellado en una Planta Cementera	15
2.1.- Control del Medio Ambiente: Aspecto Legislativo	16
2.1.1.- Emisiones a la Atmósfera	16
2.2.- Imagen de la Industria Cementera	18
2.3.- Importancia del Sellado en una Planta Cementera	19
2.4.- Solución al Problema de Sellado de Emisiones Fugitivas	19
CAPITULO 3 Compuestos para Modelar y Producto Modelado	20
3.1.- Compuestos para Modelar (Producto Fabricado)	21
3.1.1.- Características Esperadas del Producto Fabricado	21

1.2.-	Las Plastilinas.....	22
3.1.2.1.-	La Plastilina Epóxica.....	22
3.1.2.2.-	La Plastilina Agente de Curado.....	23
3.2.-	Producto Modelado (Producto Final).....	23

CAPITULO 4 Descripción General de las Materias Primas Empleadas en la Formulación.
 25

4.1.-	Las Resinas Epóxicas.....	26
4.1.1.-	Las Resinas Epóxicas de Bisfenol A/Epiclorhidrina.....	26
4.1.2.-	Obtención de las Resinas Epóxicas de Bisfenol A/Epiclorhidrina.....	27
4.1.3.-	Reacción General para la Obtención General de Epiclorhidrina.....	28
4.1.4.-	Reacción General para la obtención de Bisfenol de A.....	28
4.1.5.-	Reacción General para la obtención de la Resina de DGEBA.....	28
4.2.-	Los Agentes de Curado.....	29
4.2.1.-	Resina Poliamida.....	30
4.2.2.-	Reacción de Curado Resina Epóxica - Amina Terminal de la Resina Poliamida.....	30
4.2.3.-	Obtención de la Resina Poliamida.....	31
4.2.4.-	Reacción General para la obtención del Ácido Dicarboxílico.....	32
4.2.5.-	Reacción General para la obtención de las Resinas Versamidas.....	32
4.3.-	Las Cargas.....	34
4.4.-	Pigmentos en la Formulación.....	35
4.4.1.-	Pigmento Blanco: Dióxido de Titanio (TiO ₂).....	36

CAPITULO 5 Especificaciones de las Materias Primas Seleccionadas para la Formulación.
 37

5.1.-	Resina Epóxica D.E.R. 331 de Dow: La Selección.....	38
5.1.1.-	Datos Técnicos de la Resina Epóxica D.E.R. 331: Especificaciones.....	38
5.2.-	Resina Poliamida Euredur 3125 de Dow: La selección.....	39
5.2.1.-	Datos Técnicos de la Resina Poliamida Euredur 3125: Especificaciones.....	39
5.3.-	Cemento Portland T-I Normal: Especificaciones.....	41
5.3.1.-	Especificaciones Químicas.....	41

5.3.2.-	Especificaciones Físicas.....	41
5.4.-	Pigmento Blanco Dióxido de Titanio (TiO ₂): La Selección.....	42
5.4.1.-	Pigmento Blanco Dióxido de Titanio: Especificaciones.....	42

CAPITULO 6 Formulación de la Plastilina Epóxica y la Plastilina Agente de Curado Poliamida..... 44

6.1.-	Características Técnicas de la Formulación.....	45
6.2.-	Formulación del Prototipo.....	46
6.2.1.-	Bases para la Formulación del Prototipo.....	47
6.3.-	Relación de la Consistencia y la Cantidad de Cemento Agregado en la Formulación.....	47
6.3.1.-	Definición de Consistencia.....	48
6.3.2.-	Relación entre la consistencia y el PHR de Cemento Agregado a las Resinas.....	49
6.3.2.1.-	Procedimiento para la determinación del PHR de cemento en las Resinas y Establecimiento de la Consistencia.....	50
6.4.-	Determinación del PHR de pigmento Dióxido de Titanio Agregado a la Plastilina Poliamida.....	51
6.4.1.-	Procedimiento para la determinación del PHR de Pigmento en la Resina Poliamida.....	51
6.5.-	La Relación de Mezcla de la Resina Epóxica y la Resina Poliamida.....	52
6.6.-	Procedimiento para la elaboración del Prototipo.....	53
6.6.1.-	Procedimiento para la elaboración de la Plastilina Agente de Curado.....	53
6.6.2.-	Procedimiento para la elaboración de la Plastilina Epóxica.....	54
6.7.-	Procedimiento de Empleo de las Plastilinas (Producto Fabricado) para obtener el Producto Final.....	54

CAPITULO 7 Proceso para la Fabricación de las Plastilinas..... 56

7.1.-	Mezclado.....	57
7.2.-	Mezcladora.....	57
7.2.1.-	Amasadora de Brazo Doble por Lotes.....	57

CAPITULO 8 Observaciones, Conclusiones y Sugerencias..... 59

8.1.- Observaciones..... 60

8.2.- Conclusiones..... 60

8.3.- Sugerencias..... 61

**Apéndice A. Procedimiento Empleado para la Determinación de la Consistencia en las
Plastilinas: Norma ASTM D-2393-86 "Método normal para determinar
la Viscosidad de Resinas Epóxicas y Compuestos Relativos". 62**

Bibliografía..... 68

INTRODUCCION

El desarrollo creciente de la tecnología en la Industria Química ha permitido el surgimiento de una variedad cada vez mayor de productos que buscan satisfacer una necesidad, o que inclusive la crean para un consumidor con necesidades constantemente cambiantes. El consumidor actual demanda a las empresas, la creación y el uso de productos y/o servicios innovadores (o bien, algunas versión modificada de alguno ya existente) que le permitan solucionar de una manera rápida y sencilla, los problemas con los que se enfrenta cotidianamente. De hecho, este anteproyecto nace frente a la necesidad de solucionar un problema en la empresa en donde actualmente laboro. Cierto día en el silo de homogeneización de la mezcla cruda, empezó a escaparse el polvo fino producto de la molienda, por las orillas del silo en el fondo de éste. El polvo es tan fino que fluye como si fuera agua. El problema era serio porque se tienen 5000 toneladas de capacidad en el silo, y ese día estaba prácticamente lleno. Los compresores que ayudan a la homogeneización están justamente bajo del silo en donde se estaba fugando el material. Se requería un material que sellara toda la orilla por fuera del silo, que no se afectara su adhesividad por el polvo, endureciera rápido y que soportara la carga a la que iba a estar expuesto por el peso. Durante el problema recordé las resinas epóxicas y así se inició la investigación que da lugar a este anteproyecto. El problema fue solucionado con la asesoría de expertos que emplearon un sellador que sólo ellos conocieron. Sin embargo, los elementos necesarios para solucionar futuros problemas con un producto que cumpliera con estas exigencias, dio origen a la formulación de las plastilinas utilizando el cemento que producimos en esta empresa. Este producto se propone como una alternativa para solucionar los problemas de fugas de materiales sólidos sumamente finos en los procesos de fabricación de cemento en una industria cementera, en donde es poco conveniente por motivos económicos, parar el proceso para realizar una reparación mayor. Emplear el propio cemento como materia prima para detener dichas fugas, permite hacer un uso más racional de los recursos con los que cuenta la empresa para solucionar de la forma más económica una necesidad, sin contratar los servicios de especialistas; que generalmente reciben grandes ingresos por sus servicios. Además se puede extender, el empleo del cemento en el Mercado Doméstico e Industrial, incrementar el valor por kilogramo de cemento, debido al " Trabajo " aplicado a éste, mediante un proceso de mezclado con las resinas. Este producto tendría adicionalmente un " Valor Agregado " por su utilidad, como un medio para modelar, recubrir, rellenar y pegar, en una gran diversidad de aplicaciones en diferentes sustratos.

En esta tesis se desarrolla la formulación de las plastilinas y en ella se explica teóricamente como elaborar la plastilina epóxica y la plastilina agente de curado, que permitan terminar y prevenir los problemas de fugas del material cuando éstos se presenten. El diseño de este producto se basa en la mezcla de dos " Ligamentos " diferentes. Los Ligamentos son materiales con propiedades adhesivas, cementíferas y cohesivas. Los Ligamentos se clasifican en Ligamentos Orgánicos y Ligamentos Inorgánicos. Los Ligamentos Orgánicos endurecen por la evaporación de un solvente o por polimerización. Los Ligamentos Inorgánicos Hidráulicos reaccionan con el agua y el producto de la reacción es insoluble, además de endurecer aún bajo el agua.

El orden de los temas está estructurado de tal forma que se muestra al lector el proceso de fabricación del cemento y se expone la necesidad de obtener el producto que vamos a formular. Posteriormente se va profundizando en el conocimiento del producto que vamos a fabricar (plastilina epóxica y plastilina agente de curado), y simultáneamente se van dando las bases para la formulación. Inicialmente se hace una descripción de los Compuestos para Modelar y el Producto Modelado, para diferenciarlos en sus propiedades, antes y después de curados.

Posteriormente se explica de forma general los métodos de obtención de las materias primas, y las especificaciones. Después durante la formulación se van desarrollando los métodos para la creación del prototipo, procedimientos de empleo, y por último se explica brevemente el proceso de fabricación de las plastilinas por medio de mezcladoras; para integrar la idea de cómo se pueden producir estas plastilinas en volúmenes grandes, en caso de que esto llegara a ser necesario.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Resolver el problema de sellado en equipos de transporte y almacenamiento en un proceso de fabricación de Cemento Portland Tipo I, por donde fluyen Harina Cruda y Cemento Portland Tipo I finamente molturados.

OBJETIVOS PARTICULARES:

Desarrollar la Formulación de un Sistema de Resina Epóxica de Diglicidil Éter de Bisfenol A y Resina Poliamida Versamida, Modificado con Cemento Portland Tipo I Normal y Pigmento Blanco de Dióxido de Titanio; para la elaboración de una Plastilina Epóxica y una Plastilina Agente de Curado Prototipo, que resuelva el problema de sellado en equipos de transporte y almacenamiento, por donde fluyen Harina Cruda y Cemento finamente molturados, en una planta cementera..

CAPITULO 1

DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO DE FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND

1.1.- ANTECEDENTES.

A principios del siglo XIX, las investigaciones de Vicat y Joseph Aspdin, conduce al descubrimiento de un cemento llamado "Cemento Portland", porque se asemejaba a una piedra gris muy oscura que se encuentra en la Isla de Portland, Inglaterra. Desde entonces, el concreto se convirtió en el material más utilizado en el campo de las construcciones por sus propiedades de resistencia mecánica y durabilidad.

Después de la aparición del cemento Portland y del concreto como resultante, el mundo sufrió un cambio decisivo en su apariencia. A partir de este siglo, el estudio sistemático del cemento asociado con el acero permitió que el concreto que no trabaja a tensión, pueda ser utilizado como tal gracias a la armadura metálica de refuerzo. Por el concreto, el hombre ha sido capaz de crear colosales obras de ingeniería y arquitectura modernas: rascacielos, calles, puentes, y extensas carreteras, presas y canales, en fin, todo aquello que conocemos y disfrutamos en la civilización gracias al cemento.

A través de estos años, el hombre con la ayuda de la ciencia y la tecnología, ha estudiado el cemento para perfeccionarlo desarrollando productos más útiles al servicio de la construcción moderna. Las plantas de cemento trabajan día y noche para lograr este fin.

1.2.- CEMENTO PORTLAND: DEFINICION.

De acuerdo con la definición que aparece en la Norma Oficial Mexicana, Industria de la Construcción Cemento Portland, NOM-C-1 1980:

1.2.1.- Cemento Portland = Es el conglomerante hidráulico que resulta de la Pulverización del Clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adicionan sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporarse además , como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.

1.2.2.- Conglomerante Hidráulico = Es el material finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida.

1.2.3.- Clinker = Es el mineral sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura

en el cemento es la siguiente:

- C_3S = Es el que aporta las resistencias iniciales principalmente y en menor medida la resistencias finales. Es el compuesto mas abundante.
- C_2S = Aporta las resistencias a largo plazo y es el segundo compuesto en importancia.
- C_3A = Es importante para el tiempo de fraguado y para el desarrollo de la resistencia inicial.
- C_4AF = Compuesto poco reactivo y casi no contribuye en las resistencias.

La composición "potencial" de las fases se calcula a partir de las cantidades medidas de los óxidos presentes en el clinker, empleando las ecuaciones de Bogue, que se enuncian a continuación:

$$\begin{aligned}C_3S &= 4.07 \text{ CaO} - 7.6 \text{ SiO}_2 - 6.72 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1.43 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \\C_2S &= 8.6 \text{ SiO}_2 - 5.07 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1.08 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 3.07 \text{ CaO} \\C_3A &= 2.65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1.69 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \\C_4AF &= 3.04 \text{ Fe}_2\text{O}_3\end{aligned}$$

Las fórmulas se basan sobre las siguientes suposiciones:

- Las fases enfriadas rápidamente, representan las condiciones de equilibrio a la temperatura de clinkerización.
- El SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y CaO se transforman completamente en C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF .
- Las fases son puras aunque ellas nunca existan en el clinker industrial. Las fases de clinker reales, siempre incorporan elementos menores tales como Mg, Na, K, Cr, Ti, Mn, P, etc. Por lo tanto, la composición real de las fases del clinker, difieren, cuantitativa y cualitativamente, de las fases de Bogue.
- No se toma en cuenta otros minerales tales como Cal libre (CaO), Periclasa (MgO), y sulfatos de álcali ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$ y K_2SO_4), que se encuentran también en pequeñas cantidades.

1.4.- TIPOS DE CEMENTO Y USOS.

En México se elaboran actualmente varios tipos de cemento Portland, las cantidades en que están presentes los compuestos y elementos químicos antes mencionados, definen los diversos tipos de cemento.

- Cemento Tipo I: Este cemento es de uso general, empleado cuando no se requieren propiedades especiales. Se utiliza en concretos que no estén expuestos al ataque de sulfatos, cloruros, etc., que puedan estar presentes en el agua o en los suelos.
- Cemento Tipo II: Es un cemento de moderada resistencia al ataque de los sulfatos y moderado calor de hidratación. Se destina comúnmente para los siguientes usos: Presas, tuberías, para desalojo de aguas negras, cimentaciones, plantas de tratamiento, construcciones en zonas costeras, etc..
- Cemento Tipo III: El cemento Tipo III es un cemento de alta resistencia temprana. Entre sus usos se encuentran: Pistas de aterrizaje, reparaciones de pavimentos de concreto, en climas fríos, etc.
- Cemento Tipo IV: Se utiliza cuando se requiere un bajo calor de hidratación. Su uso se recomienda en cuerpos de gran masa como presas y grandes cimentaciones, pues reduce el riesgo de agrietamientos; también puede ser usado en climas muy cálidos.
- Cemento Tipo V: Es un cemento de alta resistencia al ataque de los sulfatos. Se recomienda para los elementos de contacto con agua o suelos con alto contenido de sulfatos como: Bordes de contención, puentes, presas, depósitos, tanques, tuberías, etc..
- Cemento Bajo Alcalí: Todos los cementos antes mencionados pueden ser bajo contenido de álcalis (álcalis totales, 0.6 % máx.) que tienen como ventaja adicional, minimizar la posible reacción de los álcalis del cemento con los agregados potencialmente reactivos, ya que al llevarse a cabo esta reacción hay aumento de volumen y pueden aparecer grietas.
- Cemento Clase H: Este cemento se elabora para soportar las condiciones operativas de los pozos petroleros del Golfo de México, así como las variables de temperatura y presión a profundidades de más de 6,000 m.. Sus usos se limitan exclusivamente a pozos petroleros o geotérmicos.

- **Cemento Puzolánico:** Es un cemento de uso general y constituye una alternativa al empleo de los cementos Portland Tipo I, II, y V. Es una combinación de clinker Tipo Portland con adición de puzolanas naturales. Entre sus usos se encuentran: Edificios, casas, prefabricados, túneles, instalaciones industriales, estructuras marinas y costeras, etc..

- **Cemento con Escoria:** El cemento con escoria de alto horno es un cemento de uso general y al igual que el cemento puzolánico, constituye una magnífica alternativa al empleo de los cementos Portland Tipo I, II, y V. Este cemento al igual que el puzolánico, tiene la gran ventaja de generar menor calor de hidratación y ser más resistente al ataque de los sulfatos.

1.5.- OBTENCION DEL CLINKER PORTLAND.

Para la obtención del clinker se requiere la mezcla de dos componentes esenciales: Componentes calcáreos y componentes arcillosos. Los componentes calcáreos son materiales ricos en carbonato de calcio (mayores al 75 % de CaCO_3), los componentes arcillosos consisten de minerales que contienen silicato (SiO_2), aluminato (Al_2O_3), hierro (Fe_2O_3), y un carbonato de calcio (CaCO_3) menor al 75 %.

Material calcáreo + Material arcilloso 1 400°C Clinker.

La transformación química de la materia prima de origen natural se realiza por medio de reacciones químicas en estado sólido, estas reacciones se denominan " Sinterización " o " Clinkerización ".

Como en la naturaleza, las materias primas mencionadas existen en mayor o menor grado de pureza, es indispensable analizar cuidadosa y separadamente cada una de las materias, para que, de acuerdo con las propiedades que se deseen en el cemento según su tipo, las materias primas sean proporcionadas y dosificadas.

1.6.- FABRICACION DEL CLINKER.

Complejas y costosas operaciones se realizan en las plantas cementeras para obtener un material cada vez más uniforme y eficiente, adecuado para una gran diversidad de aplicaciones. El objetivo de estas operaciones es la preparación de las materias primas

para una mezcla de componentes, homogénea y finamente molida que permita una buena quemabilidad. Para esto las materias primas deben ser previamente trituradas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas. Los procedimientos y pasos necesarios deben adaptarse a las propiedades de la materia prima. El esquema general de la preparación de las materias primas es el siguiente:

- A).- Se explotan los yacimientos de materia prima en la cantera por medio de voladuras y excavación.
- B).- Se trituran las materias primas y se dosifican los materiales (calizas y arcillas) de acuerdo a la composición requerida de la mezcla de estos para la obtención del clinker; prehomogeneizando los materiales en un patio donde se apilan.
- C).- Se recuperan los materiales prehomogeneizados y se muelen finamente en molinos. Durante la molienda se mezclan los componentes y al producto se le conoce como "Mezcla Cruda".
- D).- Posterior a la molienda el material es homogeneizado.
- E).- El material homogeneizado es alimentado a un horno en donde el material es quemado (sinterizado), para obtener el clinker.
- F).- El clinker es bruscamente enfriado y triturado.

1.7.- FABRICACION DE CEMENTO PORTLAND.

La suma de todos los pasos anteriores para la producción del clinker, más la molienda del clinker con el yeso, constituyen la secuencia completa en el proceso de fabricación del cemento. El cemento Portland se obtiene cuando se entremuele finamente el clinker con un 4-5 % de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), dentro de un molino con un circuito cerrado en donde el polvo fino es separado del polvo grueso que es retornado al molino.

Clinker + Yeso Molienda Cemento Portland

1.8.- LA PLANTA EN DONDE SE APLICARA LA FORMULACION

La planta cementera para la cual se realizó el presente trabajo, está situada en la parte central del Edo. de Colima, en la porción noroeste de la planicie del río Armería, localizándose en el poblado de Caleras. La planta se encuentra entre la Ciudad de Colima (35 km. aprox.) y el Puerto de Manzanillo (60 km. aprox.). Esta planta cuenta con un proceso en vía seca, en dos líneas iguales de producción de clínker con capacidad nominal por horno de 3000 toneladas diarias, y dos molinos de cemento con capacidad nominal de 145 ton. / hr. Uno de los molinos (molino de cemento I) tiene adaptada una prensa de rodillos, instalada para incrementar la producción de cemento en éste hasta 240 ton. / hr. La producción anual de cemento en la planta es alrededor de 2,500,000 toneladas de cemento anuales. La planta entró en operación el último trimestre del año 1993 con una línea. Posterior al arranque de la primera línea de producción, se inició el proyecto de la segunda línea, que permitió duplicar la producción anual de clínker, después de su arranque a partir del último trimestre de 1995.

1.9.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CEMENTO.

El esquema al final del capítulo muestra la secuencia del proceso de fabricación de cemento en la planta de Cementos Apasco en Tecornán, Colima. Sólo representa a una de las dos líneas, debido a que cada una de ellas trabajan independientemente, y operan de forma similar. Ambas tienen en común el patio de prehomogeneización en donde se reclama el material prehomogeneizado proveniente de la cantera.

La operación de la planta se realiza por áreas funcionales como sigue:

A).- Cantera: Se encarga de proveer las materias primas que se extraen del Cerro de Caleras, y de otras fuentes. En la cantera se explotan materiales calcáreos y arcillosos, con diferentes grados de pureza, según un diseño previo de la mezcla necesaria para obtener la harina cruda que se empleará para producir el clínker. Las reservas de materia prima aproximadas en millones de toneladas son: 250 millones de toneladas de caliza y 118 millones de toneladas de lutita (arcilla). Los trabajos que realiza consiste en: Barrenación, voladuras empleando explosivos, moneo (fragmentación de rocas), transporte, almacenamiento de los materiales y dosificación de las materias primas a la trituradora.

B).- Trituración: Es responsable de la formación de las pilas (dos pilas de 20,000 ton. cada una) en el patio de prehomogeneización, la trituración del material para el control del tamaño de las rocas alimentadas, de la correcta alimentación de las proporciones (incluyendo la distribución del material en las pilas), y el suministro de correctivos para las pilas. Para llevar a cabo la trituración (reducción del tamaño de las rocas) se emplea una sola trituradora del tipo rotativa de impacto con una capacidad nominal de 600 ton./hr.. El material triturado es conducido por bandas transportadoras hacia el patio de prehomogeneización, en el trayecto es analizado por un analizador de neutrones que permite el control de las proporciones de las pilas durante su formación y por ultimo la materia prima es distribuida en las pilas por un apilador.

C).- Molinos de Crudo: Está área comprende desde el reclamo de los materiales del patio de prehomogeneización para alimentar a los molinos de crudo, hasta la homogeneización del crudo en los silos. La extracción de las pilas del patio de prehomogeneización se efectúa por medio de un reclamador de rastrillo tipo puente con capacidad de 300 ton./hr.. El material reclamado es depositado en bandas transportadoras que llevan el material hasta las tolvas de nivel constante que regulan la alimentación de los dos molinos (el material se divide hacia tolvas independientes), posteriormente se dosifica por medio de bandas pesadoras el material de la pila, el mineral de hierro y la caliza correctiva en una banda que transporta el material directo al molino de crudo.

La molienda se realiza con un molino de rodillos vertical con capacidad nominal de 230 ton./hr. en base seca, empleando los gases del precalentador. En los molinos de rodillos el material se muele debido principalmente a las fuerzas compresoras entre un conjunto de rodillos y una mesa de molienda horizontal rotatoria. Resortes o sistemas Hidráulicos, presionan los rodillos contra la mesa. El producto del molino es llevado a través del flujo de aire a dos ciclones, en donde el 95 % del material es separado del aire. Los gases que salen de los ciclones son llevados a un colector de polvos en donde se separa el polvo fino remanente. El material que sale de los ciclones junto con el que se separa del aire en los colectores de polvo, es enviado hacia el silo de crudo. La descarga en el silo se efectúa por medio de una caja de distribución de tipo "tela de araña".

En el silo de crudo se lleva a cabo la homogeneización de la harina cruda. El silo tiene un diseño de cono invertido, la homogeneización se realiza por medio de compresores que suministran aire comprimido con una presión de 5 bares necesarios para realizar la homogeneización dentro del silo.

D).- Horno: El área del horno se ocupa desde la alimentación del precalentador con la harina

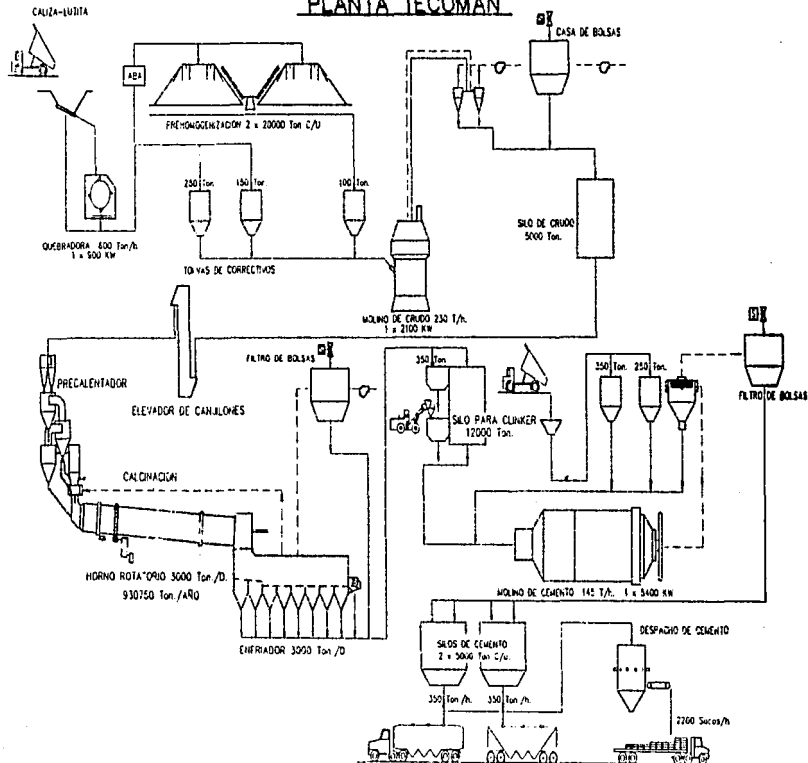
cruda seca y homogeneizada, hasta el almacenamiento del clinker (tanto en el silo como en el domo) obtenido en el horno. El proceso de calcinación consiste de un precalentador de cuatro etapas de ciclón en donde el crudo queda en suspensión en la corriente de gases del horno donde tiene lugar una transmisión de calor extremadamente eficaz, y ocurre la descarbonatación del crudo. En las etapas del ciclón, la harina cruda se introduce en el conducto de gas de entrada. El intercambio de calor tiene lugar durante el transporte neumático del crudo a través de este conducto en flujo concurrente con el gas. Acto seguido un ciclón separa las partes sólidas de las gaseosas. Ambas partes presentan aproximadamente la misma temperatura.

El material que sale del precalentador entra a un horno rotatorio de 4.3 m. de diámetro y 55 metros de largo, soportado por dos llantas. Dentro del horno se lleva a cabo la clinkerización, con ayuda de un quemador principal que produce una flama producto de la combustión de combustóleo. Entre el 35 y 40 % del total del combustible es usado en el horno y el resto se emplea en el precalentador. El producto de la clinkerización es bruscamente enfriado a la salida del horno en un enfriador de parrillas con 7 compartimientos. Aire frío del exterior es alimentado por medio de ventiladores a los compartimientos por abajo de las parrillas que presentan perforaciones para dejar pasar el aire. El clinker frío (aprox. 120 °C) entra a una trituradora y después de esto es transportado al silo de clinker (12,000 ton.), o al domo de clinker (48,000 ton.), para su almacenamiento.

E).- Molinos de Cemento: La responsabilidad del área de cemento se inicia desde el suministro del clinker que proviene del silo o del domo de clinker al molino de cemento, hasta el almacenamiento del mismo en los cuatro silos de cemento (5,000 ton. cada uno). Ambos molinos son tubulares de 5 m. de diámetro y 14.5 m. de longitud. Constituyen un circuito cerrado y consisten de un molino de bolas con dos cámaras y una descarga final. Las cámaras están divididas por un diafragma que solo permite la salida del polvo fino con la corriente de aire y aísla las bolas de ambas cámaras que se encuentran clasificadas por sus tamaños. La molienda se realiza debido al impacto y a la fricción entre las bolas y el revestimiento. El material acabado se retira del molino y se separa en un clasificador. El material de tamaño excesivo regresa a la entrada del molino, y el aire es llevado a un colector de polvo que retiene las partículas finas del aire (este polvo es incorporado al material que se almacena en los silos).

PROCESO DE FABRICACION DE CEMENTO

"PLANTA TECOMAN"



CAPITULO 2

IMPORTANCIA DEL SELLADO EN UNA PLANTA CEMENTERA

2.1.- CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE: ASPECTO NORMATIVO.

En la actualidad el hombre se está formando una nueva conciencia de su presencia en el planeta. Gracias a los resultados de las investigaciones sobre el impacto en la naturaleza de todas las actividades humanas, hemos descubierto lo frágil del equilibrio de los ecosistemas. Día con día, las regulaciones gubernamentales que protegen a la naturaleza, son con tolerancias mas estrechas con el fin de preservar el patrimonio de la humanidad. En las empresas modernas la contaminación ya no es aceptada en ninguna de sus formas, y se diseñan procesos con dispositivos de control para proteger el medio ambiente. Esto se realiza sustentado sobre normas tanto nacionales como internacionales, que regulan las actividades industriales y que tienen como objetivo la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente. En México las industrias se tienen que apegar a la "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente", que fue decretada por el H. Congreso de la Unión y publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 28 de enero de 1988.

2.1.1.- EMISIONES A LA ATMOSFERA.

El polvo puede causar contaminación en aire, agua, suelo y biota. Las industrias cementeras principalmente son fuentes de contaminación del aire debido al manejo de materiales muy finamente pulverizados, aunque pueden existir otras formas de contaminación. El interés de este trabajo centra su atención en las emisiones fugitivas de partículas solidas, debido a que el diseño de la planta de cementos Apasco en Tecomán fue realizada bajo las normas mas estrictas a nivel internacional, y es considerada como un prototipo de la nueva industria cementera.

Cada una de los ramas industriales tiene una norma especifica de acuerdo a su actividad industrial; la industria cementera esta regulada por la Norma Oficial Mexicana para la industria del Cemento en materia de protección ambiental. En la Norma 0-40-ECOL-93: se establecen los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas, así como los requisitos de control de emisiones fugitivas provenientes de fuentes fijas dedicadas a la fabricación de cemento:

En la tabla 2.1 se señalan los Niveles máximos permisibles de emisión de partículas sólidas a la atmósfera en procesos de calcinación.

Tabla 2.1

Proceso de calcinación	Niveles máximos permisibles de partículas en kg./hr.
Menor a 300 ton./hr.	$0.6319 (C)^{0.7502}$
Igual o mayor a 300 ton./hr.	0.15 (C)

Dónde C = Cantidad de material alimentado a hornos de calcinación en toneladas por hora.

En la tabla 2.2 se indican los niveles máximos permisibles de emisión de partículas en operaciones de trituración, molienda y enfriamiento de clinker.

Tabla 2.2

Operación	Niveles máximos permisibles de partículas mg./m ³ N ¹
Trituración	80
Molienda de materia prima sin secador integrado	80
Molienda de materias primas con unidades de secado integrados que utilicen combustibles fósiles	380
Molienda de Cemento	80
Enfriamiento del Clinker	150

Dónde N1 = Volumen a condiciones normales, base seca.

De no cumplir las empresas con los preceptos de la Ley, sus reglamentos y disposiciones que de ella emanen, constituyen infracción y serán sancionadas

administrativamente de acuerdo a la misma Ley (Art. 171): I.- Multa por el equivalente de 20 a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento de imponer la sanción; II.- Clausura temporal o definitiva, parcial o total, y III.- Arresto administrativo hasta por treinta y seis horas.

2.2.- IMAGEN DE LA INDUSTRIA CEMENTERA.

Cementos Apasco tiene una Misión con respecto al medio ambiente: "Estamos plenamente comprometidos con la preservación del medio ambiente y es por ello que todas nuestras actividades se desarrollan buscando la salvaguarda de nuestro futuro común". Esta misión da origen a una política de protección y respeto por la naturaleza, que guía las actividades en esta empresa.

La "Imagen Tradicional" de las plantas cementeras, es de industrias altamente contaminantes por emisiones de polvo. Estos polvos que se escapan de ellas dañan los lugares en donde se ubican, porque el impacto de estas plantas sobre la naturaleza es muy alto. Modifican el ambiente, causan problemas ecológicos y riesgos a la salud de los que están expuestos a ellas. Los polvos llegan a tener desde 0.5 micras hasta 150 micras de diámetro. Cuanto mas pequeño es el polvo, mas peligrosa es su absorción , pues con mayor facilidad puede llegar a los alvéolos pulmonares. Todo esto ha provocado que dichas plantas no sean deseadas y que la gente vea en una marca un enemigo de la naturaleza. Estas plantas crearon la necesidad de regulaciones gubernamentales para controlar sus actividades y así evitar que continúen deteriorando los ecosistemas.

La "Imagen de Apasco" es la de una industria moderna preocupada de preservar el medio ambiente, y estrechamente relacionada con el entorno en donde se ubica. Con su ejemplo se busca restaurar la imagen de la industria cementera, que se encuentra muy deteriorada por las antiguas plantas de producción. Desde la concepción del proyecto se diseñan las instalaciones con equipos de control de contaminantes y se planean las actividades para cumplir con todas las normatividades tanto inmediatas como futuras.

Con esta nueva imagen se han tenido grandes beneficios económicos por reducción de pérdidas de cemento durante la producción, menores costos en mantenimiento de equipos, localización de fallas a tiempo, menores cuotas de seguro social por tener instalaciones con menores riesgos para la salud y mejores condiciones de seguridad

industrial con la consecuente reducción de los accidentes, manejo mas eficiente de los materiales y por lo tanto, reducción de los desperdicios, además se ha logrado un aspecto agradable en el centro de trabajo.

2.3.- IMPORTANCIA DEL SELLADO EN UNA PLANTA CEMENTERA.

Los aspectos normativos y de imagen, crean la necesidad de estar preparados para cualquier contingencia en una planta cementera. A pesar de que todos los equipos de control son instalados por el diseño apegado a las normas y a planes de control, se pueden presentar en forma inesperada "Emisiones Fugitivas". Estas Emisiones Fugitivas deben ser controladas en tiempo y en forma adecuada, para minimizar el daño al entorno y a la imagen. Disponer de un material que selle una fuga de material finamente molido en un equipo de transporte de material y almacenamiento, resulta de vital importancia cuando se tiene fija la atención de las autoridades en las actividades que se están desarrollando y cuando se desea penetrar con la imagen un mercado.

2.4.- SOLUCION AL PROBLEMA DE SELLADO DE EMISIONES FUGITIVAS.

En esta tesis se propone la formulación de la plastilina epóxica y la plastilina agente de curado como una alternativa para resolver el problema de sellado en caso de emisiones fugitivas que son consideradas como un caso de contingencia. Tener en el almacén preparadas la plastilina epóxica y la plastilina agente de curado resolvería en muy poco tiempo el problema de una fuga de material finamente molido, a lo largo de todo el proceso de fabricación de cemento, dadas las características y propiedades propias de las plastilinas que vamos a formular.

CAPITULO 3

COMPUESTOS PARA MODELAR Y PRODUCTO MODELADO

3.1.- COMPUESTOS PARA MODELAR (PRODUCTO FABRICADO).

Se van a producir dos plastilinas que denominaremos compuestos para modelar, debido a que estas tendrían propiedades plásticas antes de mezclarse, en el momento del mezclado y posteriormente durante su modelado, en un periodo de tiempo de trabajo aproximado de 89 minutos ⁽¹⁾. Es indispensable producir las dos plastilinas por separado, para que el usuario (consumidor) pueda trabajar el material en la forma y el tiempo que él mismo requiera. Las plastilinas deberían de mezclarse completamente para que reaccionen, modelarse según su aplicación y esperar un tiempo aproximado de 120 minutos ⁽²⁾, antes de obtener el producto final ya modelado. El tiempo que transcurre desde que se inicia la reacción al mezclar las plastilinas y que termina con el material ya fraguado (duro), cuando se agotan los reactivos que constituyen las plastilinas, se conoce como " Tiempo de Curado ". Se deben agregar pequeñas cantidades de agua para facilitar la mezcla, pero además, es necesario hacerlo, debido a que el agua favorece la reacción de Fraguado, tanto en las resinas ⁽³⁾ como en el cemento y la resistencia final del producto dependería no sólo de las resistencias logradas por las resinas, sino también, de las resistencias alcanzadas por la hidratación del cemento, que serían máximas a los 28 días aproximadamente.

3.1.1.- CARACTERISTICAS ESPERADAS DEL PRODUCTO FABRICADO.

Las dos plastilinas que se van a producir deberán cumplir con las características que se enlistan a continuación, para que puedan ser empleadas en el sellado de fugas de materiales sólidos finamente pulverizados, aplicándolas en equipos de transporte y almacenamiento en la planta cementera:

A).- El producto deseado es un semisólido de buena apariencia, textura uniforme y consistencia plástica similar a la que popularmente conocemos como "Plastilina" . La consistencia y textura deben ser tales, que hagan que el producto, sea fácil de mezclar, manipular y modelar.

B).- Es importante reconocer el punto final de la mezcla de las dos plastilinas antes de su aplicación, por lo tanto, deberá emplearse un pigmento en la plastilina agente de curado para que el usuario tenga la certeza de su buen empleo y se obtengan las máximas propiedades del producto.

C).- El producto ya mezclado deberá presentar buena adherencia con diversos sustratos y

no deberá ser afectada su adhesividad por la presencia de polvo durante la aplicación.

D).- Deberá endurecer en un tiempo mínimo razonable, pero que a la vez, permita modelar con cierta libertad de tiempo.

E).- El producto fraguado debería tener gran resistencia física y química.

G).- Deberá ser fácil de producir y con calidad.

3.1.2.- LAS PLASTILINAS

Los constituyentes de las plastilinas se muestran en la siguiente tabla.:

Plastilinas	Resinas	Carga	Pigmento
Plastilina Epóxica	Resina Epóxica	Cemento	
Plastilina Agente de Curado	Resina Poliámidas	Cemento	Blanco Dióxido de Titanio

3.1.2.1.- LA PLASTILINA EPOXICA.

La Plastilina Epóxica estará constituida por una Resina Epóxica y una Carga, que en este caso sería Cemento Portland Tipo I . Los dos compuestos serían íntimamente mezclados hasta obtener un sólido plástico. La relación de la cantidad de resina entre la cantidad de cemento, determina la consistencia final de la plastilina. La cantidad de cemento empleado en la fabricación de la plastilina estaría limitado por la consistencia final que se requiera para obtener una mezcla que contenga propiedades de plasticidad para su fácil manipulación y modelado. La Resina Epóxica esta formada por polímeros (polímero es simplemente una molécula muy larga formada por la unión de muchas pequeñas moléculas conocidas como monómeros)⁽⁴⁾ termoplásticos, que se encuentran unidos entre cadenas moleculares por atracciones secundarias (Fuerzas de Vander Waals). Estas atracciones entre moléculas se contrarrestan al elevar la temperatura de la resina, disminuyendo las fuerzas de atracción entre moléculas, dando como resultado la fusión del polímero ⁽⁵⁾. Esta característica resulta ventajosa, debido a que antes del mezclado con la plastilina agente de curado, se puede aplicar un poco de calor a cada una de las plastilinas para facilitar su posterior mezclado.

3.1.2.2.- LA PLASTILINA AGENTE DE CURADO.

La plastilina epóxica no reacciona para endurecer por sí misma debido a que la resina epóxica contenida en ésta, requiere de una resina agente de acuerdo para transformarse de un polímero termoplástico en un polímero termo fijo, por medio de una reacción de polimerización "(ver inciso 1.2.). La resina agente de curado estaría contenida en la plastilina agente de curado, y sería necesario mezclar ambas plastilinas (plastilina epóxica y plastilina agente de curado) para obtener el producto final completamente fraguado, después de finalizada la reacción entre ambas resinas.

La Plastilina Agente de Curado estaría constituida por una resina Poliamida, Dióxido de Titanio como Pigmento y Cemento como carga, al igual que la plastilina epóxica. La resina Poliamida es también un polímero termoplástico que no reacciona por sí misma, pero una vez mezclada con la resina epóxica, polimeriza obteniéndose las propiedades físicas y químicas esperadas, debido a la reacción entre los dos polímeros.

El objetivo de adicionar un pigmento a esta plastilina, es el de poder observar el punto exacto de la mezcla entre las dos plastilinas, para que reaccionen las cantidades de ambas resinas totalmente.

3.2.- PRODUCTO MODELADO (PRODUCTO FINAL).

El producto final que se obtiene al mezclar las dos plastilinas es un sólido estable, con excelentes propiedades físicas y químicas. Esta será el resultado de una reacción de polimerización entre la resina epóxica y la resina poliamida como ya se mencionó, originando una estructura polimérica con un alto grado de entrecruzamiento, dando al producto la característica de ser estable y resistente. A los polímeros con estas estructuras se les conoce como "Termo fijos ", debido a que prácticamente son insensibles a la aplicación de calor, siempre y cuando, no se alcance su temperatura de descomposición.

Además de la reacción de hidratación del cemento, es probable que se efectúe la reacción entre los grupos químicos de las resinas y el cemento, como lo haría las resinas con cualquier otro sustrato debido a sus magníficas propiedades adhesivas. La adherencia de los adhesivos se debe a dos fuerzas de adherencia. La principal es debida a las fuerzas de Vander Waals ocasionadas por la fuerza de atracción entre el adhesivo y el sustrato; la segunda que es más fuerte cuando existe, se debe a los enlaces químicos del sustrato con el adhesivo. ⁽⁶⁾ La fuerza de adhesividad está directamente relacionada con la preparación

de la superficie, debido a que una superficie limpia incrementa la tensión superficial, y por ende, la adhesión ⁽⁷⁾.

Este producto ya fraguado puede ser trabajado con herramientas y materiales para darle acabado final o bien se puede dejar tal cual, después de su modelado.

- (1).- Del Handbook of Epoxy Resins por Lee and Neville, Mc Graw Hill Inc., 1967.
- (2).- "Euredur 3125 (Reactive Polyamide Resin)", Schering Berlin Polimers Inc., Technical Bulletin
- (3).- Ver reacción de curado resina epóxica-amina terminal en el inciso 4.2.2.
- (4).- Simonds, H.R. & Church, J.M., "A Concise Guide to Plastics", Van Nostrand Reinhold, New York, 1963.
- (5).- Deanin, R.D., "Polymer Structure Properties and Aplications", Cahners Books, Boston, Massachusetts, 1972.
- (6).- Skeist, I., "Handbook of Adhesives", Van Nostrand Reinhold, New York, 1977
- (7) - Cagle, C.V., "Handbook of Adhesives Bonding, Mc Graw Hill, New York, 1973.

CAPITULO 4

DESCRIPCION GENERAL DE LAS MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN LA FORMULACION

4.1.- LAS RESINAS EPOXICAS.

Las resinas epóxicas se definen como cualquier molécula, que contenga uno o más de un grupo epoxi (ya sea que estén situados internamente, terminalmente, o en una estructura cíclica) capaz de ser transformada en su estructura termoplástica a termofija en su forma útil. El termino se emplea para indicar la resina en ambas formas: Termoplástico (sin curar) y termofijo (curado) ⁽⁸⁾.

El término epoxi indica la presencia de grupos químicos, que están constituidos, por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono, formando un anillo conocido como "anillo epóxico ".



ANILLO EPOXICO O ETER GLICIDICO

4.1.1.- LAS RESINAS EPOXICAS DE BISFENOL A / EPICLORHIDRINA.

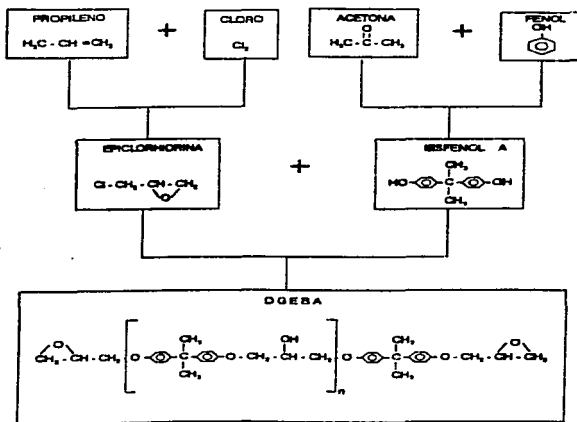
Existen una gran variedad de resinas epóxicas con características y usos específicos, sin embargo, las resinas comerciales mas comunes, son las de Diglicidil Éter de Bisfenol A (DGEBA) ⁽⁹⁾ . Estas resinas son las que vamos a emplear en la formulación de la plastilina epóxica, por ser las más convenientes por sus características para nuestros fines. Este tipo de resinas son útiles para modelado, laminación, como adhesivo y para recubrimientos. Seleccioné para nuestra formulación la resina epóxica D.E.R. 331 producida por DOW, debido al apoyo técnico y la información tan extensa que recibí de esta compañía. Existen diferentes empresas que producen estas resinas; en la siguiente tabla se muestra algunos productos comerciales equivalentes utilizados comúnmente. Las propiedades, características y la calidad son similares en todas ellas.

Productos ⁽¹¹⁾	Marca	EEW ⁽¹⁰⁾	Viscosidad (Cp a 25 °C)
EPON 828	SHELL	182-190	11 000-14 000
D.E.R. 331	DOW	182-190	11 000-14 000
EPI-REZ 510	CELANESE	180-200	10 000-14 000
ARALDITE 6010	CIBA-GEIGY	185-192	12 000-16 000

El EEW es el peso equivalente epóxico. Este expresa la reactividad de las resinas epóxicas y se define como el peso molecular de cada grupo reactivo. La molécula de DGEBA que utilizaremos, tiene un peso molecular de 380 aproximadamente, y dos grupos epoxi reactivos, por lo tanto, el EEW debe ser de 190 aproximadamente ⁽¹²⁾.

4.1.2.- OBTENCIÓN DE LAS RESINAS EPOXICAS DE BISFENOL A / EPICLORHIDRINA ⁽¹³⁾.

Estas resinas se producen por el siguiente proceso:



(8).- Schwartz S.S. & Goodman, S.H., "Plastics Materials and Processes", Van Nostrand Reinhold, New York, 1962.

(9).- Driver, W.E., "Plastics Chemistry and Technology", Van Nostrand Reinhold, New York, 1970.

(10).- EEW= Peso Equivalente Epóxico.

(11).- "Epon Resins for Fiber Glass Reinforced Plastics", Bulletin SC:7225, January 1972.

"Dow Liquid Epoxy Resins", Dow Chemical Company, Midland, Michigan, 1966.

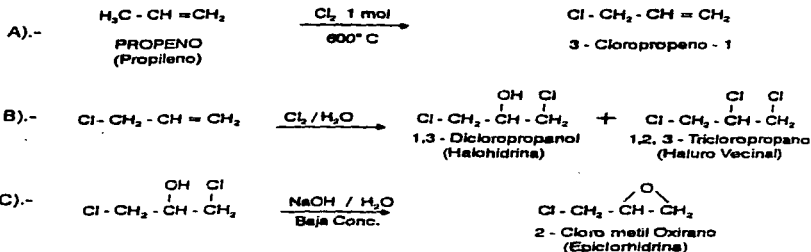
"Celanese Resins. Epoxy Adhesives", Technical Bulletin 0067.

"Araldite Epoxy Resins in the Electrical and Electronics Industries", Bulletin 650,517/R469.3M.

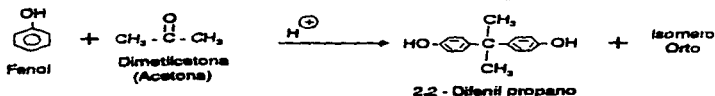
(12).- "General Guide Formulating With Dow Epoxy Resins", Dow Chemical Company, Midland, Michigan.

(13).- Sorenson, W.R. Campbell, T.W., "Preparative Methods of Polymer Chemistry", Interscience, New York, 1961.

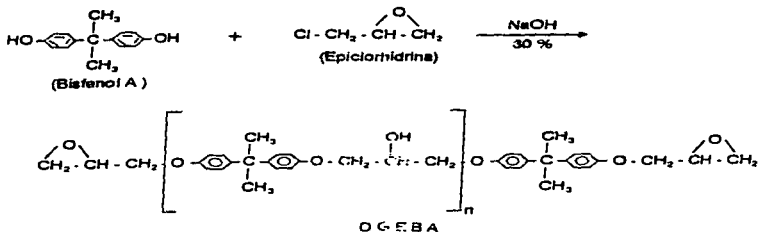
4.1.3.- REACCION GENERAL PARA LA OBTENCION DE EPICLORHIDRINA⁽¹⁴⁾.



4.1.4.- REACCION GENERAL PARA LA OBTENCION DEL BISFENOL A⁽¹⁵⁾.



4.1.5.- REACCION GENERAL PARA LA OBTENCION DE LA RESINA EPOXICA DE DGEBA⁽¹⁶⁾.



(14) - Wingrove, A.S. & Caret, R.L., "Química Orgánica", Haria, México, D.F., 1984.

(15) - Driver, W.E., "Plastics Chemistry and Technology", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1979.

(16) - Schwartz, S.S. & Goodman, S.H., "Plastics Materials and Processes", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1982.

La reacción se lleva a cabo después de 16 hr. a 110 ° C., con una solución de sosa al 30 %, que es adicionada lentamente. El compuesto orgánico resultante, es una capa que es separada, secada con sulfato de sodio y fraccionada por destilación bajo vacío. El producto final es el Diglicidil Éter de Bisfenol A, que tiene un peso molecular de 380 aproximadamente. Las resinas líquidas corresponden a $n = 0$ hasta $n = 0.3$; este tipo de resinas epóxicas son útiles para modelado, laminación, adhesivos y recubrimientos. Existen otras versiones de resinas sólidas, que requieren de calor para fundirse, con alto peso molecular y $n = 1-10$, que se pueden obtener de la misma reacción, reduciendo la cantidad de epiclorhidrina en exceso, y haciéndola reaccionar en condiciones alcalinas más severas, sin embargo, estas resinas, no son útiles, para nuestro propósito de fabricar plastilinas epóxicas, debido a que a temperatura ambiente son sólidas.

4.2.- LOS AGENTES DE CURADO.

Como ya se mencionó, la conversión de las resinas epóxicas de un líquido termoplástico a un sólido termo fijo, se lleva a cabo, por la adición de un compuesto químico activo llamado "Agente de Curado". La conversión se efectúa por la unión de las moléculas en los centros reactivos resultando moléculas tridimensionales de polímeros entrecruzados⁽¹⁷⁾.

Las resinas epóxicas pueden ser polimerizadas con una gran variedad de agentes de curado. La selección del agente de curado, depende de las aplicaciones técnicas, tiempo de curado requerido, condiciones de curado y propiedades físicas deseadas. El agente de curado determinará el enlace químico formado, la longitud de las cadenas y el grado de entrecruzamiento del enlace, y como consecuencia las propiedades de los polímeros entrecruzados⁽¹⁸⁾.

El curado se puede efectuar por:

- 1.- Homopolimerización: Polimerización de un solo compuesto, en el que las moléculas de la resina epóxica se enlazan entre sí, en sus propios sitios reactivos, en presencia de un catalizador.
- 2.- Heteropolimerización: Polimerización en la que las moléculas de una resina epóxica se enlazan en los sitios reactivos del agente de curado.

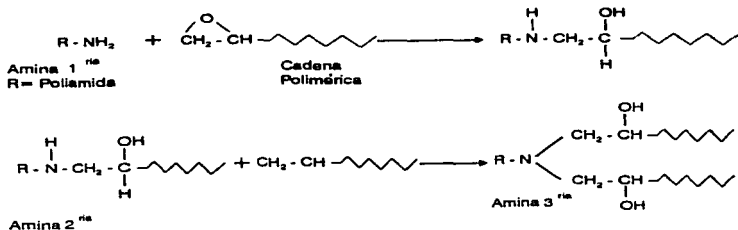
3.- Una mezcla de ambos.

El curado se realiza con agentes de curado ácidos o alcalinos y ellos pueden ser catalizadores o agentes polifuncionales, que producen entre cruzamiento de enlaces entre moléculas.

4.2.1.- RESINA POLIAMIDA.

La resina poliamida es un agente de curado alcalino de alta reactividad con las resinas epóxicas. Tienen en su estructura grupos Amido que están constituidos por nitrógenos unidos a un grupo Carboxi. ($-\text{CO}-\text{N}-\text{R}_2$). Muchas de las resinas Poliamidas usadas en la formulación de resinas epóxicas, son en realidad Amidopoliaminas que contienen grupos Amino-terminales que reaccionan con el grupo epoxi. Los mecanismos de reacción no se encuentran reportados en la literatura de las resinas epóxicas, sin embargo, se cree que los grupos funcionales Amino reaccionan internamente con los grupos Epoxi, sin reaccionar con la estructura Poliamida, por lo tanto, los mecanismos son similares a los de las Aminas Primarias y Secundarias⁽¹⁹⁾. La reacción típica de una Amina con un grupo Epoxi tiene la secuencia mostrada en el siguiente inciso.

4.2.2.- REACCIÓN DE CURADO RESINA EPOXICA-AMINA TERMINAL DE LA RESINA POLIAMIDA.

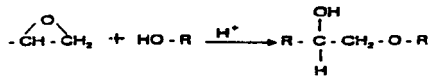


(17) - Stille, J.K., "Introduction to Polymer Chemistry", John Wiley Sons, New York, 1962.

(18) - Deanin, R.D., "Polymer Structure Properties and Applications", Cahners Books, Boston, Massachusetts, 1972.

(19) - Schwartz, S.S. & Goodman, S.H., "Plastics Materials and Processes", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1982.

Las moléculas de las resinas epóxicas pueden reaccionar con diferentes agentes de curado, o bien entre ellas con el catalizador apropiado. Los epoxi reaccionan por la apertura del anillo y para que esto suceda, es necesario que se tenga un catalizador y donadores de hidrógeno (tales como el agua o grupos hidroxilo). Los grupos hidroxilo al ser centros reactivos (son donadores de H), pueden abrir los anillos epoxi provocando un mayor grado de entrecruzamiento. Las aminas primarias y secundarias actuarían como catalizador y donadores de hidrógeno. La forma en la que reaccionan es como se muestra a continuación⁽²⁰⁾:



Como se puede observar el hidroxilo se vuelve a formar y continúa el entrecruzamiento de las moléculas.

Para estas resinas en particular, la reacción de curado se efectúa por Heteropolimerización y es exotérmica es decir, generan calor y curan a temperatura de cuarto. El resultado de la reacción de las resinas epóxicas y las resinas poliamidas son moléculas largas y pesadas.

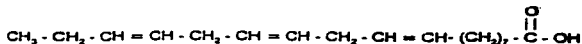
4.2.3.- OBTENCION DE LA RESINA POLIAMIDA.

La poliamida empleada en la formulación de la plastilina agente de curado, es una resina poliamida de General Mills y de Shell del tipo fluida llamada "Versamida"⁽²¹⁾. Estas Versamidas son productos de polimerización por condensación de ácidos grasos dimerizados y una poliamina. La alta reactividad de estas resinas se debe a que tienen un alto porcentaje de cadenas de polímeros ramificados, al ser producidas con aminas trifuncionales, tales como la Dietilentriamina, y un Ácido Dicarboxílico, que se obtiene mediante la reacción de Diels-Alder de dos moléculas de Ácido Graso Linoléico, que tiene enlaces dobles conjugados.

(20) y (21) - Driver, W E.. "Plastics Chemistry and Technology", Van Nostrand Reinhold, New York, 1979.

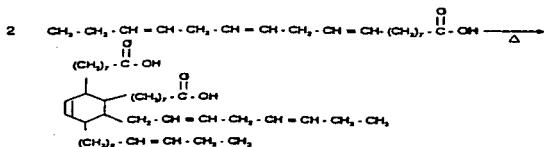
4.2.4.- REACCION GENERAL PARA LA OBTENCION DEL ACIDO DICARBOXILICO⁽²²⁾.

EL ácido graso linoléico⁽²²⁾ tiene la siguiente formula:



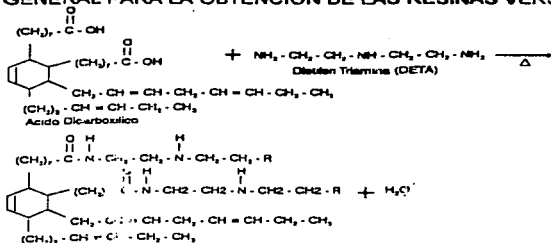
Ácido cis, cis, cis-octa-dicatrien-9, 12, 15-oico

Los dobles enlaces conjugados, reciben este nombre debido a que se encuentran en átomos adyacentes a un átomo de carbono. La reacción de Diels-Alder se efectúa con dienos conjugados que pueden dar ciclo adiciones térmicas con otro doble enlace⁽²³⁾.



Ácido 3-ciclohexen-5-(cis-3-hexenil)-(cis, cis-2, 5-octadienil)-1, 2-dioctanoico

4.2.5.- REACCION GENERAL PARA LA OBTENCION DE LAS RESINAS VERSAMIDAS⁽²⁴⁾.



Verenidos

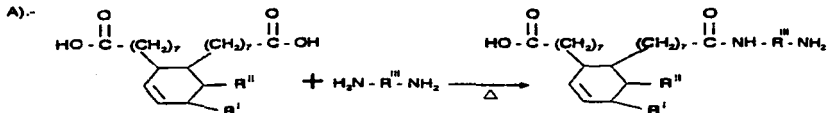
R = Unidades adicionales de ácido dimérico o amina

(22).- Schumm, M.K., "Understanding Organic Chemistry", Mac Millan Publishing Co., Barcelona, 1987.

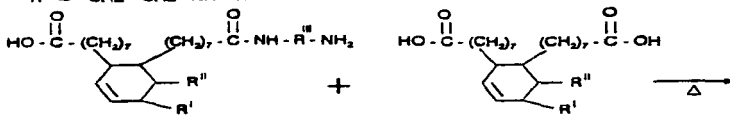
(23).- Wingrove, A.S. & Caret, R.L., "Química Orgánica", Harla, México, D.F. 1984.

(24).- Driver, W.E., "Plastics Chemistry and Technology", Van Nostrand Reinhold, New York, 1979.

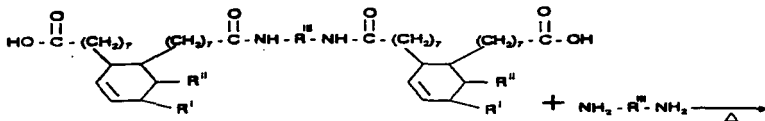
El polímero se forma al irse alternando el Ácido Carboxílico y la DETA en largas cadenas de moléculas. Esta reacción se conoce como " Polimerización por Condensación " debido a que se condensa agua como producto secundario.



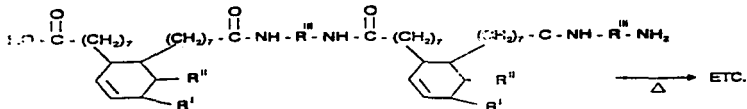
Donde: $\text{R}^{\text{I}} = (\text{CH}_2)_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
 $\text{R}^{\text{II}} = \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$
 $\text{R}^{\text{III}} = -\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$



B).-



C).-



La estructura de las moléculas de la Resina Poliamida es muy compleja, dependiendo del tipo de resina, el peso equivalente va de 140 a 240, que comprende las resinas líquidas viscosas hasta las resinas sólidas que requieren de calor para ser fluidas.

En la siguiente tabla se muestran algunas de las Resinas Poliamidas de uso comercial, empleadas en la formulación para Resinas Epóxicas con EEW de 190 aproximadamente.

Producto ⁽²⁵⁾	Marca	AHEW ⁽²⁶⁾	Viscosidad (Cp)
ANCAMIDE 350	Shell	± 380	10 000 A 25 °C
EUREDUR 3125	Dow	330 - 360	8 000 - 10 000 A 40 °c
HARDENER HY-840	Ciba-Geigy	370 - 410	3 000 - 6 000 A 75 °C

El " Valor Amino " es el peso equivalente de hidrógenos amino en el agente de curado. El AHEW lo reporta el proveedor y se emplea para el cálculo de la cantidad de amina del agente de curado que se requiere para curar la resina epóxica. En el caso particular de las poliamidas y amido poliaminas, no es posible determinar con precisión la equivalencia funcional entre la resina epóxica y el agente de curado, debido a lo complejo de las moléculas, por lo tanto, los valores están basados en las propiedades de las resinas curadas⁽²⁷⁾. La resina agente de curado que emplearemos es la Euredur 3125 de Dow (equivalente a las Versamidas de General Mills).

4.3.- LAS CARGAS

Las cargas son materiales sólidos finamente pulverizados que se adicionan en las formulaciones para modificar las características y propiedades físicas. Algunas de las cargas más comunes que pueden ser incorporadas en las formulaciones son: Arena Silica, Talcos, Caolín, Carbonato de Calcio, Polvos de Aluminio, Micas, o como en nuestro caso, Cemento⁽²⁸⁾. El tipo y cantidad de carga usada, son determinados por las propiedades y características específicas deseadas. Las cargas reducen el costo de las formulaciones epóxicas, al disminuir la cantidad de resina necesaria para un fin. La adición progresiva de más carga incrementa la viscosidad y la gravedad específica del sistema⁽²⁹⁾.

Las siguientes propiedades relevantes pueden ser modificadas en las resinas con la adición de cargas⁽³⁰⁾:

(25) - "Ancamide Resins for Electrical and Electronical Industries", Shell Chemical Co., Technical Bulletin.

"Euredur 3125 (Reactive Polyamide Resin)", Schering Berlin Polimers Inc., Technical Bulletin

"Hardener HY-840, Polyamide Resin", Ciba Products Co., Technical Bulletin.

(26) - AHEW (Amine Hydrogen Equivalent Weight) = Valor Amino.

(27)y (28) - Schwarts, S S. & Goodman, S H., "Plastics Materials and Processes", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1982.

(29) - Frados, J., "Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry", 4th ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1976.

(30) - "General Guide Formulating with Dow Epoxy Resins", Dow Chemical Co., Midland, Michigan.

- **Tiempo de curado y exotermicidad:** El tiempo de curado se incrementa con la adición de cargas y la exotermicidad se reduce.

- **Resistencia al choque térmico:** Con las cargas se incrementa la resistencia al choque térmico y decrece el coeficiente térmico de expansión.

- **Encogimiento:** Al agregar cargas se reduce el encogimiento que puede sufrir el sistema durante el tiempo de curado.

- **Maquinabilidad:** La adición de cargas incrementa la maquinabilidad y la resistencia a la abrasión del producto haciéndolo más duro y por lo tanto, más apto para ser trabajado empleando máquinas o herramientas para cortarlo, perforarlo y pulirlo más rápidamente.

- **Conductividad Térmica:** Las cargas incrementan la conductividad térmica del sistema.

- **Temperatura del calor de deflexión:** Las cargas incrementan la resistencia del sistema a modificar su forma debido al incremento de la temperatura.

- **Fuerza de Impacto:** Las cargas decrecen la resistencia al impacto como consecuencia de la alta dureza del producto final.

- **Fuerza de Compresión:** Se espera un incremento en la resistencia a la compresión con la adición de cemento como resultado de la resistencia a los esfuerzos de compresión propios del cemento una vez que éste ha fraguado.

La cantidad de carga por peso de resina que se puede agregar en la formulación, depende del tamaño de partícula de la carga elegida, de su capacidad de absorción de aceite que estará en función de la porosidad de la partícula y de la densidad de la carga.

4.4.- PIGMENTOS EN LA FORMULACION

En las formulaciones con resinas epóxicas, se pueden emplear pigmentos coloridos y tintas para colorear los sistemas de resinas epóxicas-agente de curado. Los pigmentos son mucho más económicos que las tintas, motivo por el cual se prefirió utilizar un pigmento.

La necesidad de emplear un pigmento de color blanco en la formulación de las plastilinas, se debe a que al agregar el cemento a las resinas, el sistema adoptará el color gris oscuro propio del cemento. Un color diferente al blanco, haría difícil observar la mezcla de las dos plastilinas y muy probablemente, el color resultante podría no ser estéticamente agradable a la mayoría de los usuarios.

4.4.1.- PIGMENTO BLANCO: DIOXIDO DE TITANIO (TiO_2)⁽³¹⁾.

El compuesto principal de este pigmento es el Dióxido de Titanio (TiO_2). Existen dos formas cristalinas: Anastasa y Rutiló. Según su forma presentan diferentes propiedades. La propiedad más relevante de este pigmento que lo hace el mejor del mercado, es su poder cubriente y su poder colorante extremadamente elevados. En ambas propiedades, el de forma Rutiló es el mejor. Además la magnífica claridad (grado de blancura) de este pigmento, permite la producción de pinturas extremadamente blancas y tintes más limpios. Es inerte en los vehículos y resistente a la acción de la mayoría de los químicos. Presenta una absorción de aceite pequeña, magnífica fluidez, es excelentemente durable en el exterior y el color permanece prácticamente inalterable a la luz (presenta ligero oscurecimiento a la alta exposición).

(31).- Parker, D.H., Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo VII, "Tecnología de los Recubrimientos de Superficies", Urmo, Bilbao, España, 1978.

CAPITULO 5

ESPECIFICACIONES DE LAS MATERIAS PRIMAS SELECCIONADAS PARA LA FORMULACION

5.1.- RESINA EPOXICA D.E.R 331 DE DOW⁽³²⁾: LA SELECCION.

La selección se efectuó comparando propiedades, características y aplicaciones de las resinas epóxicas según información técnica de los proveedores, buscando satisfacer las características esperadas del producto fabricado.

Emplearemos una Resina Epóxica Líquida del Tipo Bisfenol A, de bajo peso molecular típica (con EEW = 190). Las versiones de DGEBA de bajo peso molecular (menor a 384) son obtenidas por el proceso explicado en el capítulo anterior con la reacción de Bisfenol A y Epiclorhidrina. El peso molecular está alrededor de 380 y es " n " es aproximadamente igual a cero. De todas las mejores de uso general son las resinas D.E.R 330 ó D.E.R 331 que presentan las siguientes ventajas: baja viscosidad, mayor uniformidad química, extensos tiempos de curado con más agentes de curado, color muy claro y mejores propiedades eléctricas. La desventaja que presentan es que debido a su pureza pueden formarse cristales en determinadas condiciones de almacenaje, inclusive podría cristalizar el 100% del contenido en el envase, pero con aplicación de calor a 50-55°C volvería a su estado original⁽³³⁾.

Las aplicaciones ideales de la resina epóxica D.E.R 331 son: Se utiliza para recubrir, sellar, laminar, en adhesivos, modelado y encapsulación.

5.1.1.- DATOS TECNICOS DE LA RESINA EPOXICA D.E.R 331: ESPECIFICACIONES⁽³⁴⁾.

Peso equivalente epóxico (EEW)	182-192
Viscosidad a 25°C (Cps)	11 000-14 000
Color APHA máx.	125
Contenido de material no volátil (% en peso):	100

PROPIEDADES TIPICAS

Libras por galón a 25°C	9.7
Gravedad específica a 20°C	1.16
Apariencia: Agua clara a líquido amarillo en semi sólido.	
Tiempo de vida:	1 Año

(32) - "Dow Liquid Epoxy Resins", Dow Chemical Company, Midland, Michigan, 1966.

(33) - "Introducing Dow Epoxy Resins", Technical Bulletin 190-17.

(34) - Las referencias de los métodos normales de prueba de las resinas epóxicas y los agentes de curado, se encuentran reportados en las Designaciones: D 4142-82, D 1763-81, D 3013-81 y F 602-82, en el Annual Book of ASTM Standards. Ver la bibliografía.

5.2.- RESINA POLIAMIDA EUREDUR 3125 DE DOW⁽³⁵⁾: LA SELECCION.

La selección del agente de curado se efectuó al igual que con la resina epóxica cotejando propiedades, características y aplicaciones individuales contra las características esperadas del producto, considerando que la poliamida funcionaría para una resina epóxica con un EEW específico, un tiempo de fraguado similar al tiempo de fraguado inicial de la carga (cemento), y viscosidad aproximadamente igual al de la resina epóxica, la aplicación de esta resina poliamida es específica y apropiada para nuestra formulación. Las principales aplicaciones de la resina a saber son: conservación y recubrimientos marinos, alfarería, modelado, encapsulación, en sistemas con carbón como carga y adhesivos.

La resina poliamida empleada, es del tipo fluidas, de mediana viscosidad y alta reactividad epoxi, obtenidas por reacción de condensación de ácidos grasos dimerizados y poliaminas. Según el número de unidades adicionales de ácido dimérico y aminas en la estructura de la poliamida, el peso equivalente varía entre 140-240. Vamos a emplear esta poliamida debido a las siguientes ventajas que se obtienen con su uso: excelente resistencia química y a la corrosión, excelente adhesión, buena resistencia al agua, buena compatibilidad con pigmentos y absorción de cargas, cumple con los requerimientos de la FDA.

5.2.1.- DATOS TECNICOS DE LA RESINA POLIAMIDA EUREDUR 3125: ESPECIFICACIONES⁽³⁶⁾.

Valor amino	330-360
Viscosidad a 40°C (Cp)	8000-12000
Color Gardner	9 máx.

PROPIEDADES TIPICAS.

Relación de mezcla	50-70
Libras por galón a 25°C	8.1
Apariencia: Limpia y libre de partículas extrañas	
Temperatura de inflamación (°C)	> 110
Tiempo de vida:	1 año

(35) - "General Guide Formulating with Dow Epoxy Resins", Dow Chemical Co., Midland, Michigan.

(36) - "Euredur 3125 (Reactive Polyamide Resin)", Schering Berlin Polimers Inc., Technical Bulletin.

5.3.- CEMENTO PORTLAND T-I NORMAL: ESPECIFICACIONES.

El Cemento Portland T-I Normal empleado en ambas plastilinas es aquel que se produce de acuerdo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-C-1-1980 "Industria de la Construcción Cemento Portland"⁽³⁷⁾ que debe cumplir el Cemento Portland de acuerdo a su tipo. Los métodos normales de prueba son establecidos en la norma y debido a lo extenso de estos, no es posible incluirlos en el presente trabajo.

5.3.1.- ESPECIFICACIONES QUIMICAS.

COMPUESTOS	%
Pérdida por calcinación máx.	3.0
Oxido de Silicio (SiO_2)	21.20-21.80
Oxido de Aluminio (Al_2O_3)	5.10-5.60
Oxido Férrico (Fe_2O_3)	3.10-3.60
Oxido de Calcio (CaO)	64.80-66.40
Oxido de Magnesio (MgO) máx.	5.0
Anhidro Sulfúrico (SO_3) máx. cuando (C_3S) es mayor de 8%	3.5
Residuo insoluble máx.	0.75
Alcalis totales ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$) máx.	1.0
Silicato Tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) mín.	56.0
Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) mín.	8.0

5.3.2.- ESPECIFICACIONES FISICAS:

CARACTERISTICAS

Finura, superficie específica, cm^2/gr .	
Método de permeabilidad al aire	3600-3700
Porcentaje de gruesos retenidos en malla de 45 micras máx.	4.0

(37) - Ver bibliografía números 6 y 34.

Sanidad (prueba de autoclave) expansión máx. en %	0.80
Tiempo de fraguado. Método Vicat:	
Fraguado inicial en minutos	120-150
Fraguado final en minutos máx.	350
Resistencia a la compresión, Kg.f / cm. ² en cubos de mortero 1/2.75 en masa (arena graduada estándar), relación agua/cemento constante de 0.485 :	
Valores mínimos:	
A los 3 días	130
A los 7 días	200
Fraguado falso, penetración final, mín. % (método de pasta de cemento).	50

5.4.- PIGMENTO BLANCO DIOXIDO DE TITANIO (TiO₂): LA SELECCION.

La selección del mejor pigmento para un sistema epóxico se basa en la compatibilidad de éste con el agente de curado, de la estabilidad del pigmento en las condiciones a las que va a ser expuesto el sistema y el costo.

Existen diferentes pigmentos evaluados en la "General Guide Formulating With Dow Epoxy Resins" según el sistema constituido por la resina epóxica D.E.R 331 y el agente de curado poliamida. En esta evaluación se probó la compatibilidad, la estabilidad del color a 160°F durante 60 días y la estabilidad del color después de 200 a 600 hrs. de exposición a la intemperie. Después de la prueba, el pigmento no sufrió alteraciones significativas (ligero oscurecimiento). En la guía solo se presenta el pigmento dióxido de titanio como opción de el color blanco y el motivo es el de las excelentes propiedades que éste presenta como se puede ver en el inciso 2.4.1..

5.4.1.- PIGMENTO BLANCO DIOXIDO DE TITANIO: ESPECIFICACIONES.

El pigmento blanco dióxido de titanio que emplearemos es del Tipo III de Rutiló, de

acuerdo a la Especificación Normal para Pigmentos Dióxido de Titanio, Designación ASTM: D 476-84 (reaprobada 1989)⁽³⁸⁾. El pigmento sería preparado químicamente y enriquecido con sílica (SiO_2) amorfa para incrementar su resistencia . El pigmento no contendrá extendedores como sulfato de bario, caolín, etc.. Según la especificación nos resulta de interés sus aplicaciones típicas de acuerdo al tipo: Se utiliza en esmaltes con porcentajes medios a altos de poder cubriente⁽³⁹⁾ para pinturas alquídicas y emulsiones utilizadas en paredes lisas.

De acuerdo a la Norma ASTM D 476-84 los requerimientos de composición, para los pigmentos de dióxido de titanio del tipo III de Rutilón⁽⁴⁰⁾:

Dióxido de Titanio (TiO_2), min. %	80
Materia insoluble en agua, resistencia específica, ohm cm.	3000
Humedad y otros materiales volátiles (pérdidas a 105-110°C) máx. %	3.6-4.3
Partículas toscas (residuo total retenido en malla de 45 micras. (No. 325) máx., %	0.2

(38)- Annual Book of ASTM Standards, Designation: D 476-84 (Reapproved 1989), "Standard Specification for Titanium Dioxide Pigments", Philadelphia, 1989

(39)- El poder cubriente se refiere a la capacidad de un pigmento para cubrir los sustratos cuando se incorpora en un medio y se extiende sobre una superficie en una partícula de grosor uniforme.

(40)- Los métodos de prueba están referidos en la misma norma Designation: D 476-84, "Standard Specification for Titanium Dioxide Pigments".

CAPITULO 6

FORMULACION DE LA PLASTILINA EPOXICA Y LA PLASTILINA AGENTE DE CURADO POLIAMIDA

6.1.- CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA FORMULACION.

Los compuestos empleados para la formulación de las dos plastilinas son aquellos que cumplen con las características esperadas del producto fabricado (ver 3.1.1). A partir de las características esperadas, se crearon las siguientes Características Técnicas de la Formulación del " Producto Fabricado":

A).- El producto fabricado es un sistema de dos componentes termoplásticos (resina epóxica y resina poliámidica), que se pueden mezclar en el momento en el que se van a emplear, y que se transforman en termo fijos en su forma útil, después de haber reaccionado completamente. El tiempo de curado de las resinas sin cemento y pigmento es de 120 minutos.

B).- El sistema, es un sistema modificado con una carga que es un ligamento inorgánico hidráulico (cemento Portland Tipo I). Se requieren modificar las propiedades del sistema, con el fin de obtener dos productos que individualmente y al mezclarlos sean fácilmente modelables y capaces de rellenar.

C).- Para hacer el producto modelable, la consistencia, textura y apariencia de ambos componentes por separado, deberá ser similar a lo que se conoce como "plastilinas". Para lograr dichas características es necesario:

- * Emplear resinas con baja viscosidad. Para tener viscosidades bajas en la resina epóxica se requiere un EEW de 190 aprox., y una AHEW de 340 aprox. en la resina poliámidica. Estos valores corresponden a resinas de bajo peso molecular.

- * Agregar cargas con alto factor de abultamiento, buena absorción de aceite y muy baja distribución de tamaño de partículas para obtener una textura suave. Esto se logra empleando una carga con un alto grado de superficie específica (cm.²/gr.). El cemento Portland Tipo I que se utilizara, tiene una superficie específica alta (3,600-3,700 cm.²/gr.).

D).- El pigmento para indicar el punto final de mezclado del sistema se utiliza el mejor pigmento blanco en el mercado. El dióxido de titanio tipo III de rutiló es compatible con el sistema, resistente y estable en las condiciones de operación para el sellado de equipos de proceso en la planta cementera.

E).- El sistema presenta buena adhesividad en diferentes sustratos, y debido a su

naturaleza, no es afectado durante su aplicación por el polvo o el agua..

F).- El tiempo de curado es tal que permite trabajar el producto fabricado con cierta holgura de tiempo y el curado realizarlo a temperatura de cuarto. El tiempo de trabajabilidad será entre 52 a 102 minutos⁽⁴¹⁾, dependiendo de la cantidad de cemento que se adicione (a mayor carga, mayor tiempo de trabajabilidad y de curado).

G).- El producto, después de modelado es un sólido, con buenas propiedades físicas, resistencia a los químicos, solventes y al calor. No presentaría alteraciones como encogimiento o deformación, antes y después de curado. Su modulo de ruptura con solo 20 % de cemento es de 14,370 PSI⁽⁴²⁾.

H).- No es tóxico. Cumple con las regulaciones de la FDA (Food and Drug Administration), certificado por el proveedor de las resinas.

I).- El producto final es fácilmente maquinable y se puede dar acabado final si se desea.

6.2.- LA FORMULACION DEL PROTOTIPO.

Requerimos crear un prototipo por medio de pruebas con diferentes proporciones de las materias primas, hasta obtener el producto que cumpla con las características técnicas de la formulación, que han sido parcialmente cubiertas al haber seleccionado las materias primas.

La formulación consiste en:

A).- Seleccionar el tipo de materias primas necesarias para cumplir con las características de productos esperados (producto fabricado y producto final). Esta selección ya fue realizada en los capítulos anteriores.

B).- Determinar las cantidades de materias primas que cumplan con las características técnicas de la formulación para obtener el prototipo.

C).- Dar la secuencia de pasos para la elaboración del prototipo.

(41) - Schwarts, S S. & Goodman, S H , "Plastics Materials and Processes", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1982.

6.2.1.- BASES PARA LA FORMULACION DEL PROTOTIPO

Las bases para completar la formulación del prototipo, centran su atención en los siguientes puntos:

- 1).- Determinación experimental de la consistencia de las plastilinas que permita su fácil modelado. La relación de la cantidad de resina entre la cantidad de cemento, definirá la consistencia de las plastilinas y el valor dependerá enteramente de pruebas sensoriales. Durante estas pruebas se buscaría la máxima adición de cemento para reducir el costo de la formulación, pero sin olvidar por ningún momento la necesidad de cumplir con la característica de ser modelable. Posteriormente mediante un método normal de prueba se conocería el valor de dicha consistencia que sería el estándar a cumplir.
- 2).- Comprobar experimentalmente que la cantidad de pigmento de dióxido de titanio igual a $PHR^{(42)} = 3.0$, recomendado en la "General Guide Formulating With Dow Resins", es la adecuada para visualizar el punto final de la mezcla de las dos plastilinas.
- 3).- Crear un procedimiento para la elaboración de las dos plastilinas.

6.3.- RELACION DE LA CONSISTENCIA Y LA CANTIDAD DE CEMENTO AGREGADO EN LA FORMULACION.

La consistencia de las plastilinas se debe a la adición del cemento en las resinas epóxicas y poliamida respectivamente. El valor de la consistencia es independiente de las viscosidades iniciales de las resinas; la cantidad de cemento agregado en las dos resinas será diferente, pero la consistencia de los dos productos por separado será la misma, por lo tanto, es necesario un valor de consistencia que aun cuando es subjetivo, se tiene que ajustar con las cantidades de cemento agregada a un valor normal, para mantener siempre las características deseadas del material y su fácil manipulación. La consistencia es la variable más importante a controlar en la formulación para la fabricación de plastilinas, por eso, resulta necesario definirla de manera útil y disponer de algún procedimiento normalizado para medirla en cada uno de los lotes.

(42) - PHR = Partes en peso por 100 partes de resina

6.3.1.- DEFINICION DE CONSISTENCIA⁽⁴³⁾.

La consistencia o viscosidad aparente en la operación de mezcla de resinas y el cemento se consideran sinónimos, y se definirán como un índice de la resistencia que ofrece la mezcla a su deformación (fluir o deslizarse), cuando se le somete a un esfuerzo cortante. La consistencia será el cociente o relación de esfuerzo cortante a la velocidad de cortadura en el punto de la curva que represente el estado de agitación del material. La consistencia definida así, puede emplearse para caracterizar cualquier fluido.

El material que se forma con la mezcla de resinas y el cemento es un plástico, éstos se caracterizan porque al aplicar un esfuerzo cortante cada vez mayor a un solo sólido plástico, hay que llegar a un punto conocido como " Límite de fluencia " (T_0), antes de que sufra progresivamente deformaciones constantes (a partir de este punto la curva representa el estado de agitación). Un sólido plástico viscoso o plástico ideal, al igual que el sólido plástico tendría que alcanzar el límite de fluencia antes de deslizarse, pero el exceder el punto T_0 se deformaría continuamente con la rapidez dv/dy que es función del esfuerzo cortante, como en el caso de los fluidos verdaderamente viscosos (newtonianos) . Por encima del valor del límite de fluencia T_0 de un plástico ideal, la consistencia se conoce como viscosidad plástica o plasticidad, y la tensión de cizalladura, es la diferencia entre el esfuerzo cortante T y el valor límite de fluencia T_0 .

$$\text{Consistencia} = \text{Viscosidad Plástica} = (T - T_0) \text{ gc} / dv/dy [=] \text{ Kg. masa} / \text{seg. m.}$$

Donde: T = Esfuerzo cortante en kg. fuerza / m^2 .

T_0 = Valor límite de fluencia en Kg. fuerza / m^2 .

dv/dy = Gradiente de velocidad perpendicular a la dirección de T en $m/\text{seg.}/m$.

gc = Cte. Dimensional = 9.806 kg. masa .m / Kg. fuerza seg.²

La unidad c.g.s. de la viscosidad aparente es el Poise y se define 1 Poise cuando la fuerza ejercida tangencialmente es igual a 1 dina sobre un plano de área igual a 1 cm^2 y el gradiente de velocidad perpendicular al plano es de (1 $cm./seg.$) / cm . Generalmente se emplea el Centipoise (1 Cp = 0.01 Poise).

(43) - Perry, R.H. & Chilton, C.H. "Manual del Ingeniero Químico", Vol. II, Traducción en Español de la 3ª ed. en Inglés, Uteha, México, D.F., 1981.

Los materiales en realidad solo se aproximan a el comportamiento de plásticos ideales. En la siguiente gráfica se muestra una curva que describe las características de un material plástico:



Se puede observar que el valor del límite de fluencia (T_0), no se encuentra en el origen, y esto se debe a que al aplicar un esfuerzo cortante, se requiere de una cierta cantidad de esfuerzo definido antes de que escurra sobre sí mismo como material viscoso, con una velocidad de deslizamiento cada vez mayor con el aumento del esfuerzo cortante hasta un punto (x), en el que sufre un incremento el flujo del material con un menor aumento de esfuerzo. Un material plástico ideal no sufriría esta curvatura, sino que siempre sería una recta que describiría la relación directa de la velocidad de deslizamiento en función del esfuerzo.

6.3.2.- RELACION ENTRE CONSISTENCIA Y EL PHR DEL CEMENTO AGREGADO A LAS RESINAS.

Las características que debe reunir el producto para que tenga propiedades plásticas son:

A).- Constituir un sistema bifásico, con una fase líquida continua (resina epóxica y resina poliámidica según la plastilina) y una fase sólida dispersa (cemento).

B).- El cemento se hallará finamente mixturizado. El grado de mixtura dependerá del equipo de mezclado seleccionado para su fabricación⁽⁴⁴⁾. No se deberá producir exudación, ni sedimentación; el conjunto debe mantenerse estable por cohesión interna.

C).- Debe existir una relación correcta Fase líquida / Fase sólida. Si la cantidad de cemento es excesiva, el producto tiende a ser quebradizo, y si hay demasiada resina el producto fluiría bajo la acción de gravedad y no existiría un valor de deformación plástica.

Por lo tanto, la consistencia adecuada, necesariamente estará dentro del intervalo, formado por los dos extremos de la relación correcta resina/cemento. Requerimos definir un valor de consistencia que será el estándar por medio de un método normal de prueba⁽⁴⁵⁾.

6.3.2.1.- PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DEL PHR DE CEMENTO EN LAS RESINAS Y ESTABLECIMIENTO DE LA CONSISTENCIA.

- 1.- Tarar un mortero de 500 ml. y agregar 100 gr. de resina poliamida Euredur 3125.
- 2.- Adicionar pequeñas cantidades de Cemento Portland Tipo I Normal y mezcle totalmente después de cada adición con una paleta de plástico. Observe el producto levantando la paleta; cuando el material mezclado ya no fluya por efecto de la gravedad se tendrá el primer extremo del intervalo. Entonces pese y anote la cantidad de cemento agregado.
- 3.- Continúe agregando cemento en pequeñas cantidades, siga mezclando y amasando con ayuda de un rodillo (o un tubo de metal de 1" aproximadamente), hasta que se observe que el material se empieza a hacer quebradizo. Este es el segundo extremo del intervalo. Pese y anote la cantidad de cemento empleado.
- 4.- Después es necesario efectuar pruebas sensoriales (vista y tacto), dentro del intervalo de la relación correcta resina/cemento con varias muestras, hasta encontrar la cantidad de cemento según la muestra seleccionada (arbitrariamente) para su fácil modelado.
- 5.- Determine la viscosidad aparente (consistencia) con el método normal ASTM D 2393-86 ⁽⁴⁶⁾ " Método de Prueba Normal para Viscosidad de Resinas Epóxica y Compuestos Relativos ". El valor resultante será el valor normal en las dos plastilinas.
- 6.- Después, hay que determinar la cantidad de cemento que requiere 100 gr. de Resina Epóxica D.E.R 331, como lo hizo con la resina poliamida, por medio de pequeñas adiciones sucesivas de cemento, hasta obtener el valor de la consistencia normal con el mismo método ASTM. inicie la medición de la consistencia cuando se aproxime a la consistencia normal determinada con la plastilina poliamida y finalice la adición cuando obtenga el valor normal.

(44) - El equipo propuesto se encuentra en el Capítulo 7, en el inciso 7.2.1

(45) - Esta prueba es necesaria debido a las variaciones que puede existir de viscosidad en las resinas, o a las variaciones en la distribución del tamaño de partícula, y absorción de aceite del cemento y el pigmento.

(46) - Se encuentra en el apéndice A, debido a su importancia en este trabajo

7.- La prueba se repetirá las veces necesarias, hasta que se tenga la certeza de que la cantidad de cemento agregado a la resina epóxica corresponde a la consistencia normal determinada a la plastilina poliamida.

6.4.- DETERMINACION DEL PHR DEL PIGMENTO DIOXIDO DE TITANIO AGREGADO A LA PLASTILINA POLIAMIDA.

La cantidad de pigmento recomendado por el proveedor es de PHR = 3.0, según la evaluación realizada y reportada en la guía de formulación de Dow⁽⁴⁷⁾ para nuestras resinas. A pesar de los resultados que se obtuvieron con esta cantidad de pigmento, nosotros tenemos que hacer pruebas, con diferentes cantidades que nos permitan decidir, cual proporción, es la mejor para observar el punto final de la mezcla de la plastilina poliamida en la plastilina epóxica, en una relación de mezcla de plastilina epóxica-plastilina poliamida de 2:1 ; debido a que este sería la " relación de mezcla "⁽⁴⁸⁾ más práctica y aproximada a la "relación estequiométrica" de acuerdo al rango del EEW y del AHEW de las especificaciones de las materias primas seleccionadas.

6.4.1.- PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DEL PHR DE PIGMENTO EN LA PLASTILINA POLIAMIDA.

- 1.- Talar un mortero de 500 ml. y pesar 100 gr. de Resina Poliamida Euredur 3125.
- 2.- Agregar 1.0 gr. de pigmento blanco de TiO_2 a la resina y dispersarlo completamente con ayuda de una paleta de plástico.
- 3.- Adicionar los PHR de cemento determinados durante la prueba de consistencia en el inciso 4.3.2.1, menos el PHR = 1.0 del pigmento agregado.
- 4.- Mezcle los compuestos y amase la mezcla con la ayuda de un rodillo hasta obtener la plastilina.
- 5.- Verifique que la consistencia sea la consistencia normal empleando el método ASTM D 2393-85. Ajuste la consistencia de ser necesario a la consistencia normal, modificando la cantidad de cemento. Al modificar la cantidad de cemento, esta nueva cantidad sería el PHR de cemento estándar.

6.- Mezcle el producto con la consistencia normalizada de los 100 gr. de resina epóxica más el cemento, con la mitad del producto resultante de los 100 gr. de resina poliamida, mas 1 gr. de pigmento y cemento con la misma consistencia normal.

7.- Observe como se realiza la mezcla y si el punto final de la misma es claro; conserve el producto final para realizar comparaciones y anote sus observaciones.

8.- Continúe realizando los mismos pasos anteriores, pero incrementando la cantidad de pigmento de 1 gr. en 1 gr. cada vez que la realice, hasta que tenga la seguridad de cual proporción es en la que se nota más claramente el punto final.

9.- Compare los productos finales de c/u de las mezclas y las observaciones, y decida cual es la cantidad de pigmento óptima. El PHR de pigmento determinado con esta prueba sería el PHR de Pigmento estándar.

6.5.- LA RELACION DE MEZCLA DE LA RESINA EPOXICA Y LA RESINA POLIAMIDA.

El sistema requiere de una relación de mezcla de los dos componentes, de tal manera, que las cantidades empleadas sean aproximadamente estequiométricas para obtener las propiedades finales óptimas. En caso de que se utilizaran cantidades substanciales diferentes a la cantidad teórica de amina necesaria, la resina epóxica no curaría completamente a menos que se aplique calor. Por otro lado, si la cantidad de amina se encuentra en exceso, se reduce considerablemente la resistencia del polímero, haciéndolo más susceptible al ataque de la humedad y los agentes químicos. Debido a la complejidad de las moléculas de la poliamida, es difícil determinar con precisión la equivalencia funcional. Las relaciones de mezcla empleadas, son aquellas recomendadas por el proveedor según pruebas funcionales en las que se obtuvieron las mejores propiedades finales⁽⁴⁷⁾. En el caso de la resina poliamida Eueredur 3125, según la especificación, el proveedor recomienda un PHR = 54 (54 partes de resina poliamida por 100 partes de resina epóxica) para una resina epóxica con EEW = 190 (inciso 3.2.1.). Sin embargo en la misma especificación, se indica que estas resinas poliamidas pueden presentar un rango de AHEW entre 330 a 360 y por otro lado la resina epóxica D.E.R. 331 tiene un rango de EEW que va de 182 a 192. Como se puede observar para tener un valor exacto, se debería cuantificar el EEW de la resina epóxica, el AHEW de la resina poliamida, y considerar la cantidad de cemento y de pigmento para calcular el PHR de amina para curar 100 partes de resina epóxica, para cada uno de los lotes de ambas resinas, resultando esto impráctico y poco útil; debido a la tolerancia en el radio de mezcla tan grande como se tiene para nuestras resinas.

(47) "General Guide Formulating with Dow Epoxy Resins", Dow Chemical Co., Midland, Michigan

(48) - En el inciso 6.5 se examina más a fondo este punto

y que la producción de las plastilinas se realizaría por lotes. De este modo por conveniencia práctica, adoptaremos una relación de mezcla de PHR = 50 de resina poliamida para curar la resina epóxica, que no afectaría significativamente las propiedades finales del producto, debido al amplio rango de equivalencias funcionales.

La cantidad de plastilina epóxica curada con plastilina poliamida, tendría una relación constante de 2:1 de acuerdo a lo siguiente:

PLASTILINA POLIAMIDA

PHR de cemento +
PHR de pigmento +
100 partes de resina
EUREDUR 3125

+

PLASTILINA EPOXICA

PHR de cemento +
100 partes de resina
D.E.R. 331 = PRODUCTO FINAL

2

6.6.- PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACION DEL PROTOTIPO.

Este procedimiento es el resumen de la secuencia de pasos necesarios para obtener la plastilina epóxica y la plastilina poliamida.

Esta secuencia es sólo una guía y debería ser revisada y modificada de ser necesario con el fin de obtener el prototipo. Posteriormente deberían adecuarse a las necesidades del proceso de fabricación de la planta cementera

6.6.1.- PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACION DE LA PLASTILINA AGENTE DE CURADO.

6.6.1.1.- Determine la cantidad de Cemento Portland Tipo I Normal, necesario para obtener la consistencia deseada de la Plastilina Poliamida (con Euredur 3125) según el inciso 6.3.2.1..

6.6.1.2.- Mediante el método normal ASTM D 2393-86 contenido en el apéndice B, determine la consistencia normal de esta plastilina.

(49) - La relación de mezcla de la especificación tiene un intervalo de PHR = 50-70, sin que se afecten las propiedades finales óptimas. Ver inciso 5.2.1..

6.6.1.3.- Determine la cantidad de Pigmento Blanco Dióxido de Titanio, necesario para poder observar la mezcla de la Plastilina Agente de Curado en la Plastilina Epóxica. Ajuste si es necesario la cantidad de Cemento para tener la consistencia normal, como se indica en el inciso 6.4.1..

6.6.1.4.- Una vez conocida la cantidad de Cemento y de Pigmento en la formulación, indique las proporciones finales de estos expresadas en partes de c/u por 100 gr. de resina poliamida Euredur 3125 (PHR de cemento y PHR de pigmento).

6.6.2.- PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACION DE LA PLASTILINA EPOXICA.

6.6.2.1.- Determine la cantidad de Cemento Portland Tipo I Normal, necesario para obtener la Plastilina Epóxica, con la misma consistencia normal que la Plastilina Poliamida, de acuerdo a los pasos descritos en el inciso 4.3.2.1.

6.6.2.2.- Exprese la cantidad de cemento empleada en gr. de Cemento por 100 gr. de Resina D.E.R. 331 (PHR de cemento).

6.7.- PROCEDIMIENTO DE EMPLEO DE LAS PLASTILINAS (PRODUCTO FABRICADO) PARA OBTENER EL PRODUCTO FINAL.

6.7.1.- Prepare las cantidades de plastilina que va a usar, respetando la relación de mezcla de las plastilinas.

Plastilina Epóxica = 2 : 1 = Plastilina Poliamida

6.7.2.- Caliente suavemente c/u de las plastilinas por separado, aproximando el material a una flama sin hacer contacto con ella (por ejemplo, el quemador de una estufa doméstica o un mechero).

6.7.3.- Humedezca sus manos con agua corriente y amase independientemente c/u de las plastilinas para uniformizar el calor y la humedad en las plastilinas.

6.7.4.- Continúe con los dos pasos anteriores hasta la humedad y el calor den a las plastilinas suavidad y confortabilidad para su mezclado.

6.7.5.- Mezcle ambas plastilinas hasta que se tenga una coloración uniforme.

6.7.6.- Modele y aplique las plastilinas de acuerdo a sus necesidades. Si las plastilinas van a hacer aplicadas sobre una superficie, verifique que este exenta de grasa. Para obtener una buena adherencia, se requiere de una buena preparación de la superficie. Primero es necesario remover grasa y aceite; usualmente por medio de algún solvente no graso. La superficie puede ser tratada mecánicamente para remover óxidos⁽⁵⁰⁾.

6.7.7.- El producto final endurece a los 120 min. aproximadamente, e irá incrementando su resistencia con el transcurso del tiempo. El calor y la humedad ayudan al producto a endurecer más rápido.

6.7.8.- Después de 24 hrs. el material puede recibir acabado con ayuda de herramientas y pinturas.

(50).- Snogren, R. C., "Handbook of Surface Preparation", Palmerton, New York, 1974.

CAPITULO 7

PROCESO PARA LA FABRICACION DE LAS PLASTILINAS

7.1.- MEZCLADO.

La fabricación de las plastilinas se puede realizar por medio de la operación unitaria de la mezcla. El objetivo de la mezcla es efectuar una mixtura, es decir, una mezcla física sencilla de la fase sólida (pigmento y cemento) y la fase líquida (resinas), en la que no tendrá lugar ninguna reacción química, ni cambio en la distribución del tamaño de partículas; y no será necesario controlar la temperatura durante la operación.

Los materiales al mezclarse son espesos, plásticos y pegajosos, y dan origen a un producto que posee propiedades de plasticidad con alto punto de fluencia y consistencias elevadas, debido a esto, el flujo de los materiales es limitado, y se requiere de mecanismos muy potentes para desplazar los materiales y producir esfuerzos cortantes, con la finalidad de alcanzar una distribución uniforme de los compuestos.

7.2.- MEZCLADORA⁽⁵¹⁾.

La mezcla de materiales con propiedades de plasticidad es la más compleja y diversa, haciendo casi imposible disponer de un procedimiento para diseñar o proyectar el mezclador. Los principios para determinar el tipo de mezclador, sus dimensiones, potencia, características del recipiente y posición del agitador; son totalmente empíricos y se basan en la experiencia con materiales similares en cuanto a naturaleza y comportamiento, por lo tanto, sólo es posible indicar el tipo general de mezclador y es necesario consultar al fabricante para obtener mayores datos.

7.2.1.- AMASADORA DE BRAZO DOBLE POR LOTES⁽⁵¹⁾.

Podríamos emplear una máquina de mezclado y amasado de brazo doble, que sirve para mezcla de pastas, plásticos y masas pastosas de consistencia o viscosidad aparente elevada. Estas máquinas tienen mecanismos muy potentes; pero las dimensiones son pequeñas y consumen una considerable cantidad de energía y tiempo, debido a que la circulación de los materiales es muy difícil. La mezcla en estas máquinas se realiza por el transporte de los materiales en el recipiente, amasado que produce cortadura y deslizamiento, desgarradura que redistribuye el contenido, estiramiento proporcionando cohesión a la masa, y doblado que provoca desplazamiento constante de la masa. Todas las operaciones mecánicas se repiten una y otra vez, hasta que el material está completamente mezclado.

(51) - Perry, R.H. & Chilton, C.H. "Manual del Ingeniero Químico", Vol. II, Traducción en Español de la 3^{er} ed. en Inglés, Uteha, México, D.F., 1981

La Mezcladora Amasadora de Brazo Doble propuesta para la fabricación de las plastilinas, es del proveedor Baker Perkins Inc., esta máquina esta constituida por dos aspas que giran en sentidos opuestos, en un recipiente con dos artesas divididas por una albardilla formado dos semi cilindros longitudinales como se muestra en la figura. La propulsión de las aspas es por medio de engranes de extremo doble (en ambos extremos). La descarga se efectúa por inclinación; el mecanismo vasculante será hidráulico para facilitar la descarga. El diseño de las aspas tipo " sigma " se emplearán por su buena acción de mezclado, fácil descarga de los materiales y su facilidad de limpieza. Las aspas son tangenciales y funcionan con velocidades diferentes para hacer la mezcla más rápida y menor la acumulación del material en las aspas. El número de tamaño de la Mezcladora Amasadora de Brazo Doble es el # 17. La capacidad de trabajo de 200 galones (754.7 litros), capacidad máxima de 300 galones (1132 litros), 75 H.P., y espacio de piso de 9 X 13 pies (2.74 X 3.96 m.).

Deben instalarse instrumentos para medir potencia o energía eléctrica consumida, con la finalidad de determinar la potencia mínima necesaria por unidad de volumen para alcanzar la mezcla deseada y poder hacer presupuestos de los costos de funcionamiento. Además, de ser posible, instalar un dispositivo para variar la velocidad de las aspas, debido a que lo adecuado del mezclado depende primordialmente del número de revoluciones de las aspas.

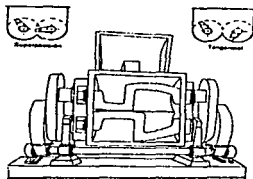


Figura 7.1 Mezcladora amasadora de doble brazo con aspas sigma (Baker Perkins Inc.)

CAPITULO 8

OBSERVACIONES, CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

8.1.- OBSERVACIONES.

El problema de sellado es muy grave cuando se presentan emisiones fugitivas de partículas sólidas, debido a las regulaciones que existen para ellas, y del impacto ecológico y visual, que afectan la imagen de las empresas en donde se producen. Con esta formulación se pretende solucionar dichas contingencias de una manera muy sencilla y económica. Las características y propiedades del producto que se está formulando, hacen de él, una magnífica opción para estar preparados cuando ocurra una contingencia; debido a que el producto fue diseñado específicamente para este fin.

8.2.- CONCLUSIONES.

La cantidad de productos con características particulares que se pueden obtener con las resinas epóxicas es muy grande, debido a las múltiples combinaciones que se pueden realizar entre resinas epóxicas, agentes de curado y modificadores. A pesar del desarrollo relativamente nuevo de las resinas epóxicas, existe suficiente información técnica que auxilia en la selección de las resinas apropiadas para satisfacer una necesidad específica. Empleando los elementos básicos se puede crear productos de sencilla elaboración, con diversas aplicaciones.

Al revisar la información escrita sobre el tema, los conocimientos se fueron integrando hasta encontrar un producto satisfactorio a las exigencias que presenta el problema del sellado, en los equipos de la planta cementera en donde actualmente trabajo. A partir de las características técnicas de formulación del producto (compuestos para modelar y producto modelado), la descripción de las materias primas seleccionadas, sus especificaciones y de la simplicidad de su elaboración; podemos inferir que las plastilinas que se están formulando teóricamente, son las adecuadas para resolver el problema de sellado en equipos de transporte y almacenamiento, en un proceso de fabricación de Cemento Portland Tipo I por donde fluyen Harina Cruda y Cemento Portland Tipo I finamente molturados.

Bastaría manufacturar un tamborete de 100 kg. de plastilina epóxica y uno de 50 kg. de plastilina poliamida, y tenerlos almacenados en la planta para poder sellar una enorme cantidad de pequeñas fugas en los equipos, o bien, una fuga mayor. Inclusive el uso del material se podría extender a los equipos de descarga de cemento en tolvas de ferrocarril y a buques en la terminal marítima de Manzanillo, en donde un mal sellado, o una fuga de cemento puede resultar mucho más grave por el impacto ecológico a un puerto en donde

existe turismo.

8.3.- SUGERENCIAS.

Esta tesis puede ser tomada como base para una investigación más profunda en caso de resultar atractivo el producto para fines comerciales, ya sea en el ámbito doméstico o el industrial. Podrían efectuarse extensas pruebas sobre las materias primas, procesos de fabricación y propiedades finales del producto para perfeccionarlo; al mismo tiempo que se realizan estudios económicos para determinar con precisión su factibilidad.

Después de las pruebas para crear el prototipo en el laboratorio, recomiendo seleccionar las "Características de Calidad" de las plastilinas y del Producto Final, para desarrollar especificaciones de procedimiento de fabricación, especificaciones de producto fabricado y especificaciones de producto final. Las características de calidad⁽⁵²⁾ serían aquellas variables a medir que tuvieran una importancia vital sobre la calidad del producto, y considerarían las condiciones de uso, funcionamiento, confiabilidad y resistencia al tiempo del producto. Cada característica de calidad deberá ser especificada con sus límites de tolerancia, de tal forma que se evite que sean innecesariamente estrechas para reducir el reproceso y rechazo, y se concentren los esfuerzos de inspección en las características de calidad vitales, todo con el objetivo de asegurar la calidad.

La creación de especificaciones y tolerancias se efectúa realizando pruebas normales a cada una de las características de calidad vitales seleccionadas. En la norma ASTM Designación: F 602-87 "Criterios Normales para Implementar Plásticos Epóxicos Termo fijos"⁽⁵³⁾, se encuentran los métodos de prueba normales que cubren todas las características de calidad de los sistemas epóxicos curados. Esta norma es solo una guía en la que se pueden seleccionar los métodos de prueba para las características de calidad vitales.

(52)- Feigenbaum, A V., "Control Total de la Calidad", CECSA, México, 1990.

(53)- Annual Book of ASTM Standards, Designation F 602-87, "Standard Criteria for Implantable Thermoset Epoxy Plastics, Philadelphia, 1989.

APENDICE A

PROCEDIMIENTO EMPLEADO PARA LA DETERMINACION DE LA CONSISTENCIA EN LAS PLASTILINAS:

NORMA ASTM D- 2393-86

METODO NORMAL PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD DE RESINAS EPOXICAS Y COMPUESTOS RELATIVOS

1.- Alcances.

1.1.- Este método de prueba cubre las mediciones de viscosidad de las resinas epóxicas, y otros compuestos epoxidados, modificadores y diluyentes usados en la formulación de sistemas epóxicos, agentes líquidos de curado que tienen el efecto de endurecer las resinas epóxicas, y sistemas o mezclas de resinas epoxi-agentes de curado.

1.2.- La viscosidad de otros materiales líquidos, sean claros u opacos, pueden ser determinados con este método de prueba.

1.3.- A la vez que el método de prueba descrito es válido para viscosidad entre 0.1. y 2000 Pa.s (100 y 2'000,000 Cp.), el uso del método cinemático de medida es recomendado para viscosidades entre 0 y 0.5 Pa.s (0 y 500 Cp.).

NOTA 1.- Para muchos sistemas; resultados más precisos pueden ser obtenidos usando el procedimiento cinemático para viscosidades arriba de 50 Pa.s (50,000 Cp.).

2.- Documentos de referencia.

2.1.- ASTM Standards:

D 1824 Test Method for Apparent of Plastisols and Organosols at Low Shear Rates By Brookfield Viscometer.

E 1 Specifications for ASTM Thermometers.

3.- Uso y significancia.

3.1.- Los procedimientos para prueba permiten la determinación precisa de la viscosidad de materiales con un rango de 0.1 a 2000 Pa.s (100 a 2'000,000 Cp.).

3.2.- La prueba puede ser usada para ambas pruebas tanto de caracterización y control de calidad en materiales líquidos.

3.3. Este procedimiento es referido del método de prueba D-1824, pero es de mayor

aplicación general.

4.- Aparatos.

4.1.- Viscosímetro de Brookfield modelo RVF o equivalente.

NOTA 2.- Este método de prueba está basado en el uso del viscosímetro de Brookfield, cualquier otro viscosímetro comparable puede ser usado, con tal de que las limitaciones y procedimientos de fabricación sean seguidos.

4.2.- Baño controlador de temperatura, controlable de ± 0.1 °C (± 0.2 °F), tipo de aceite o en todo caso de agua.

4.3.- Termómetro, Celsius, con divisiones de 0.1, o Fahrenheit con divisiones de 0.2. El termómetro idóneo es el termómetro ASTM punto de solidificación, que tenga un rango de 20 a 50 °C y conforme a los requerimientos para termómetro 91-C descrito en las Especificaciones E 1. Para otros rangos de temperatura otros termómetros estándar ASTM son disponibles.

4.4.- Vaso de vidrio con capacidad de 600 ml. o 1 qt. punta-abierta colorido de aproximadamente 10.4 cm. (4.125 in.) de diámetro y 11.8 cm. (4.625 in.) de profundidad.

5.- Acondicionamiento.

5.1.- Cubra la muestra y póngala en el baño de temperatura controlada a la temperatura de la prueba por lo menos 4 hrs. antes de hacer la prueba, o bien lentamente por un largo periodo de tiempo; esto sería necesario para que los compuestos de la mezcla alcancen la temperatura de la prueba con ± 0.1 °C (± 0.2 °F), estas condiciones pueden ser transportadas fuera del vaso, en el cual las mediciones son realizadas.

NOTA 3.- Si la mezcla es una mezcla reaccionante, tal que la mezcla es una resina con un endurecedor o catalizador; los compuestos de la resina y los compuestos del endurecedor serían calentados a la temperatura de prueba separadamente: Cuando ambos componentes tengan el mismo rango de temperatura de prueba, la resina y el endurecedor serían mezclados por agitación lenta con una varilla o con un mezclador de paletas, evitando en la agitación el aire. Tres minutos de mezclado cuidadoso, usualmente es suficientemente benéfico para una mezcla uniforme. Inmediatamente después de completada la mezcla, la aguja y la guarda serían fijados a el viscosímetro, comience las lecturas 1 min. después de terminada la mezcla.

Gran precisión en la determinación de la viscosidad de sistemas reactantes pueden ser obtenidos con el uso de tubos Gardner en un baño a temperatura constante

5.2.- Periodos de condiciones recortados de 4 hr. pueden ser utilizados, si la experiencia demuestra que los resultados pueden ser comparados con los obtenidos después de 4 hr. de condiciones. Si es menor de 4 hr. indique las condiciones de tiempo en el reporte.

5.3.- Dé a la aguja y a la guarda la temperatura de la prueba desde el principio de la misma.

6.- Procedimiento.

6.1.- Utilizando el viscosímetro de Brookfield modelo RVF, el procedimiento es el siguiente:

6.1.1.- Nivele el instrumento.

6.1.2.- Ponga una porción de 500 ml. de la muestra previamente condicionada en el vaso (limpio si es posible).

6.1.3.- Inserte la aguja y la guarda recomendada dentro de la muestra, tome la precaución de evitar el aire atrapado bajo la aguja del plato.

NOTA 4.- Cuando la muestra contenga una mezcla de resinas líquidas y sólidas o por ejemplo, una resina rellena, el material sólido debe ser disperso uniformemente, dentro de toda la fase líquida.

Si la muestra es una mezcla de líquidos, por ejemplo, una mezcla de resina líquida con endurecedor líquido, el líquido debe ser así bien entremezclada, y la mezcla debe ser visiblemente libre de aire en la agitación ante la introducción de la aguja y la guarda.

NOTA 5.- Puesto que la precisión de el viscosímetro es mejor en el punto medio del rango de el círculo de lectura, puede ser conveniente el cambio de la velocidad o de la aguja, o ambos, para obtener una mejor lectura. En general, mejor precisión es obtenida para lecturas RVF evaluadas sólo en adelante de la escala "100", y ajustando el Brookfield conforme al factor.

TABLA 1: AGUJAS RECOMENDADAS PARA EL VISCOSIMETRO DE BROOKFIELD RVF.

RANGO ^A Pa.s s (Cp.)	AGUJA	VELOCIDAD r.p.m.	^B FACTOR
0.1 A 0.4 (100 a 400)	1	20	0.005
0.4 A 0.8 (400 A 800)	1	10	0.01
0.8 A 1.6 (800 A 1 600)	2	20	0.02
1.6 A 3.2 (1 600 A 3 200)	2	10	0.04
3.2 A 4.0 (3 200 A 4 000)	3	20	0.05
4.0 A 8.0 (4 000 A 8 000)	4	20	0.1
8 A 16 (8 000 A 16 000)	4	10	0.2
16 A 20 (16 000 A 20 000)	3	4	0.25
20 A 40 (20 000 A 40 000)	4	4	0.5
40 A 80 (40 000 A 80 000)	4	2	1.0
80 A 160 (80 000 A 160 000)	5	2	2.0
160 A 200 (160 000 A 200 000)	6	4	2.5
200 A 400 (200 000 A 400 000)	6	2	5.0
400 A 800 (400 000 A 800 000)	7	4	10.0
800 A 2 000 (800 000 A 2 000 000)	7	2	20.0

A = Si la escala leída es menor de 20, o antes de 80, mueva la aguja, y la velocidad recomendada para el siguiente rango inferior, o a el rango de alta viscosidad, según el caso.

B = Para obtener la viscosidad en Pascales-segundo, multiplíquela lectura en la escala de "100" por el factor dado para esa aguja y velocidad.

6.1.4.- Encienda el viscosímetro 1 min. después de completada la mezcla, permita que la aguja gire por 30 seg., pare el instrumento por medio de la palanca y lea el círculo de lectura.

NOTA 6.- Ponga el recipiente sobre la superficie aislada, no lo agarre con la mano, puesto que puede ser transferido calor hacia el material existente en la prueba, siendo así afectada la viscosidad. Si necesita una precisión extrema, las mediciones pueden ser hechas con la muestra en el contenedor dentro del baño a temperatura constante.

Nota 7.- La fijación, nivelación del soporte del viscosímetro colocada sobre un anillo o equivalente, y el uso de plataforma con ajuste de altura para el contenedor serían ventajosos.

6.1.5.- Después de registrar la primera lectura, permita que la aguja gire unos tres o cuatro ciclos y torne la segunda lectura.

6.1.6.- Si la segunda lectura concuerda con la primera, registre la medida, si de cualquier modo, las dos lecturas difieren, permita que la aguja gire tres o cuatro ciclos más, y lea el valor nuevamente, continúe con este procedimiento por diez lecturas, o hasta que la lectura que sea obtenida sea constante.

NOTA 8.- Si la muestra es mezcla reactante por ejemplo, resina y endurecedor, de requerirse por ser impráctico o imposible de obtener una lectura constante, la primera lectura es generalmente la que se registra a menos que se desee proceder con un estudio de tiempo de reacción vs viscosidad.

6.1.7.- Transforme la lectura obtenida en el círculo a viscosidad en Pascal seg. (o Centipoises), de acuerdo con la tabla de conversión (en la tabla 1).

6.2.- Frecuentemente es de interés la determinación de características tixotrópicas de una muestra bajo prueba, la viscosidad es medida a diferentes velocidades y a relaciones de radio, (también llamado índice tixotrópico). Por ejemplo:

$$(\text{viscosidad a velocidad } 2)/(\text{viscosidad a velocidad } 20) = 80 \text{ Pa.s (80,000 Cp.)} / 20 \text{ Pa.s (20,000 Cp.)} = 4$$

El índice tixotrópico es 4

6.3.- Para un estudio reológico más externo, el uso del soporte de la nota 7 es recomendado.

7.- Reporte.

7.1.- El reporte incluiría la siguiente información.

7.1.1.- Viscosidad en Ceritpoises.

7.1.2.- Número de aguja.

7.1.3.- Velocidad de rotación (giro).

7.1.4.- Temperatura de la muestra aproximada a 0.1.°C (0.2 °F).

7.1.5.- Temperatura ambiente aproximada a 0.5 °C (1°F).

7.1.6.- Índice tixotrópico.

7.1.7.- Tiempo de mezclado (solo para sistemas reactantes).

7.1.8.- Tiempo de acondicionamiento (si es diferente de 4 hrs).

8.- Precisión y Viabilidad.

8.1.- La precisión de este método de prueba es considerado bajo la validez de la tarea y puede ser reportada sobre la terminación de los estudios.

8.2.- No se puede realizar un reporte de viabilidad de este método de prueba, debido a la indisponibilidad de materiales estándar de referencia.

8.2.1.- Son muchas las resinas epóxicas y sistemas epóxicos diferentes, aquellos que son casi newtonianos, dan con cuidados, resultados reproducibles más aproximados.

8.2.2.- Igual con 4 hrs. de condiciones de temperatura referidas en el inciso 5.1., la viscosidad leída, para muchas resinas puede variar cuando mucho 2% dependiendo de la temperatura de almacenamiento de la resina frente a las condiciones.

8.2.3.- Algunos sistemas de resinas presentan una aparente dependencia en el recorte de tiempo y pueden requerir un tiempo razonable para estabilizarse.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Annual Book of ASTM Standards, Designation: D 476-84 (Reapproved 1989), "Standard Specification for Titanium Dioxide Pigments", Philadelphia, 1989.
- 2.- Annual Book of ASTM Standards, Designation: D 1763-81, "Standars Specificación for Epoxy Resins", Philadelphia, 1989.
- 3.- Annual Book of ASTM Standards, Designation: D 3013-81, "Standard Specification for Epoxy Molding Compounds", Philadelphia, 1989.
- 4.- Annual Book of ASTM Standerds, Designation: D 4142-82, "Standard Guide for Testing Epoxi Resins", Philadelphia, 1989.
- 5.- Annual Book of ASTM Standards, Designation: F 602-87, "Standard Criteria for Implantable Thermoset Epoxy Plastics, Philadelphia, 1989.
- 6.- Apasco, "Manual del Concreto", Concretos Apasco, México, D.F., 1992.
- 7.- "Ancamide Resins for Electrical and Electronical Industries". Shell Chemical Co. Technical Bulletin.
- 8.- Brydson, J.A. "Plastics Materials", 3rd. de., Robert E. Krieger Publishing Co., Inc., Huntington, New York, 1975.
- 9.- Cagle, C.V., "Adhesive Bonding Techniques and Applications", Mac Graw Hill Book Co., New York, 1968.
- 10.- Cagle, C.V., "Handbook of Adhesives Bonding", Mac Graw Hill Book Co., New York, 1973.
- 11.- Craver, C.D., "Plastics and Other Additives", Kirkwood, Missouri; Coblentiz Society, 1980.
- 12.- Deanin,R.D., "Polymer Structure Properties and Aplications", Cahners Books, Boston,

Massachusetts, 1972.

- 13.- "Dow Liquid Epoxy Resins", Dow Chemical Co., Midland, Michigan, 1966.
- 14.- Driver, W.E., "Plastics Chemistry and Technology", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1979.
- 15.- Dubois, H. & Frederick, W., "Plastics", 6th ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1981.
- 16.- "Epon Resins for Fiber Glass Reinforced Plastics", Bulletin SC:7225, January 1972.
- 17.- "Epoxy Adhesives", Celanese Resins, Technical Bulletin 0867.
- 18.- "Epoxy Resins", Ciba-Geigy, Ardsley, New York, 1977.
- 19.- "Euredur 3125 (Reactive Polyamide Resin)", Schering Berlin Polimers Inc., Technical Bulletin
- 20.- Feigenbaum, A.V., "Control Total de la Calidad", CECSA, México, 1990.
- 21.- Frados, J., "Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry", 4th ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1976.
- 22.- "General Guide Formulating with Dow Epoxy Resins", Dow Chemical Co., Midland, Michigan.
- 23.- Ghosh, S.N., Progress in Cement and Concrete. Vol. I, Part. I, "Cement and Concrete Science and Technology", 1st. ed., ABI, New Delhi, India, 1991.
- 24.- "Hardener HY-840, Polyamide Resin", Ciba Products Co., Technical Bulletin.
- 25.- Houwink, R. & Salomon, G., Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo III, Vol. 1, "Adherencia y Adhesivos", URMO, Bilbao, España, 1978.
- 26.- Hummel, D. & Scholl, "Atlas of Polymer and Plastics Analysis", 2nd ed., Weinheim VCH

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Verlagsge Sellschaft, 1978.

27.- "Introducing Dow Epoxy Resins", Technical Bulletin 190-17.

28.- Kemp-Vellacio, "Química Orgánica", Omega, Barcelona, 1986.

29.- Lee, H. & Neville, K., "Handbook of Epoxy Resins", Mc Graw Hill Book Co., New York, 1967.

30.- Levy, S. & Dubois, J.H., "Plastics Product Design Engineering Handbook", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1977.

31.- Parker, D.H., Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo VII, "Tecnología de los Recubrimientos de Superficies", Urrmo, Bilbao, España, 1978.

32.- Perry, R.H. & Chilton, C.H. "Manual del Ingeniero Químico", Vol., II, Traducción en Español de la 3 er. ed. en Inglés, Uteha, México, D.F., 1981.

33.- Phillips, G., "Mineralogía", Vol. III, Limusa, México, D.F., 1991.

34.- Publicación de la Dirección General de Normas, NOM-C-I-1980, Norma Oficial Mexicana, "Industria de la Construcción Cemento Portland", México, D.F., 1980.

35.- Schwarts, S.S. & Goodman, S.H., "Plastics Materials and Processes", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1982.

36.- Schumm, M.K., "Understanding Organic Chemistry", Mac Millan Publising Co., Barcelona, 1987.

37.- Simonds, H.R. & Church, J.M., "A Concise Guide to Plastics", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1963.

39.- Skeist, I., "Handbook of Adhesives", Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1977.

40.- Snogren, R C., "Handbook of Surface Preparation", Palmerton, New York, 1974.

- 41.- Sorenson, W.R., and Campbell, T.W., "Preparative Methods of Polymer Chemistry", Interscience, New York, 1961.
- 42.- Stille, J.K., "Introduction to Polymer Chemistry", John Wiley Sons, New York, 1962.
- 43.- Taylor, H.F., Enciclopedia de la Química Industrial, vol. I, Tomo I, "Química de los Cementos", Urmo, Bilbao, España, 1978.
- 44.- "The Merck Index", 11th ed , Merck & Co., Inc., New Jersey, U.S.A., 1989.
- 45.- Tchoubar, B., "Mecanismos de reacción en Química Orgánica", Limusa, México, D.F., 1965.
- 46.- Volhart, "Química Orgánica", Omega Barcelona, 1990.
- 47.- Wingrove, A.S. & Caret, R.L., "Química Orgánica", Harla, México, D.F. 1984.