

115



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

PLANTEAMIENTO Y EVALUACION EXPERIMENTAL
DE OPCIONES PARA LA VALORACION DE LOS
POLVOS DE DESECHO DE UNA PLANTA PRODUCTORA
DE ASFALTO

295631

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :

JESUS LUNA MARTINEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIAS

A mi madre, que con su infinita fe y apoyo me permitieron alcanzar una de mis más grandes metas

A mi abuela, que con su muy peculiar forma de ser contribuyó a la formación de mi carácter

A mis tíos y tías, por sus consejos y apoyo incondicional

A mis primos, por ser como los hermanos que nunca tuve

A mi padre, por haber llegado en el momento preciso

A mis colegas y camaradas de siempre

A la memoria de Moisés Rdgz. O.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alfonso Duran Moreno, por todos sus consejos y enseñanzas y por haberme dado todas las facilidades para la realización de este trabajo

Al Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, por brindarme los medios para llevar acabo este trabajo

Al Dr. Victor Manuel Luna Pabello, al Ing Rodolfo Torres Barrera y a la Dra. Rosa María Ramírez Zamora que con sus sugerencias y recomendaciones hicieron que el contenido de este documento mejorara

Al personal de la Planta de Asfalto del Distrito Federal, a la Facultad de Ingeniería, al Instituto de Ingeniería, al Instituto de Geología, a la Ing. Julia Castro González, de Hércules S.A de C.V., a la Ingeniera Mónica Perry Rioja, de ISP Internacional y al profesor Alberto Díaz de Cossio, del Taller Experimental de Cerámica S.A., por su asesoría y colaboración

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Química por ser cuna de conocimiento y sabiduría, y por haber me brindado el privilegio de formarme como Ingeniero

INDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 PROBLEMÁTICA	9
1.2 OBJETIVOS GENERALES	10
1.3 OBJETIVOS PARTICULARES	10
1.4 ALCANCES	10
1.5 PROPUESTA PRELIMINAR DE OPCIONES DE VALORACIÓN DE LOS POLVOS DE DESECHO DE UNA PLANTA DE ASFALTO.....	11
1.5.1 Justificación	12
1.5.2 Marco mundial.....	13
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO DE ESTUDIO	15
1.6.1 Descripción del proceso planta A	15
1.6.2 Descripción del proceso Planta B	19
1.6.3 Descripción del proceso planta C	22
1.7 LOCALIZACIÓN DEL YACIMIENTO.....	24
CAPÍTULO 2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES	27
2.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS DESECHOS Y RESIDUOS SÓLIDOS... 27	
2.1.1 Tratamiento de los desechos.....	28
2.1.1.1 Tratamiento con la obtención de productos comercializables	28
2.1.1.2 Tratamiento sin la obtención de productos comercializables.....	29
2.2 PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	29
2.2.1 Asfalto.....	30
2.2.2 Clasificación de pavimentos asfálticos	30
2.2.3 Materia prima (minerales pétreos).....	33
2.2.4 Clasificación.....	33
2.2.4.1 Rocas Ígneas.....	33
2.2.4.2 Rocas sedimentarias.....	35
2.2.4.3 Rocas metamórficas.....	35
2.3 ASPECTOS GENERALES DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	35



2.3.1 Morteros.....	35
2.3.1.1 <i>Datos históricos.....</i>	37
2.3.1.2 <i>Deterioro del mortero fraguado.....</i>	38
2.3.1.3 <i>Hidratación.....</i>	39
2.3.1.4 <i>Velocidad de hidratación.....</i>	40
2.3.1.5 <i>El agua y la trabajabilidad de los morteros.....</i>	40
2.3.1.6 <i>Inclusores de aire.....</i>	41
2.3.1.7 <i>Sangrado.....</i>	41
2.3.1.8 <i>Curado.....</i>	42
2.3.2 Agregados.....	42
2.3.3 Recubrimientos.....	43
2.3.3.1 <i>Definición.....</i>	43
2.3.3.2 <i>Descripción.....</i>	44
2.3.3.3 <i>Clasificación de los recubrimientos.....</i>	45
2.3.4 Revestimiento.....	48
2.3.4.1 <i>Descripción.....</i>	48
2.3.4.2 <i>Conformación de un sistema de revestimiento.....</i>	48
2.3.4.3 <i>Revestimientos prefabricados.....</i>	50
2.3.4.4 <i>Revestimientos de acabado.....</i>	50
2.4 ASPECTOS GENERALES DE LA CERÁMICA.....	51
2.4.1 <i>Definición.....</i>	52
2.4.2 <i>Clasificación de pastas cerámicas.....</i>	54
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	56
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS POLVOS Y LODOS DE DESECHO.....	56
3.1.1 Análisis Físico.....	56
3.1.1.1 <i>Granulometría y densidad aparente.....</i>	56
3.1.2 Análisis Químico.....	57
3.1.2.1 <i>Observaciones al microscopio electrónico de barrido.....</i>	57
3.1.2.2 <i>Análisis elemental.....</i>	57
3.1.2.3 <i>Contenido de óxidos.....</i>	57



3.2	PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL DE OPCIONES PARA VALORAR LOS POLVOS Y LODOS	58
3.2.1	Materiales de construcción	58
3.2.2	Materiales cerámicos	59
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		62
4.1	CARACTERIZACIÓN DE POLVOS Y LODOS	62
4.1.1	Cretib.....	62
4.1.2	Granulometría y Densidad aparente.....	62
4.1.3	Observaciones en el microscopio electrónico de barrido	65
4.1.4	Análisis elemental.....	66
4.1.5	Contenido de Óxidos	68
4.2	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	70
4.2.1	Oferta del material en bruto	70
4.2.2	Encuesta	70
4.2.3	Escala de valores	73
4.2.4	Morteros.....	73
4.2.4.1	Formulaciones de morteros con cemento Portland y polvos	74
4.2.4.2	Formulaciones con cemento Portland, cal hidratada y polvos.....	75
4.2.4.3	Pruebas de resistencia a la compresión de los morteros preparados .	77
4.2.5	Recubrimientos	80
4.2.6	Resanador de paredes.....	80
4.2.7	Recubrimiento tipo pintura	86
4.2.8	Emboquilladores	87
4.2.9	Mosaicos.....	89
4.2.10	Panel prefabricado (Durock)	91
4.3	MATERIALES CERÁMICOS	94
4.4	PRODUCTOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS.....	98
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		103
5.1	CONCLUSIONES	103
5.2	RECOMENDACIONES	105
5.2.1	Mortero resanador de paredes y Revestimiento tipo pintura	106



5.2.2 Mosaicos.....	106
5.2.3 Materiales cerámicos.....	107
5.2.4 Co-adyuvante de coagulación – floculación	108
5.2.5 Otra opciones.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	109

ANEXOS

**ANEXO 1. MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LAS OBSERVACIONES REALIZADAS EN
UN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO**

ANEXO 2. DOCUMENTOS DE APOYO

**ANEXO 3. MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LAS PRUEBAS DE FORMULACIÓN DE
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Revestimientos y materiales de acabado (Carranza, 1990).....	51
Tabla 2.	Análisis Cretib de los polvos de las Plantas A,B y C de la PA	63
Tabla 3.	Distribución granulométrica de las tres muestras de polvo	64
Tabla 4.	Análisis de óxidos contenidos en las muestras de polvos y lodo	68
Tabla 5.	Resultados de la encuesta realizada en casas de materiales de construcción para evaluar la posible aceptación de los polvos en bruto.....	72
Tabla 6.	Formulaciones genéricas para morteros.....	74
Tabla 7.	Propiedades generales de los morteros preparados con cemento y los polvos de la Planta de Asfalto	75
Tabla 8.	Formulaciones genéricas para morteros con un agente hidratante	76
Tabla 9.	Características de los morteros preparados con un agente hidratante.....	76
Tabla 10.	Resultados de las pruebas de compresión con probetas elaboradas con morteros formulados con los polvos.....	79
Tabla 11.	Codificación de las mezclas preparadas para la formulación de revestimientos	82
Tabla 12.	Resultados de las pruebas realizadas de mezclas propuestas para recubrimientos	83
Tabla 13.	Apreciación de las aplicaciones de pintura vinílica y de esmalte en las formulaciones de resanadores	84
Tabla 14.	Preparaciones realizadas con una mayor proporción de resina	85
Tabla 15.	Resultados de la formulación de mezclas con una mayor concentración de resina	85
Tabla 16.	Formulaciones preparadas de emboquilladores	88
Tabla 17.	Resultados de las pruebas realizadas con los emboquilladores.....	88
Tabla 18.	Formulación del panel prefabricado	92
Tabla 19.	Dimensiones del panel fabricado con polvos de la planta de asfalto	93
Tabla 20.	Composición promedio de los polvos y de la arcilla “bola”.....	94
Tabla 21.	Resultados de las pruebas de elaboración de materiales cerámicos	97



Tabla 22. Características fisicoquímicas de los efluentes de agua natural tratada con sulfato de aluminio (10 mg/L $Al_2(SO_4)_3$) y diferentes dosis de polvos de la planta de asfalto (0-0.06 mg/L) 99

Tabla 23. Características fisicoquímicas de los efluentes de agua residual tratada con sulfato de aluminio (47.5 mg/L $Al_2(SO_4)_3$), y diferentes dosis de polvos de la planta de asfalto (1-60 mg/L) 100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de proceso en la Planta A	18
Figura 2. Flujo de proceso en la Planta B	20
Figura 3. Flujo de proceso en la Planta C	23
Figura 4. Localización del yacimiento del mineral pétreo	25
Figura 5. Clasificación de recubrimientos	47
Figura 6. Clasificación de revestimientos	49
Figura 7. Espectros de difracción de rayos X de muestras de polvos observadas en un MEB: (a) Planta A; (b) Planta B; (c) Planta C.....	67

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 1. Partículas de polvo producidas en la Planta A (x450).....	66
FOTO 2. Muestras de un mosaico comercial y de un mosaico formulado con los polvos de la PA.....	91
FOTO 3. Muestras de piezas de cerámica elaboradas con polvo y con arcilla.....	96



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal produce aproximadamente 70% del asfalto que se emplea en la Ciudad de México. En el proceso de producción, en la etapa de secado del material triturado, se genera un polvo muy fino (malla 200). Este material, en las Plantas A y C es colectado con un ciclón y con un colector de bolsas. En la Planta B, en lugar de estos dos equipos se utiliza una cámara lavadora de gases, por lo que el polvo es evacuado vía húmeda formándose un lodo. El polvo seco y el lodo se desean valorizar encontrándoles alguna aplicación industrial. Debido a la homogeneidad e inocuidad de estos materiales, se considera *a priori* que pueden encontrarse varias opciones de valoración de los polvos secos y en forma de lodo. Opciones que se plantean y se realizan en este trabajo.

1.1 PROBLEMÁTICA

La Planta de Asfalto (PA) produce diariamente entre 36 y 48 ton/día de polvo seco y entre 18 y 24 ton/día de lodo (base húmeda). Actualmente estos materiales son mezclados y transportados en forma de lodo a la localidad de Parres con la finalidad de formar cortinas ecológicas (tiradero a cielo abierto). Esta actividad genera costos y requiere de esfuerzos que se desean suprimir. Para lo anterior, se deben encontrar aplicaciones de estos materiales que autofinancien su evacuación de la PA y que, en el mejor de los casos, generen un beneficio económico. La PA no tiene contemplado a corto plazo sustituir ninguna de las Plantas por otras en las que no se obtengan los subproductos anteriormente mencionados.



1.2 OBJETIVOS GENERALES

Proponer y evaluar experimentalmente opciones para la valoración en aplicaciones industriales de los polvos que se generan como subproductos de la producción de asfalto.

1.3 OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar experimentalmente la viabilidad de los polvos y lodos de desecho de la planta, a ser usados como aditivos o agregados dentro de los materiales de construcción
- Evaluar experimentalmente la viabilidad de los polvos y lodos de desecho de la planta, a ser usados como arcillas dentro de materiales cerámicos
- En función de los resultados emitir una serie de recomendaciones en el cual quede debidamente establecida la logística y lineamientos a seguir para la evacuación y uso de los polvos y lodos de desecho

1.4 ALCANCES

- Desarrollar las pruebas experimentales necesarias para caracterizar ampliamente los polvos y lodos
- Realizar consultas de campo en los diversos sectores industriales del Valle de México susceptibles de utilizar los polvos y lodos de la planta de asfalto



- Plantear opciones viables para valorar los polvos y lodos desde el punto de vista técnico
- Desarrollar para las opciones más viables un apartado de recomendaciones y sugerencias donde se resuman los lineamientos técnicos para una evaluación industrial de los polvos y lodos en un futuro
- Este trabajo es el primero de un proyecto enfocado a dar un uso a los materiales de desecho antes mencionado. Los alcances del mismo no incluyen el estudio de viabilidad económica el cual será objeto de trabajos posteriores.

1.5 PROPUESTA PRELIMINAR DE OPCIONES DE VALORACIÓN DE LOS POLVOS DE DESECHO DE UNA PLANTA DE ASFALTO

Con base únicamente en la apariencia física del material (polvo de malla 200) y en el origen del mismo (triturado de piedra basáltica) se plantearon opciones de posibles aplicaciones de estos materiales. Estas opciones se clasificaron en tres grandes grupos

1. Materiales de construcción
2. Materiales cerámicos
3. Productos para el tratamiento de aguas

La opción 1 se plantea como hipótesis que los polvos pueden sustituir el empleo de materiales granulares finos como la arena, el carbonato de calcio o los talcos.

Con respecto a la opción 2, se considera que los polvos, por su origen basáltico pueden tener un alto contenido de sílice y por lo tanto pueden ser introducidos en las formulaciones de materiales cerámicos como barnices y esmaltes.



Es necesario mencionar que en el rubro que abarca la exploración del desecho como agente floculante es objeto de otra tesis de licenciatura (Pas. I.Q. Fabiola Negrete Martinez), que se realizó paralelamente a este trabajo, por lo que en éste sólo se mencionarán algunos resultados y aspectos relevantes relacionados al empleo de los polvos de la PA en la coagulación – floculación de aguas residuales. Esta opción se planteó con base en el hecho de que algunos materiales granulares (sílice activada) son empleados como agentes co-adyuvantes de coagulación – floculación al servir como núcleos para la formación de flóculos.

1.5.1 Justificación

Dado que tratar de explorar las áreas posibles de aplicación para el desecho que genera la PA, pudiera ser esto una tarea interminable, era necesario acotar el campo de estudio de nuestra búsqueda, considerando factores determinantes como: recursos , infraestructura, asesoría, tiempo, etc, además de estos, factores inapelables como la naturaleza tanto física y química del desecho.

Es necesario dejar lo más claro posible la decisión de explorar los rubros ya mencionados, ya que pudieron ser otros y no necesariamente los que aquí se presentan.

Explorar los rubros presentados en este trabajo surge al plantearnos varias alternativas, las cuales tenían que ser concretas, objetivas y realizables, queriendo decir con esto



que no hubiese ningún inconveniente técnico para llevarlas a cabo. Algunas de ellas surgieron *a priori* simplemente por sentido común. Evidentemente habrá más alternativas a explorar en trabajos posteriores.

Este trabajo se considera como la primera fase para poder tener un conjunto de opciones palpables que podrán fundamentar opciones futuras ya con base en una caracterización física y química del desecho y con la exploración de un primer conjunto de opciones (las estudiadas en este trabajo) se contará con más argumentos para decidir cuales son las vías más convenientes para valorizar los materiales de estudio.

Fue necesario en este trabajo contar con información sobre fundamentos y conceptos generales (capítulo 2) sobre las áreas de investigación que se pueden abordar al buscar un uso adecuado de los polvos y lodos. Asimismo se logró plantear una logística y una metodología para la evaluación experimental de opciones (capítulo 3). Los resultados obtenidos fueron presentados en el capítulo 4. Las conclusiones de este trabajo y las recomendaciones de trabajos futuros se presentaron en el capítulo 5.

1.5.2 Marco mundial

Como una idea inmediata surgen algunas interrogantes tales como: ¿Otras plantas productoras de asfalto tienen el mismo problema de los desechos?, si existe el problema en otras plantas productoras de asfalto ¿qué hacen con los desechos?, ¿cuál es destino de estos desechos?, ¿han encontrado un uso o aplicación al desecho?, etc.



En función de estas interrogantes inmediatas se comenzó una búsqueda para tener un panorama más concreto y certero. Los resultados de la misma, en medios masivos como lo son los electrónicos y en libros y artículos técnicos, indicaron que tal problema no existe en otras partes del mundo, ya que las tecnologías que con las que se cuenta en los países industrializados son tales que han logrado eliminar la generación del desecho, haciendo el proceso mas eficiente y mas limpio (plantas modernas). En países en vías de desarrollo bajo un esquema similar enfrentan la misma tarea y problemática, por ello no es difícil indagar sobre lo que tentativamente se hace en estos países que bajo las limitaciones económicas y tecnológicas se ven prácticamente obligados a recurrir a alternativas inmediatas y con costos bajos, recurriendo a tiraderos a cielo abierto que es lo mas barato en cuestiones de manejo y tratamiento de desechos y residuos.

En el caso particular de la Planta de Asfalto objeto de este estudio, debido al rezago económico y tecnológico que vive el país es evidente la carencia de los medios y recursos para cambiar los procesos existentes o en su defecto modificaciones al proceso para evitar la generación de desechos. Las instalaciones y equipos con los que se cuentan tienen una antigüedad que oscila entre los 30 y 50 años de implementación y construcción. Es claro y evidente la problemática de la Planta de Asfalto con respecto a sus desechos sólo puede tender en el corto y mediano plazo a encontrar opciones de valoración de los mismos.



1.6 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE ASFALTO DE ESTUDIO

La Planta de Asfalto considerada en este estudio, consta a su vez de tres plantas de producción designadas como Planta A, B y C. Cada una de ellas tiene un proceso distinto para la generación de asfalto, los cuales se describen a continuación:

1.6.1 Descripción del proceso planta A

En la Figura 1.1 se muestra el diagrama de Flujo de Proceso de producción de asfalto en la Planta A. Esta planta tiene una capacidad de diseño de 272 ton/h pero regularmente se opera a una capacidad de 150 ton/h. La mezcla asfáltica consiste en una mezcla de material triturado y asfalto en una proporción de 94% y 6% respectivamente. El proceso comienza al suministrar el material triturado a tolvas (1) de allí, por medio de bandas transportadoras (2), pasa a un secador rotatorio (3). Es muy importante que el material se encuentre perfectamente seco ya que esto permitirá que al mezclarse con el asfalto haya una perfecta adherencia entre éste y el material cribado.

La piedra o material triturado, llega con una humedad de 2% a 3% en condiciones normales de operación, debido a esto, se generan alrededor de 475 kg/h promedio de vapor de agua. Esta humedad se elimina calentando el material triturado a temperaturas que van de los 120°C a los 140°C con calor proveniente de los gases de combustión de un quemador (4) cuyo combustible es diesel desulfurado. Los gases de combustión fluyen a contracorriente del flujo de material triturado. En esta operación se



consumen alrededor de 6 litros de diesel por tonelada que se produce de mezcla asfáltica.

Una vez seco el material triturado, cae a un elevador de cangilones (5) que a su vez lo deposita en una criba (6). En la criba se realiza la selección de este material y se deposita en cinco tolvas diferentes (7); posteriormente, se procede a pesar tanto el material cribado como el asfalto en una caja pesadora (8) con la proporción de cribado/asfalto previamente establecida; acto seguido se deja caer el cribado y el asfalto a una mezcladora de paletas (9) y se mezclan durante un minuto (tiempo entre lote y lote) es en este momento que se produce la mezcla asfáltica (producto final) y finalmente se descarga al camión transportador (10) o es removido a silos de almacenamiento (11) por medio de un transportador de cadenas (12) para su uso posterior.

La mezcla asfáltica que se suministra a la mezcladora de paletas lleva un calentamiento previo que la lleva a temperaturas entre 120°C y 140°C utilizando para esto un aceite térmico que remueve la energía térmica de un calentador pequeño (13) y se hace fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene al asfalto (14). Este asfalto caliente se bombea a un compartimiento (15) donde se pesa para su posterior adición a la mezcladora.

Además del proceso de producción de mezcla asfáltica en sí, la Planta A cuenta con un sistema de control ambiental el cual consiste en un colector de bolsas.



El proceso funciona de la siguiente manera: Al alimentar el material triturado al secador rotatorio (3), ocurre un desprendimiento de polvo el cual se extrae (al igual que los gases de combustión y el vapor de agua) por medio del extractor del equipo de control y después se colecta en un ciclón primario (17). Este polvo se lleva por medio de un transportador sinfín (19) al elevador de cangilones (5), donde se combina con el material triturado. Los polvos no colectados por el equipo de control pasan a una batería de ciclones pequeños (18).

Los polvos no retenidos en los sistemas de control pasan a un colector de bolsas (20) que contiene 11 módulos con 50 bolsas cada uno. Los polvos no retenidos en el colector, son liberados a la atmósfera por la chimenea.

La capacidad de diseño del extractor (16) es de $110,000 \text{ m}^3/\text{h}$ y se acciona por medio de dos motores de 150 HP (21). La velocidad de los gases a la salida de la chimenea es de aproximadamente 15 m/s. El sistema de limpieza del colector de bolsas es por medio del suministro de aire comprimido a contracorriente proveniente de un compresor (22), a una presión de 100 lb/in^2 . Esta operación se realiza automáticamente.



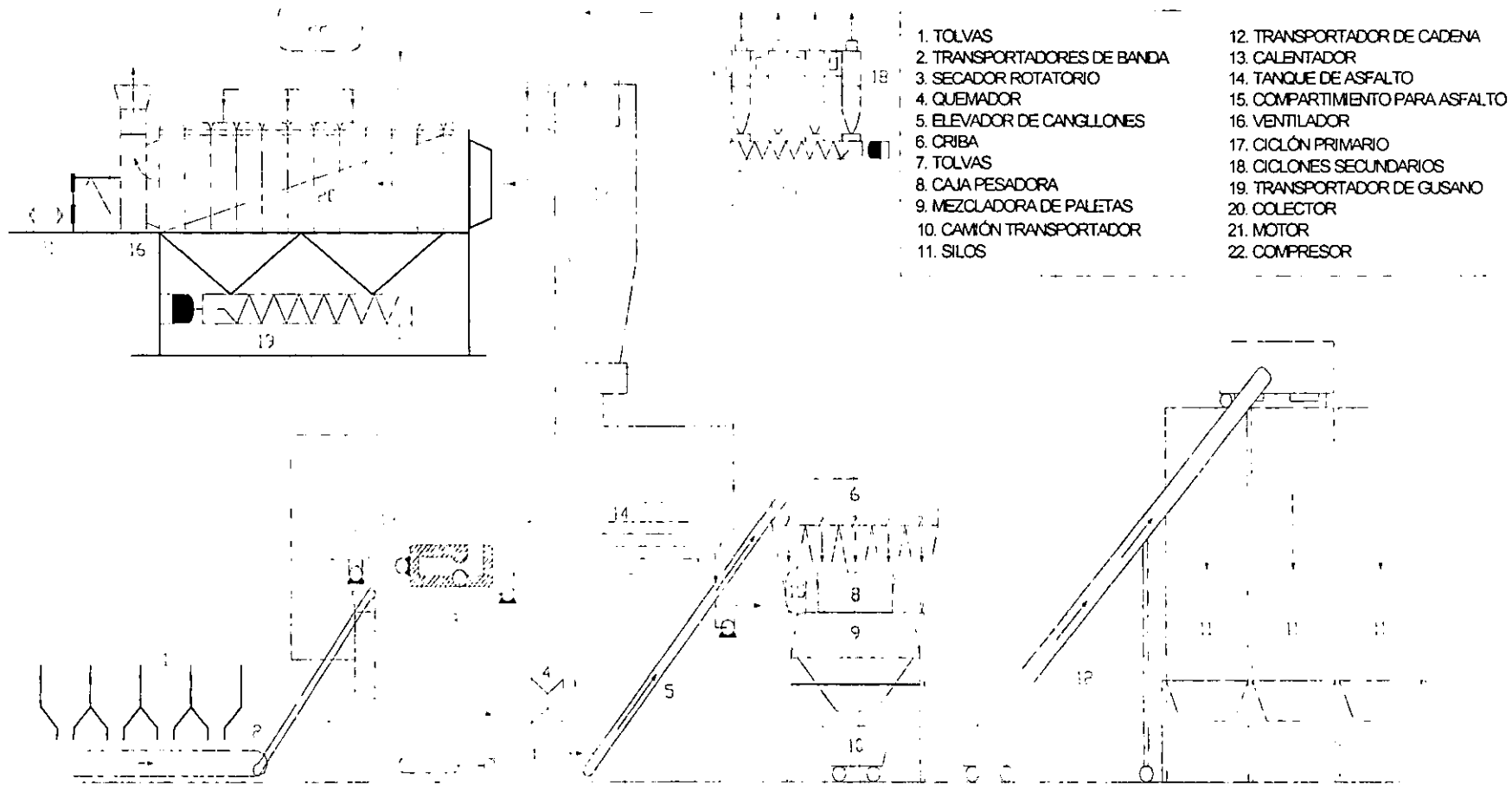


Figura 1. Flujo de proceso en la Planta A



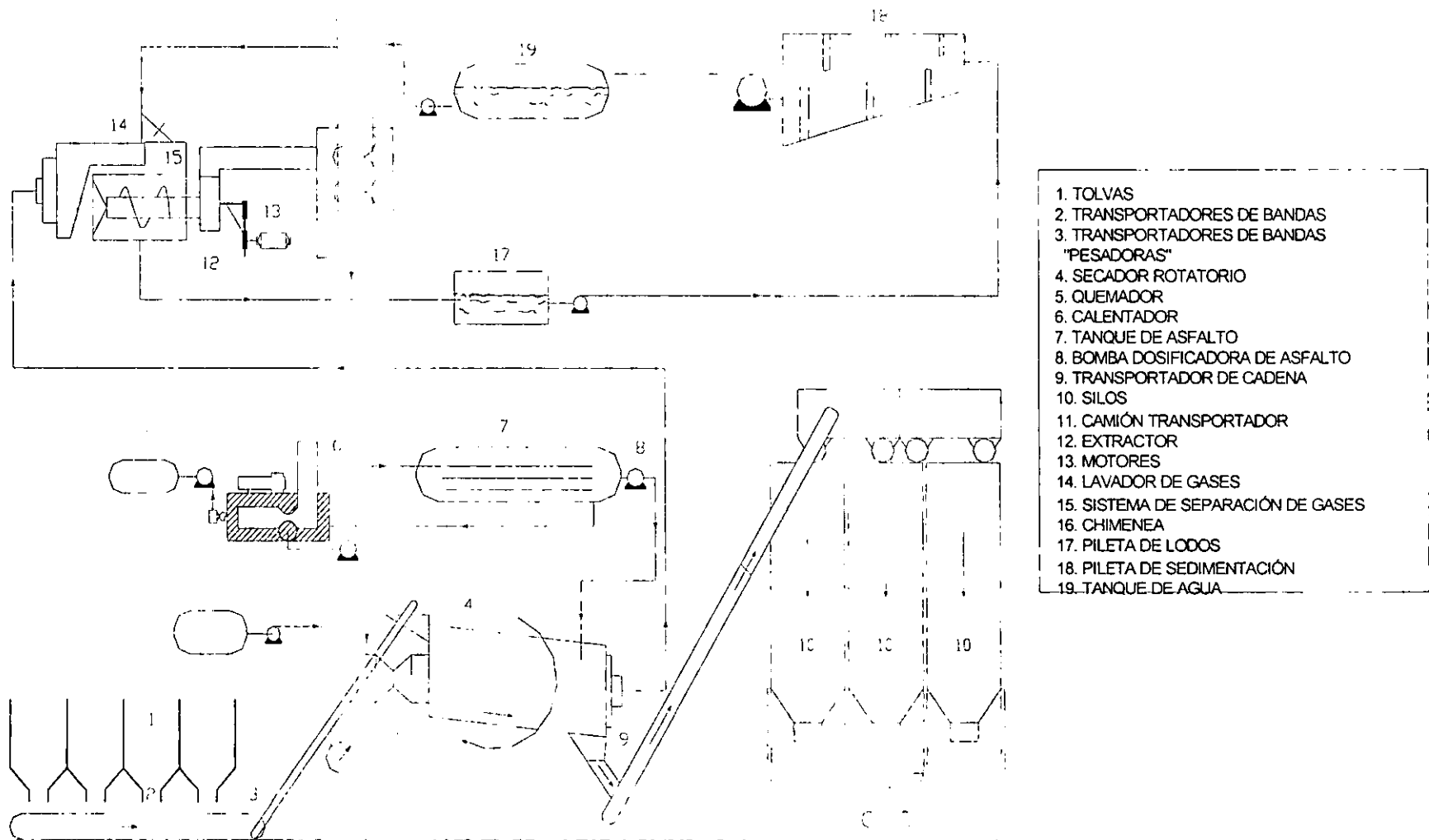
1.6.2 Descripción del proceso Planta B

La Figura 2 corresponde al Diagrama de Flujo de Proceso de la Planta B. Esta planta tiene una capacidad nominal de 300 ton/h pero trabaja normalmente a una capacidad de 250 ton/h. El consumo de combustible diesel por cada tonelada producida de mezcla asfáltica es de 4 litros en promedio.

El proceso de producción comienza al llevar el material triturado de las tolvas de alimentación (1) a un transportador de bandas (2) que a su vez lo lleva a una banda transportadora-pesadora (3) y de ésta a un secador rotatorio (4). El calor del horno(5) empleado para eliminar la humedad del material triturado es generado por la combustión del diesel. Los gases de combustión se introducen en flujo paralelo con el material triturado al secador rotatorio. El material se calienta hasta llegar a los 120°C o 140°C con el propósito de eliminar la humedad presente y de esta forma lograr una mezcla homogénea de éste con el asfalto.

De igual forma, el asfalto se calienta hasta llegar al intervalo de temperatura mencionado, por medio de un aceite térmico que se calienta con un pequeño calentador (6) y se hace fluir por un serpentín que se encuentra dentro del depósito que contiene el asfalto (7). El asfalto precalentado se dosifica por medio de una bomba reguladora de flujo (8) y se rocía al material triturado en el secador rotatorio. Este es un sistema de fabricación continua de mezcla asfáltica, y debido a esto se eliminan parte de los polvos desprendidos en el proceso de secado.





1. TOLVAS
2. TRANSPORTADORES DE BANDAS
3. TRANSPORTADORES DE BANDAS "PESADORAS"
4. SECADOR ROTATORIO
5. QUEMADOR
6. CALENTADOR
7. TANQUE DE ASFALTO
8. BOMBA DOSIFICADORA DE ASFALTO
9. TRANSPORTADOR DE CADENA
10. SILOS
11. CAMIÓN TRANSPORTADOR
12. EXTRACTOR
13. MOTORES
14. LAVADOR DE GASES
15. SISTEMA DE SEPARACIÓN DE GASES
16. CHIMENEA
17. PILETA DE LODOS
18. PILETA DE SEDIMENTACIÓN
19. TANQUE DE AGUA

Figura 2. Flujo de proceso en la Planta B



A diferencia del proceso que se realiza en la Planta A, en la Planta B no se requiere de una unidad mezcladora ya que la mezcla asfáltica ocurre en el secador rotatorio. Una vez que se tiene la mezcla asfáltica, un transportador de rastras (9) la lleva a tres silos de almacenamiento (10) para, finalmente, ser descargada a los camiones transportadores (11).

El sistema de control ambiental de esta planta consiste en un lavador de gases que funciona de la siguiente manera: Los polvos y gases desprendidos durante el proceso de secado del material triturado son succionados por un extractor (12) con capacidad nominal de 100,000 m³/h, el cual es accionado por dos motores de 100 HP (13); después, se hacen pasar por un lavador de gases tipo húmedo (14). En este equipo se rocía agua por medio de tres tubos (cada tubo tiene 10 espreas). Los polvos, gases y lodos entran a un compartimiento donde son separados por medio de un sistema de paletas fijas (15). El vapor de agua formado, así como los polvos y gases que no fueron retenidos en el colector húmedo, se llevan a la chimenea (16) y se liberan a la atmósfera. La mezcla de lodos obtenida se conduce a una pileta de asentamiento (17) donde parte de los polvos se sedimentan y los demás se llevan a un estanque de sedimentación (18) en el cual se asientan. El agua tratada de esta forma, se bombea a un depósito (19) para su uso posterior en el colector húmedo.

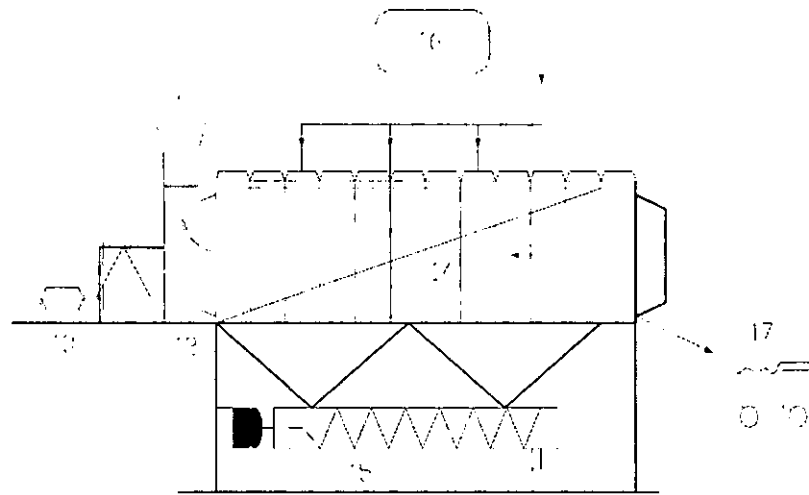


1.6.3 Descripción del proceso planta C

La Figura 3 describe el diagrama de Flujo de Proceso de la Planta C de producción de asfalto. Esta planta tiene una capacidad de diseño de 400 ton/h pero regularmente se opera a una capacidad de 300 ton/h. El material triturado se alimenta por medio de tolvas (1) a un transportador de bandas (2) el cual lo lleva a una banda transportadora-pesadora (3), la cual lo conduce al secador rotatorio (4). En el secador, el flujo de materia y de gases de combustión es en paralelo. Los gases de combustión provienen de un quemador (5) que utiliza como combustible diesel desulfurado el cual, en condiciones normales de operación, consume alrededor de 5 litros por tonelada de mezcla asfáltica generada.

Para mezclar el triturado con el asfalto, primero se precalienta éste último hasta temperaturas de 120°C o 140°C por medio de un aceite térmico que remueve la energía térmica de un calentador (6) y se hace fluir a través de un serpentín que está dentro del contenedor de asfalto (7). Una vez caliente el asfalto, se suministra por medio de una bomba medidora de flujo (8) al secador rotatorio donde se encuentra el material triturado y los polvos que provienen del colector de bolsas; de esta forma se lleva a cabo la mezcla asfáltica continuamente. Esta mezcla se transporta por medio de un elevador de cangilones (9) a tres silos de almacenamiento (10) en donde, finalmente, se descarga a los camiones.





- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. TOLVAS | 11. CAMIÓN TRANSPORTADOR |
| 2. TRANSPORTADOR DE BANDAS | 12. VENTILADOR |
| 3. TRANSPORTADOR DE BANDAS "PESADORAS" | 13. MOTOR VENTILADOR |
| 4. SECADOR ROTATORIO | 14. COLECTOR DE BOLSAS |
| 5. QUEMADOR | 15. TRANSPORTADOR SINFIN |
| 6. CALENTADOR | 16. COMPRESOR |
| 7. TANQUE DE ASFALTO | 17. BANDA TRANSPORTADORA DE POLVOS |
| 8. BOMBA DOSIFICADORA DE ASFALTO | |
| 9. TRANSPORTADOR DE CADENAS | |
| 10. SILOS | |

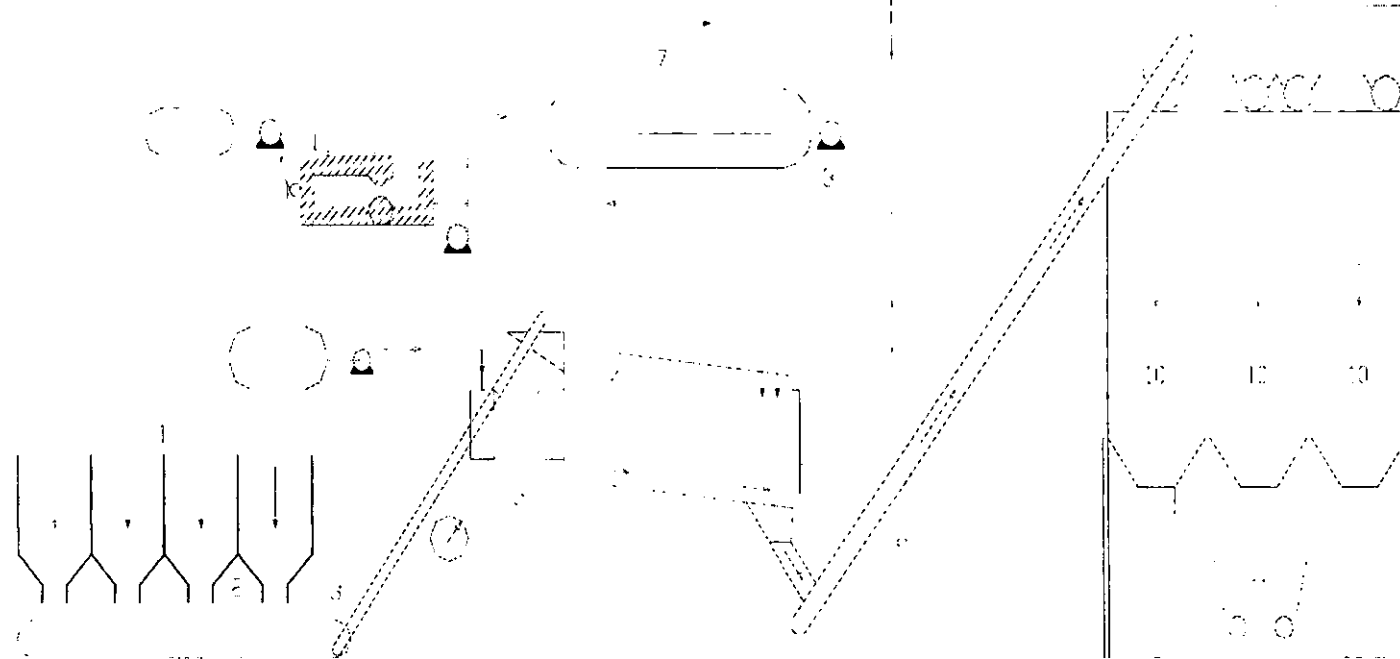


Figura 3. Flujo de proceso en la Planta C



El sistema de control ambiental de la Planta C consta de un colector de bolsas al igual que el de la Planta A. Los gases, polvos y vapores emitidos durante el proceso de secado del material triturado, son succionados por un extractor de baja presión (12) con capacidad nominal de 110,000 m³/h, el cual se acciona por un motor de 200 HP (13). El extractor hace pasar los gases y polvos a través de un colector de bolsas (14) que contiene 900 bolsas (con una distribución de 100 bolsas por módulo). En este sistema de control se logra retener una gran cantidad de polvo. El polvo no colectado es liberado a la atmósfera.

Parte de los polvos retenidos en el colector de bolsas, se llevan, por medio de un transportador sinfin (15), a un compartimiento de donde se toma una parte y se recircula al secador rotatorio; mientras que lo demás se desecha en un camión de volteo (adoptado como cisterna) en el que se mezcla con agua y se descarga para su posterior envío a la ciudad de Parres. El sistema de limpieza del colector de bolsas consta de un compresor (16) que funciona automáticamente.

1.7 LOCALIZACIÓN DEL YACIMIENTO

Se estima que un 70% de los minerales pétreos que consume la PA provienen de una cantera localizada en la región de Parres (Morelos), como lo muestra la Figura 4.



CAPÍTULO 2

DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES



CAPÍTULO 2. DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

En este capítulo se presenta información de apoyo para describir el origen de los polvos y lodos objeto de este trabajo además se incluye también información que permite sustentar las opciones de valoración propuestas para dichos materiales.

2.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS DESECHOS Y RESIDUOS SÓLIDOS

Por sus actividades biológicas o de producción de satisfactores, el hombre produce desechos o residuos en tres formas principales: Gaseosas, líquidos o sólidos. La naturaleza tiene cierta capacidad de aceptar estos residuos y reintegrarlos a un ciclo sin causar mayores al hombre o al ambiente. Cuando esta capacidad receptora se ve excedida, se generan problemas ecológicos irreversibles.

En México el problema de los residuos es grave, debido a la falta de tecnología en el campo del tratamiento de los residuos, teniendo en este rubro un atraso de varios años, ya que obtener dicha tecnología resulta caro y en muchos casos la que se ha obtenido resulta inadecuada. La industria y las dependencias involucradas, enfrentan a diario el problema del manejo y disposición de residuos sólidos, utilizando para el manejo gran parte de sus recursos técnicos y económicos, así como su tiempo y capital humano; para la disposición final no recibe en su inmensa mayoría de los casos la atención debida, ya que se recurre al método más simple del tiradero a cielo abierto, provocando los impactos ambientales ya conocidos.



La palabra desecho sustituye al de la basura, y se refiere a que todos los desperdicios generan materia imposible de reciclar, recuperar o utilizar con o sin tratamiento; así por ejemplo incinerar la basura contribuye a reducir su volumen grandemente, sin embargo la escoria o ceniza producida es de desecho que tiene que ser dispuesto de la mejor manera posible, igualmente ocurre con desechos automovilísticos prensados, la compactación reduce el volumen pero hay que disponer del producto resultante.

En este sentido se asume que hay un desecho producido por el tratamiento, también debe haber un residuo. El residuo es aquella parte de los desperdicios que sobran de un proceso, pero que tiene algún valor. Dado que los desperdicios deben de ser incorporados a los ciclos productivos y económicos, el término residuo nos empieza a condicionar a pensar en lo que llamamos basura, como un recurso o materia prima a utilizar en distintos niveles.

Los residuos sólidos son todos aquellos materiales que se desechan en los procesos productivos y de consumo. Los residuos sólidos son subproductos inevitables de toda actividad humana(industria, comercio, hogar, etc.) (Moreno, 1991).

2.1.1 Tratamiento de los desechos

2.1.1.1 Tratamiento con la obtención de productos comercializables

Debido a la cantidad de desechos generados se han desarrollado técnicas para su tratamiento, tendientes a darle un valor agregado al desecho, de tal manera que



permita la recuperación financiera que estos procesos requieren a mediano o largo plazo (siguientes capítulos) (Moreno, 1991).

2.1.1.2 Tratamiento sin la obtención de productos comercializables

En sí como ya se menciona, el problema de los desechos se constituye por una parte, los efectos socio-ambientales de su disposición. Una vez seleccionado el material a reutilizar, las partes sobrantes o que en sí no tiene ningún valor económico son destinadas a métodos de disposición final tales como; métodos no sanitarios (tiradero a cielo abierto y enterramiento controlado) y métodos sanitarios (relleno sanitario e incineración) (Moreno, 1991).

2.2 PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

Los pavimentos asfálticos son combinaciones de agregados minerales y material asfáltico, de varios espesores y tipos. La carga para las que un pavimento se proyecta determina el espesor del mismo y el tipo de construcción que debe emplearse.

Independiente del espesor o tipo del pavimento asfáltico, la carga se trasmite a través de los áridos, y el asfalto sirve únicamente como agente cementante que fija los áridos en las porciones adecuadas para transmitir las cargas aplicadas a las capas inferiores, donde se disipan finalmente. Los áridos son por lo general piedra partida, grava, escorias y arena, que se usan, ya combinados unos con otros (Wallace, 1983).



2.2.1 Asfalto

Los materiales asfálticos de construcción son una parte del crudo del petróleo extraído de pozos. La cantidad de asfalto que puede contener un crudo de petróleo es muy variable y depende de la densidad API (American Petroleum Institute) del mismo. Cuando más baja es la densidad del crudo, mayor es su contenido de asfalto; por ejemplo, un crudo con una densidad API 15 produce aproximadamente un 60% de asfalto y un 40% de destilados de petróleo más ligeros, tales como gasolina, keroseno, aceites lubricantes, etc. Por otro lado, un crudo de densidad API 35 puede producir solo un 10% de asfalto y alrededor de un 90% de fracciones más ligeras (Wallace, 1983).

2.2.2 Clasificación de pavimentos asfálticos

Los diversos tipos de pavimentos asfálticos se dividen en dos amplios grupos, con varias subdivisiones para cada uno:

Clase 1: Mezclas en planta.

- a) Hormigón asfáltico en caliente
- b) Hormigón asfáltico en frío
- c) Mezclas en carretera con planta móvil.

Clase 2: Sistemas por penetración o estratificados:

- a) Tratamientos asfálticos superficiales, incluyendo riesgos de sellado
- b) Tratamiento superficiales multicapa
- c) Macadam asfáltico



La clase 1 incluye todos los pavimentos asfálticos en que los áridos se envuelven en asfalto por mezclado mecánico. El mezclado puede realizarse con planta fija o móvil o con motoniveladora. Este tipo de pavimento asfáltico se emplea usualmente para tráfico pesado.

La clase 2 incluye todos los pavimentos que se forman colocando el asfalto y los áridos en distintos momentos o en capas separadas. Son sistemas estratificados únicamente en el sentido de que se construyen por capas separadas. Este tipo de pavimentos asfálticos se usa para tráfico ligero y pesado (Wallace, 1983).

El hormigón asfáltico mezclado y colocado en caliente es el pavimento asfáltico de mayor calidad. Se compone de áridos granulados unidos formando una masa sólida. Este tipo de pavimento tiene muchos usos, pero se emplea principalmente para autopistas y campos de aviación.

El hormigón asfáltico mezclado y colocado en frío es un tipo de pavimento ligeramente inferior al mezclado y colocado en caliente, y se usa por lo general para reparaciones o para obras de pequeño volumen. El hormigón asfáltico en frío es una combinación de áridos y materiales asfálticos líquidos que se mezclan y se colocan a la temperatura ambiente (limitada en su fabricación y puesta en obra en los meses cálidos).

El mezclado en planta móvil se realiza con los áridos a temperaturas atmosféricas normales. El material asfáltico líquido que debe añadirse a la mezcla se calienta



normalmente a tal temperatura que adquiriera viscosidad necesaria para un mezclado homogéneo.

Los tratamientos asfálticos superficiales son aplicaciones, en una sola capa, de material asfáltico y áridos sobre base flexibles recién construidas. Esta capa superficial ligera se construye de la misma manera que los riegos de sellado, salvo que las dosificaciones de los materiales son, por lo general mayores.

Tratamientos asfálticos superficiales multicapa. En los tratamientos asfálticos superficiales multicapa, la operación de colocar una capa de asfalto y otra de áridos, se repite varias veces. Cada aplicación de asfalto y árido es una capa, y cada capa se emplean áridos de tamaños progresivamente menores.

Macadam asfáltico. En este tipo de construcción estratificada se coloca primero sobre el camino, una capa de piedra partida y limpia de tamaño razonablemente uniforme y se apisona. A continuación se riega con asfalto abundante la capa de piedra machacada, de forma que aquel penetre en los huecos y ligue las piedras entre si. A continuación se extiende una capa de gravilla para llenar los huecos superficiales de la primera capa de piedra extendida. Después que esta gravilla ha quedado perfectamente apisonada, se hace una ligera aplicación de asfalto seguida de una delgada capa de menor tamaño y se vuelve apisonar. En pavimentos de tráfico pesado se recurre a veces a dos o mas capas de macadam asfáltico como constituyente principal de la base (Wallace, 1983).



2.2.3 Materia prima (minerales pétreos)

En un 99% el desecho producido en la PA es mineral pétreo que se utiliza en la mezcla asfáltica para obtener los pavimentos, el cual sin cambiar radicalmente su naturaleza química, razón suficiente para indagar sobre el origen del mineral pétreo utilizado en el proceso de la mezcla asfáltica.

La PA consume cantidades considerables de minerales pétreos, por lo que el origen de los minerales es variable, ya que no cuenta con un proveedor permanente que satisfaga sus necesidades de consumo, esto es que los minerales sean en grado variable diferentes, dependiendo de las características geológicas y geográfica de la cantera donde se realiza la extracción del mineral. Esto es necesario mencionarlo ya que los resultados pudieran tener variantes debido a que el desecho es susceptible a tener cambios considerables en la composición química.

2.2.4 Clasificación

Las rocas se dividen en tres grandes grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas (Venuat, 1972).

2.2.4.1 Rocas Ígneas

Son las que provienen del material ígneo del manto terrestre (este material toma el nombre de magma cuando se encuentre en el interior de la tierra y de lava cuando ha



sido expulsada al exterior). Las rocas ígneas se dividen en dos grandes grupos: las intrusivas y las extrusivas.

Las rocas intrusivas se forman cuando el magma es inyectado a una cavidad interior de corteza terrestre, se reconocen porque debido a su enfriamiento lento contienen en su interior cristales visibles de sus diferentes componentes, un ejemplo típico de estas rocas es el granito (Venuat, 1972).

Las rocas extrusivas resultan de la expulsión al exterior del magma transformándose en lava, son los productos de los volcanes, el basalto es un ejemplo de este tipo de rocas. Estos dos grupos se dividen a su vez según la proporción de hierro, se llaman básicas y aquellas en la que predominan el óxido de silicio (SiO_2) toman el nombre de ácidas.

El *basalto* es el nombre genérico de un tipo de roca ígnea densa, dura, de color que va de castaño oscuro a negro que consiste en feldespatos y augita y a menudo contiene cristales de olivina verde. Aparece como roca trapeciana o como roca volcánica. Su gravedad específica es de 2.87 a 3 g/cm^3 y es extremadamente dura. Con frecuencia se encuentran masas de basalto en columnas o primas, como los celebres acantilados de basalto de Irlanda del norte. Difiere del granito en que es una roca extrusiva de fino grano y en que tiene un alto contenido de hierro y de magnesio. El basalto se usa en forma de grava de cantera para pavimentos, como material de construcción y para hacer lama mineral. Un basalto fundido ruso, que se usa para aisladores eléctricos, se llama angarita. En Alemania el basalto fundido ha sido usado como piedra de construcción, para forros y para pisos industriales. Se hace fundiendo el basalto



triturado y clasificado, y templándolo a continuación por enfriamiento lento (Venuat 1972).

2.2.4.2 Rocas sedimentarias

Las sedimentarias son las formadas por la aglutinación de los productos de erosión; ordinariamente, el material aglomerante es el carbonato de calcio. A este tipo de rocas pertenecen, las llamadas calcáreas o calizas, hay que considerar que son las que han sufrido más la acción destructiva del agua en el transcurso del tiempo. Las zonas de rocas calcárea son aquellas en las cuales se encuentra las excavaciones llamada grutas o ríos subterráneos (Venuat, 1972).

2.2.4.3 Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son aquellas que, después de su formación, han sido sometidas a presiones y temperaturas elevadas cambiando sus propiedades; el mármol es un ejemplo de este tipo de rocas. En las rocas metamórficas, ordinariamente, se lleva acabo una recristalización, favoreciendo al aumento de la resistencia y a la adquisición de un aspecto agradable muy solicitado en la construcción (Venuat, 1972).

2.3 ASPECTOS GENERALES DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

2.3.1 Morteros



Se le da el nombre de mortero a la mezcla aglutinante que se utiliza entre si, las piedras de todos los tamaños, tabiques y otros materiales; esta formado por una mezcla de cemento, arena fina y agua. El cemento es la parte principal en la elaboración del mortero; es el aglomerante, ya que tiene propiedades adhesivas y cohesivas. Mezclado con agua da una pasta que es temporalmente plástica y endurece con el tiempo, formando una masa compacta.

Para obtener un mortero se adicionan se adicionan al cemento dos clases de producto:

- a) Los agregados: Con este nombre se conocen los materiales que se unen a la masa del cemento para dar una pasta adhesiva, ordinariamente son: Arena, piedras de diferentes tamaños o productos similares, los agregados son parte mortero al igual que el cemento, bajan el costo del producto y aumentan su resistencia al esfuerzo.
- b) Los aditivos: Son diferentes sustancias, utilizadas ordinariamente en pequeñas cantidades, sirven para dar al concreto ciertas propiedades adicionales, no se consideran parte constitutiva del mortero.

El cemento y los agregados determinan las características del mortero y su comportamiento y su comportamiento, de aquí la importancia que tiene el conocimiento de estos productos y sus variedades para el ingeniero (Venuat,1972).



2.3.1.1 Datos históricos

En construcciones arcaicas de piedra que se han conservado, se observa que se logró la estabilidad haciendo coincidir exactamente las superficies de los materiales para que la fricción diera estabilidad a la estructura, este sistema se continuó usando aun después de la aparición del mortero. Algunos pueblos antiguos comenzaron a utilizar productos adhesivos para unir las diferentes piezas de los muros, por ejemplo, el yeso y el asfalto extraído de algunos yacimientos petrolíferos superficiales.

Aparece la cal para la fabricación de los morteros: La cal apagada o hidróxido de calcio mezclado con arena y agua forma una pasta aglutinante que fue utilizada para obtener la adherencia de los diferentes elementos de la construcción. Esta pasta se endurece al secarse, inicialmente por la cristalización del hidróxido de calcio y al pasar el tiempo absorbe el anhídrido carbónico del aire para transformarse en carbonato, aumentando su adhesividad y su dureza, al mismo tiempo adquiere resistencia a la acción del agua.

El inconveniente de la cal, en la fabricación de los morteros, está en que debe secarse para adquirir sus cualidades y no llega a resistir la acción del agua sino algún tiempo después de su fraguado además de que no se puede utilizar bajo el agua. Algunos constructores encontraron que ciertas piedras calcáreas, que llevan en forma de mezcla otros minerales, al ser calcinadas, dan cales con propiedades de endurecer aún bajo la acción del agua, las llamaron cales hidráulicas y fueron utilizadas sin que llegaran a conocer las causas de esta propiedad.



Con el descubrimiento del cemento, que es una cal hidráulica proviene de una mezcla artificial, se pudo, por fin, estudiar las causas químicas de esta propiedad. El descubrimiento del cemento se atribuye a Joseph Aspdin en 1824, quien le dio el nombre de cemento Portland, por su color parecido a las canteras de esa región de las islas británicas (Venuat,1972).

2.3.1.2 Deterioro del mortero fraguado

El mortero fraguado está expuestó a varios tipos de alteraciones:

- a) Por causas mecánicas: Pueden ser impactos o fricción; el cemento y el concreto resisten mejor a estas acciones cuando han sido fabricados con las precauciones debidas. El agregado grueso tiene un papel muy importante en la resistencia de fricción
- b) Por causas químicas: El cemento está expuesto a dos tipos de ataque químico, el externo y el interno. La causa principal del ataque externo se encuentra en las sustancias disueltas en las aguas que rodean la construcción, como por ejemplo sulfatos y los productos alcalinos. El ataque interno es producido por los compuestos que acompañan en ocasiones a la arena. El ataque externo, se evita con cementos de alta resistencia a estas sustancias; para el ataque interno, es necesario seleccionar bien los agregados y en casos extremos darles un tratamiento, siendo el más común el lavado. El mayor peligro de ataque externo para el revestimiento, existe en estructuras expuestas a las aguas marítimas o a las a las que llevan desechos orgánicos. En ciertas regiones existen aguas con



alto contenido de sustancias alcalinas que pueden ser dañinas al mortero ordinario

- c) Por congelación: El agua al congelarse se dilata y produce fracturas en los cuerpos en los cuales ha penetrado, en el mortero se evita este fenómeno con la utilización de inclusores de aire (Venuat, 1972).

2.3.1.3 Hidratación

Al agregar agua al mortero, los componentes básicos reaccionan con ella transformándose en dos nuevos compuestos que se endurecen:

- a) Hidróxido de calcio cristalino.
- b) Un gel, no cristalino en granos muy pequeños, con diámetro cercano 10 nanómetros, la gran superficie de estos granos de gel, unido a propiedades de adherencia molecular, origina el poder aglomerante y es el factor principal de endurecimiento.

Aunque las exigencias de la calidad del agua no son muy estrictas. Existen ciertas aguas que no son muy propicias para la hidratación del mortero, son aquellas que contienen demasiadas sales o productos orgánicos; ordinariamente se consideran adecuadas las aguas potables.

El proceso de hidratación es aproximadamente el 45% el peso del mortero (0.45 factor de agua), lo que corresponde aproximadamente al 90% del volumen del mortero en polvo no comprimido. En un mortero, un 25% del peso del mismo, entra en la reacción



de los silicatos, el resto es decir 20% ayuda a la movilidad de las partículas y queda en forma de pequeños cilindros capilares dentro de la masa. Una mayor de agua disminuye en forma considerable la resistencia al esfuerzo del mortero y puede volverlo permeable al oxígeno a la humedad, por el alargamiento de los capilares que llegan a tocarse, formando tubos por donde penetran los gases, originando efectos destructivos posteriores (Venuat,1972).

2.3.1.4 Velocidad de hidratación

La velocidad de hidratación del mortero, está relacionada con la temperatura. La temperatura de 30°C se considera como la ideal para la reacción química, paralizándose ésta a 0°C. Se pone en práctica diferentes procedimientos para lograr temperaturas cercanas a la ideal. En caso de condiciones adversas que no se puedan remediar, debe tomarse en cuenta el tiempo de endurecimiento (Venuat,1972).

2.3.1.5 El agua y la trabajabilidad de los morteros

Es indispensable vigilar durante la elaboración de la pasta, para que no se agregue agua en exceso, la causa principal de esta tendencia estriba en el deseo de dar mayor fluidez al producto (mayor trabajabilidad), lo que facilita su manejo. Existen dos métodos para lograr esta fluidez sin recurrir a agua extra:

- a) Aditivos fluidizantes
- b) Utilización del vibrado en el momento de preparar la pasta (Venuat,1972).



2.3.1.6 Inclusiones de aire

Existe otra precaución necesaria al mortero: La Inclusión de aire; se da este nombre a la operación por la cual se introduce en el mortero burbujas con diámetro de micrómetros; la inclusión se logra agregando aditivos que ordinariamente son resinas orgánicas neutralizadas. Estas pequeñas burbujas de aire tienen el objetivo principal de evitar el agrietamiento de la aplicación y como efecto secundario ayudan dándole mayor fluidez a la pasta fresca.

El contenido de aire incluido se suele controlar entre un 2% y 6%. El aire incluido disminuye un poco la resistencia del mortero al esfuerzo, pero esta pérdida está compensada con aumento de fluidez que ayuda a usar menos agua. Hay que distinguir el aire incluido, de las burbujas más grandes para que se pueden introducir al mortero, con la finalidad de aligerarlo, el debilitamiento que éstos producen es mayor y deben ser utilizados para casos especiales en los que se requieren cargas ligeras (Venuat,1972).

2.3.1.7 Sangrado

Otro de los efectos indeseables es el llamado sangrado del mortero, el cual es un fenómeno producido por una hidratación inadecuada, que hace que parte del agua se separe y flote en la superficie o escurra (caso vertical u horizontal) (Venuat,1972).



2.3.1.8 Curado

Las reacciones que endurecen la pasta se lleva en periodos largos (como del concreto) 28 días o más, todo este tiempo, el cemento debe tener suficiente agua, esto se logra con la operación llamado "curado". La forma más común del curado consiste en regar la pasta dura con regularidad, la periodicidad de esta operación depende de las condiciones climatológicas. El curado debe comenzar tan pronto la pasta pierda el brillo superficial. Para ahorrar agua de curado, existen películas protectoras que se aplican con brocha después del vaciado, se pueden utilizar hojas de plástico que cubren la superficie externa. En algunas partes se acostumbra cubrir los terminados con aserrín mojado para ayudar a su hidratación. Un curado inadecuado puede disminuir la resistencia del cemento a menos de la mitad de su valor (Venuat,1972).

2.3.2 Agregados

Los agregados constituyen la mayor parte dentro de la mezcla. Se dividen ordinariamente en agregados gruesos y agregados finos; las dimensiones son variables, sin olvidar que existen casos especiales. La relación de proporciones del cemento y agregados debe ser tal que el primero aglutine totalmente el conjunto. La mezcla bien proporcionada da ahorros de cemento que es el producto de mayor precio.

Los agregados deben cumplir ciertas condiciones (Venuat,1972):



- a) Estar exentos de limo, arcilla, materia orgánica y sales químicas; estas sustancias dificultan la adherencia del cemento y además las dos últimas pueden combinarse con él, impidiendo su fraguado o acelerándolo indebidamente
- b) Deben conservarse intactos bajo cambios de temperatura y humedad
- c) Resistir a las condiciones ambientales sin descomponerse
- d) Su dureza debe ser mayor a la del cemento endurecido

Los polvos de las Plantas de Asfalto pueden considerarse como un agregado fino: Estos agregados, llamados también arena, son los que llenan los espacios que deja libres el agregado grueso y aglutinándose con el cemento, endurece la masa. El arena se encuentra en diferentes calidades, la más apreciada es aquella en la cual los trozos de sílice tiene la forma adecuada y no llevan mezclas de otras sustancias; al lado de ésta, se encuentran depósitos de menor calidad que tiene arena mezclada e impurificada. Cuando el arena es de buena calidad, aumenta la resistencia y dureza del cemento por lo cual debe tenerse cuidado especial en su selección (Venuat,1972).

2.3.3 Recubrimientos

2.3.3.1 Definición

El término recubrimiento incluye todas las pinturas, que se utilicen para la protección de superficies, por medio de inhibición o por aislamiento del medio. El término pintura, se refiere a un recubrimiento generalmente delgado, con algunas propiedades de protección, pero con propósitos principalmente estéticos.



Estos recubrimientos pueden consistir en una o varias capas. Cuando se usan varias capas, éstas pueden ser del mismo o de diferentes materiales compatibles entre sí; en este último caso, la primera capa se denomina recubrimiento primario, las subsecuentes son recubrimientos intermedios y finalmente el acabado (Carranza, 1990).

2.3.3.2 Descripción

La propiedad común en los recubrimientos, es que aplica en estado líquido, ya sea de alta o de baja viscosidad, con la subsiguiente formación de películas sólidas y continuas. Dado esto y en función de sus propiedades, existen varios medios de convertirlos de una película húmeda a una completamente seca y sólida.

Algunos curan a intemperie con un determinado tiempo de secado, otros son catalizados con el fin de acelerar o retardar el mismo factor, otros más son horneados y, finalmente, existen algunos que nunca endurecen completamente.

Sin embargo, todo recubrimiento debe tener un ingrediente esencial capaz de formar una película continua sobre la superficie cubierta; este ingrediente esencial recibe comúnmente el nombre de aglutinante. El aglutinante es generalmente de naturaleza resinosa y confiere la propiedad, no sólo de formar una película con determinada adherencia, sino de retener también pequeñas partículas de sustancias minerales o de pigmentos.



En esta forma, todo recubrimiento simple, se conforma a base de dos componentes fundamentales: el aglutinante y el pigmento. Estos pueden estar constituidos a su vez por otros componentes individuales y además llevar incluidos agentes modificantes.

Al aglutinante, que debe hallarse en estado líquido al aplicar el recubrimiento, se le conoce en esta fase como vehículo. El vehículo líquido puede convertirse en el aglutinante sólidos por diversos métodos.

La primera posibilidad es simplemente disolver el aglutinante en solventes, los cuales se evaporan después de aplicado el recubrimiento y depositarán el aglutinante en estado sólido. El material volátil contenido en el vehículo se conoce generalmente como disolvente o adelgazador.

Otras formas de convertir el líquido en sólido, se basan en reacciones químicas, de suerte que el vehículo cambia de forma sin pérdida de sustancias volátiles. En otros casos, puede haber una combinación de ambos métodos. Teniendo presente estos componentes esenciales en los recubrimientos protectores, puede verse que es posible clasificarlos de acuerdo al tipo o clase de resina aglutinante en que se basan.

Los pigmentos incluidos tienen naturalmente su importancia, sin embargo, el aglutinante es probablemente el factor más importante, y de él dependen la resistencia de los agentes químicos y la corrosión del recubrimiento (Carranza, 1990).

2.3.3.3 Clasificación de los recubrimientos



Las propiedades y características básicas de cualquier recubrimiento son tan infinitamente variadas, como requerimientos se exigen, por lo que resultan una infinidad de combinaciones cualitativas y cuantitativas entre los componentes básicos, como son el aglutinante, el pigmento, los solventes y las cargas con que se forma el recubrimiento (Carranza, 1990). En la figura siguiente se muestra una clasificación general de los recubrimientos.



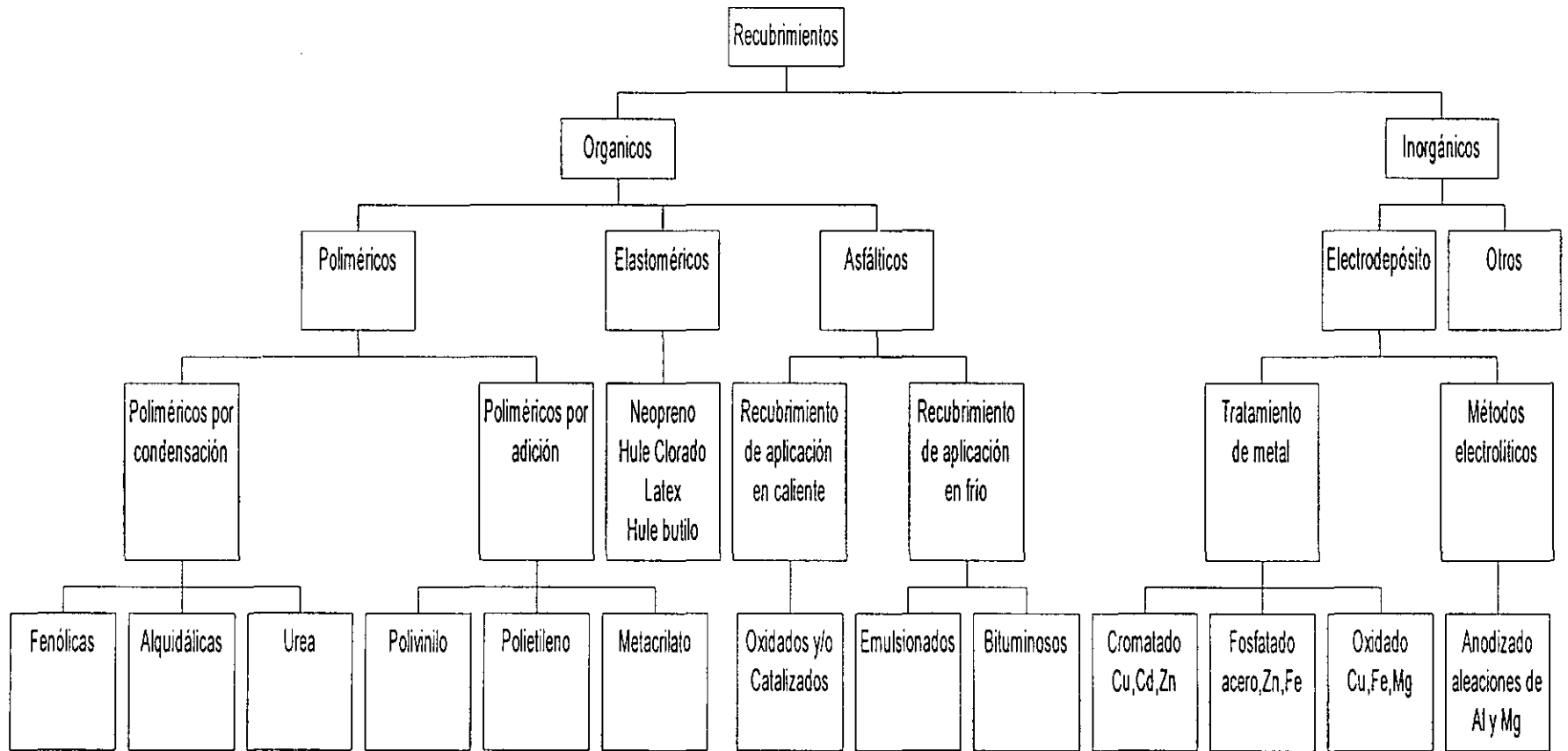


Figura 5. Clasificación de recubrimientos



2.3.4 Revestimiento

2.3.4.1 Descripción

Se conoce como revestimiento aquel sistema de protección que resulta de la utilización combinada y sistemática de recubrimientos, refuerzos y dispositivos adicionales. El desarrollo de los revestimientos en sí como sistemas combinados, ha venido efectuándose en función de la multitud de casos y necesidades industriales, creando diferentes grados de complejidad, que van desde algún sistema de recubrimiento simple o de varios componentes, hasta sistemas complejos de varias capas reforzadas y añadiendo sistemas periféricos de protección catódica adicional. En la figura siguiente se muestra una clasificación general de los revestimientos (Carranza, 1990).

2.3.4.2 Conformación de un sistema de revestimiento

Cualquiera que sean las funciones y características a cumplir para el revestimiento, es de suma importancia observar un orden en la formación del mismo, de acuerdo a los siguientes pasos:

- Preparación de la superficie: Consiste en una limpieza mecánica o química, sellado y reparación de imperfecciones en la superficie, etc.
- Primarización: Aplicación de una o varias capas de algún recubrimiento primario para anclaje y compatible a las subsecuentes capas
- Aplicación de la primera capa de recubrimiento
- Colocación de membranas de refuerzo.
- Conformación del revestimiento en sí, aplicando "n" capas alternadas de recubrimiento y membranas o filtros de refuerzo
- Aplicación de acabados, remates y protecciones adicionales (Carranza, 1990).



Clasificación de los Revestimientos

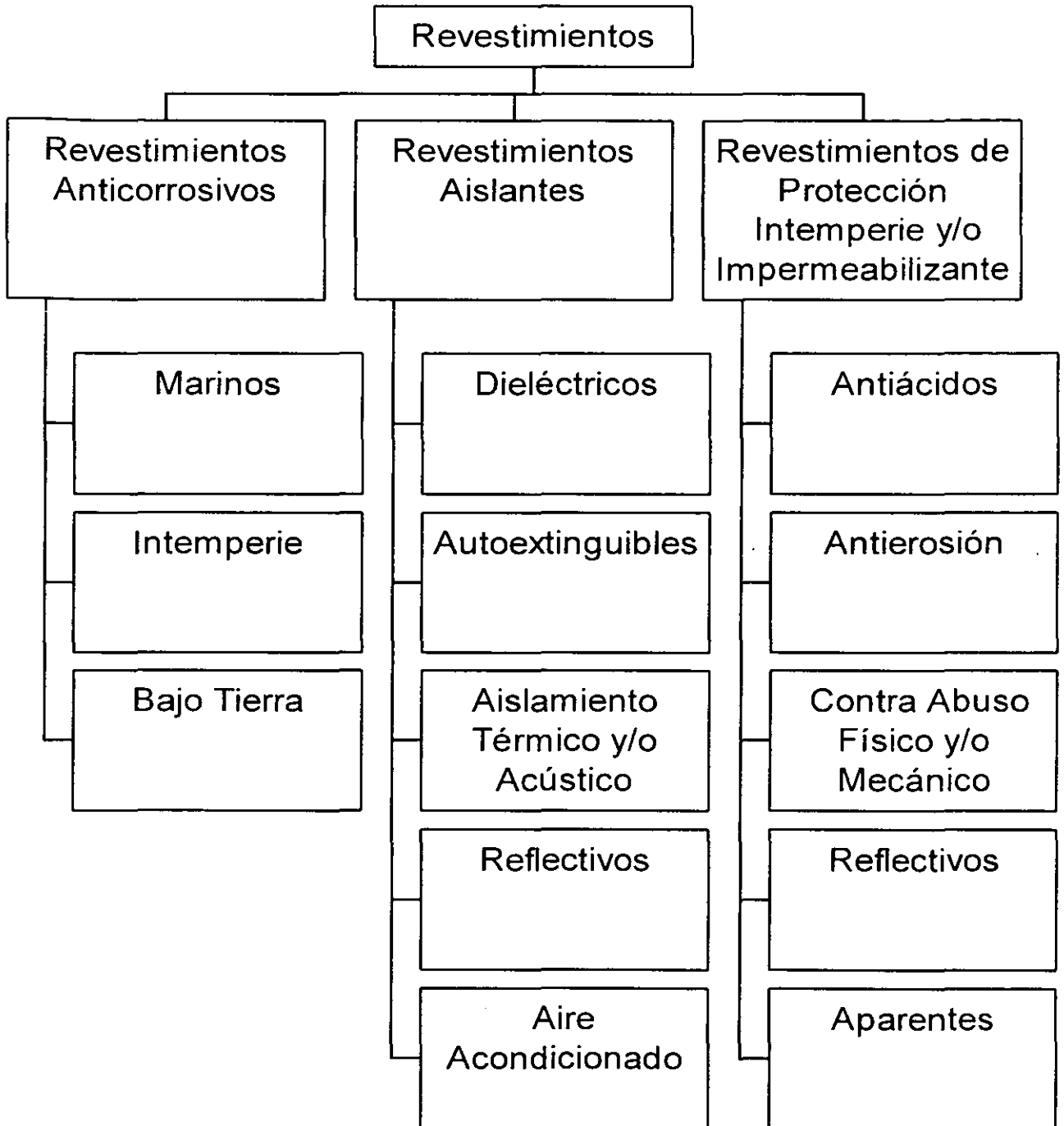


Figura 6. Clasificación de revestimientos



2.3.4.3 Revestimientos prefabricados

Existen materiales que ya vienen conformados con varias capas de recubrimientos, con refuerzos y hasta con acabados, de tal forma que se hace necesario la aplicación de recubrimiento primario, e inmediatamente después el material prefabricado. Este tipo de productos proporcionan grandes ventajas en cuanto a tiempo y facilidades de aplicación, pero no siempre es factible utilizar estos sistemas. Adicionalmente existen prefabricados en una amplia variedad de presentaciones y con una infinidad de propiedades, como son los aislantes térmicos y acústicos, antiderrapantes, antiácidos, etc. Y los encontramos disponibles en láminas, hojas, medias cañas, cintas, etc (Carranza, 1990).

2.3.4.4 Revestimientos de acabado

Con el fin de ser más ilustrativos en lo que toca al importante paso final en la conformación de un revestimiento, en la siguiente tabla se muestran algunos ejemplos de recubrimientos y materiales de acabado.



Tabla 1. Revestimientos y materiales de acabado (Carranza, 1990)

Revestimientos y materiales de acabado
Esmaltes Alquidáticos, Vinílicos, Acrílicos, etc.
Acabados Epóxicos
Acabados Vinílicos
Acabados Fenólicos-Aluminio
Acabados Vinilo o Epoxico catalizado de altos sólidos
Recubrimientos Asfálticos-Brea de Hulla
Recubrimientos preformados para aislamiento térmico (lana mineral, fibra de vidrio, poliuretano, etc.)
Recubrimientos contra impacto y/o abuso físico (desplegado, enladrillados, morteros, etc.)
Recubrimientos antivegetativos
Recubrimientos ahulados
Recubrimientos autoextinguibles.

2.4 ASPECTOS GENERALES DE LA CERÁMICA

Dado que una de las opciones que se ha planteado en este trabajo para la utilización de los polvos y lodos de la PA, es su inclusión en la formulación de materiales cerámicos se considero necesario presentar fundamentos generales sobre este tema.



2.4.1 Definición

Se puede definir la cerámica como el arte y la ciencia de hacer y usar artículos y sólidos, los cuales tienen como componentes principales sustancias inorgánicas, exceptuando a los metales (Riley, 1967). Se debe entender que con esta definición se encuentran incluidos tanto los tipos de porcelana, como refractarios, cerámica vidriada, eléctrica, etc. También, puede ampliarse esta definición viéndolo desde el punto de vista, de que es la formación de piezas por la acción del calor sobre materias crudas de la tierra, de aquí su nombre que viene del griego Keramos- de la tierra.

Se dice que los antecedentes de la cerámica vienen desde la prehistoria, al momento de descubrirse el hecho de que la arcilla se endurecía con el fuego. El hombre primitivo llegó a modelar figurillas y utensilios con adornos y diseños, hechos con pastas de barro más o menos cosidas. Es por esto, que esta clase de alfarería es la más importante de todas debido a su textura porosa; bajo punto de cocción, haciéndola fácilmente permeable a líquidos y grasas. Las impresiones eran hechas con los dedos y también las rayas y figuras geométricas sobre la pasta aún blanda. Pero gracias al reconocimiento de la vitrificación, viene un gran avance en la cerámica, después de mucho tiempo de estancamiento.

El vidriado dio a las vasijas de barro cocido la impermeabilidad de que carecían, embelleciéndolas al mismo tiempo con una capa de barniz lustroso y duradero. Esta categoría es la inmediata en el orden cronológico del proceso cerámico. Este vidriado lo lograban cubriendo la pieza con un lustre transparente extremadamente delgado a



base de sílice, hecho fusible por la adición de un álcali como la sosa (NaOH) y la potasa (KOH).

Con el empleo de los vidriados hubo un gran avance en la cerámica, como se mencionó anteriormente, ya que ahora no sólo se hacen piezas para la decoración, sino que se emplean y son requeridas en la industria, debido a que pueden presentar ciertas características que son indispensables para esta área, como son: Propiedades eléctricas, mecánicas, térmicas y estructurales. De aquí el hecho de que se empleen en la industria electrónica, química, nuclear, constructora, entre otras.

Toda esta diversidad de propiedades que presentan, se debe en parte a las materias primas básicas que contienen, como es: el feldespato y el caolín, principalmente. Se emplean también, otras sustancias, que van a influir en las características de cada una de las pastas, así se tiene (Riley, 1967):

- a) Cerámica de óxidos puros: Ha sido desarrollada a un alto estado de uniformidad y con destacadas propiedades, debido al uso de compuestos eléctricos y refractarios especiales. Los óxidos más comúnmente usados son entre otros: la alúmina (Al_2O_3), magnesia (MgO), zirconia (ZrO_2), espinela (MgAl_2O_4).
- b) Cerámica magnética: Presenta una gran variedad de composiciones y usos. Ella forma la base de las unidades de las memorias magnéticas en muchas computadoras. Su única propiedad eléctrica es particularmente usada en aplicaciones electrónicas de microondas de alta frecuencia.
- c) Esmaltes para aluminio: Han sido muy desarrolladas y tienen una gran participación en la industria de la construcción.



- d) Carburos cerámicos: Presentan una gran demanda, ya que se emplean como materiales abrasivos.
- e) Cerámica ferroeléctrica: Tiene una alta constante dieléctrica, usándose por este hecho como un competente electrónico

2.4.2 Clasificación de pastas cerámicas

Antes de hablar de hablar de una clasificación de pastas es importante definir lo que es una pasta. Esta consiste en la mezcla de toda la materia prima necesaria para la fabricación de cualquier producto cerámico. Siendo esta la parte principal del producto ya que el vidriado constituye sólo una parte. El nombre que se le da a las pastas depende en algunas ocasiones de características que presentan tales como su color, textura o moldeabilidad; otras pueden llamárseles por el uso que se les va a dar, haciendo todo esto muy confuso, ya que alguna pasta puede presentar en ocasiones diferentes nombres. Una clasificación general para pastas cerámicas es la mostrada en la siguiente lista (Aguilar, 1979).

- a) Productos de ladrillería (incluye no refractarios, ladrillos ,revestimientos,...)
- b) Terracotas
- c) Productos refractarios
- d) Productos de alfarería (cacharros antiguos, azulejos, etc.)
- e) Loza (loza arcillosa, feldespática, sanitaria, etc.)
- f) Gres
- g) Porcelana (dura, blanda)
- h) Especialidades electrónicas y altamente refractarias



CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS POLVOS Y LODOS DE DESECHO

Es necesario llevar acabo una clasificación y caracterización física y química del desecho lo más concreta, cualitativa y cuantitativamente posible con la finalidad de poder conformar una hoja técnica con las especificaciones más relevantes del desecho y fundamentar las opciones planteadas en la valoración de los polvos.

Evidentemente el hecho de realizar una caracterización del los polvos y lodos de desecho, es identificar la naturaleza del desecho y además obtener argumentos para reforzar las opciones de valoración con la finalidad de someter a tela de juicio las opciones que se presentan en este trabajo (ver sección 1.4).

3.1.1 Análisis Físico

3.1.1.1 *Granulometría y densidad aparente*

Para realizar esta prueba, se pesarán muestras de 100 g de cada uno de los polvos, plantas A y C, y de los lodos de la planta B (los cuales se deshidrataran previamente en una mufla a 110°C durante 24 horas). La técnica utilizada será la de superposición de tamices de malla ascendente.



3.1.2 Análisis Químico

3.1.2.1 Observaciones al microscopio electrónico de barrido

Para estudiar la morfología y tamaños de partícula de las muestras de polvo de las tres plantas, en la Facultad de Química, se realizarán observaciones en un microscopio electrónico de barrido (MEB), marca JEOL modelo JSM-5900LV.

3.1.2.2 Análisis elemental

El microscopio electrónico de barrido que se utilizará tiene acoplado un equipo de difracción de rayos X que permite realizar un análisis elemental de los materiales observados.

3.1.2.3 Contenido de óxidos

Para determinar el contenido de óxidos en las tres muestras por separado, se utilizará la técnica de fluorescencia de rayos X. El análisis se realizará en el Instituto de Geología. El análisis será realizado en base seca, utilizando el programa RUIZF1.QAN. La pérdida por calcinación (PXC) se obtendrá calcinando la muestra a 950 °C por una hora. El principio de esta técnica de análisis es fundir las muestras a 1200 °C en una mufla obteniéndose entonces un cristal de forma definida según el molde de fundición.



Este cristal es el material que es posteriormente analizado en el equipo de fluorescencia de rayos X.

3.2 PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL DE OPCIONES PARA VALORAR LOS POLVOS Y LODOS

Para que las opciones planteadas dejasen de ser solo especulaciones y comprobar la veracidad y certeza de éstas es necesario implementar un esquema de trabajo experimental para los dos rubros que involucra este trabajo (*materiales de construcción y materiales cerámicos*).

Para ambos rubros la labor a realizar será comprobar a prueba y error la viabilidad de las opciones planteadas (ver sección 1.4).

3.2.1 Materiales de construcción

Debido a que en principio todas las pruebas que se realizarán para cada una de las áreas que abarca este rubro son esencialmente iguales, es práctico describir de manera concreta que los ensayos que se realizarán consistirán básicamente en realizar una serie de mezclas con diferentes materiales de construcción y determinar en su caso las cualidades y características necesarias para poder emitir un juicio acerca de su viabilidad, sin dejar de considerar que se tendrá un blanco que en cada caso servirá como referencia y argumento para reforzar las propuestas y en su defecto terminar descartando la posibilidad.



Para la realización de las pruebas de evaluación de materiales de construcción se utilizaron en general los siguientes materiales:

- - Roca basáltica pulverizada (residuo de planta de asfaltos).
- - Producto formulado a partir de resinas estiren acrílicas.
- - Cemento gris.
- - Cemento blanco.
- - Paneles prefabricados (Durock).
- - Recipientes varios.
- - Espátula, llana y brocha.
- - Pintura (vinílica y esmalte).
- - Agua.

Para los detalles referentes al diseño del experimento y el montaje de los ensayos en lo que concierne a cada área que se explorará se considera más conveniente presentar estos junto con los resultados, para dar consistencia y congruencia a los ensayos con los resultados y compararlos mutuamente.

3.2.2 Materiales cerámicos

Con lo que respecta a materiales cerámicos, se pretende considerar el polvo de desecho de la PA como una arcilla y someter ésta a un proceso de cocción. Para



determinar con que arcilla se realizarán las pruebas, se compararán los resultados que se obtengan del análisis de óxidos de polvos con la composición de arcillas que se reporta en la literatura. Una vez definida la arcilla a utilizar, se realizarán mezclas de ésta con los polvos de la PA en proporciones crecientes. Dichas mezclas serán introducidas a un horno especial para cerámicos, el cual alcanzará una temperatura que oscilará alrededor de los 1250⁰C.

La finalidad de obtener un barrido de las mezclas de polvo con una arcilla comercial es determinar algunos aspectos como la contracción, rigidez, punto de fusión, aspecto (color, brillo, apariencia vítrea), etc. y contar entonces con argumentos y criterios para poder emitir un juicio acerca de su viabilidad de ser aceptado como material cerámico.



CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DE POLVOS Y LODOS

4.1.1 Cretib

De acuerdo con un estudio previo realizado por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (1998), los polvos y lodos producidos en la PA no presentan ninguna de las características CRETIB y por lo tanto no son considerados como residuos peligrosos. Dado que, según información proporcionada por el personal de la PA, no ha cambiado substancialmente ni las materias primas y ni los procesos utilizados para la producción de la mezcla asfáltica, se consideró innecesario en este estudio realizar un nuevo análisis Cretib a cada una de las muestras de polvos y lodos. En la Tabla 2 se presenta un resumen del estudio de referencia.

4.1.2 Granulometría y Densidad aparente

Los polvos perfectamente secos fueron colocados en un equipo de vaivén y golpeteo durante un periodo de 15 min. Después de este tiempo se desmontaron las mallas y se pesaron junto con el material retenido en cada una de ellas. Con estos datos y el peso de cada una de las mallas, se obtuvo por diferencia la masa de polvo y dividiendo estas cantidades entre la masa de polvo colocada en el tamiz inicialmente se obtuvo el porcentaje en peso retenido en cada malla.



Tabla 2. Análisis Cretib de los polvos de las Plantas A,B y C de la PA

	PROPIEDADES	PLANTA A	PLANTA B	PLANTA C
C	pH	6.57	6.33	6.45
	Corrosión del acero al carbón SAE1020 a 55°C	0.002 mm/año	0.001 mm/año	0.002 mm/año
R	Se polimeriza o combina violentamente a 25°C	No	No	No
	Reacciona con agua en relaciones 5:1, 5:3, 5:5	No	No	No
	Reacciona con HCl en relaciones 5:1, 5:3, 5:5	No	No	No
	Reacciona con NaOH en relaciones 5:1, 5:3, 5:5	No	No	No
	Produce radicales libres	No	No	No
	Constante de explosividad \geq a la de Nitrobenzeno	No	No	No
E	Produce reacción explosiva a 25°C y 1.03 kg/cm ²	No	No	No
T	Contiene compuestos orgánicos	No	No	No
	Cr (VI) (ppm)	0.25	0.15	0.25
	Ni (ppm)	0.85	0.95	0.9
	Ba (ppm)	n.d.	n.d.	n.d.
	As (ppm)	n.d.	n.d.	n.d.
	Cd (ppm)	0.05	0.05	0.05
	Hg (ppm)	n.d.	n.d.	n.d.
	Ag (ppm)	n.d.	n.d.	n.d.
	Pb (ppm)	0.3	0.35	0.3
	Se (ppm)	n.d.	n.d.	n.d.
	I	Es inflamable a temp. Amb.	No	No
Es inflamable a 60°C		No	No	No
B	Causa efectos negativos sobre organismos	No	No	No
	Contiene organismos tóxicos	No	No	No

n.d.: No detectado

En la Tabla 3 se presentan los resultados de tres experimentos para cada uno de los polvos, incluyendo la distribución del diámetro de partícula y el diámetro medio de la muestra.



Tabla 3.. Distribución granulométrica de las tres muestras de polvo

Mallas	Diámetro de abertura (mm)	PLANTA A	PLANTA B	PLANTA C
		%masa retenida	%masa retenida	%masa retenida
80	0.1778	3.2	25.775	7.2361
120	0.11684	39.65	57.093	78.131
150	0.10414	16.2	16.627	11.498
180	0.08128	7.48	0.5038	1.063
200	0.07366	18.78	0	1.487
250	0.0635	8.37	0	0.583
325	0.04318	4.44	0	0
Colector	-	1.85	0	0
Total		99.979	99.999	99.998
Diámetro promedio ponderado a la fracción de masa retenida(mm)		0.096	0.130	0.118

Contrariamente a lo esperado, los resultados presentados en la Tabla 3 no concuerdan con la granulometría de los polvos reportada en los documentos de descripción del funcionamiento de las plantas con las que cuenta la PA (Manual de operación). En dichos documentos se afirma que los polvos son retenidos mayoritariamente en una malla 200. Las pruebas realizadas en este trabajo indican que los polvos de las tres plantas son retenidos mayoritariamente en una malla 120. Se proponen dos explicaciones a esta discrepancia: a) El desgaste normal de las bolsas de los colectores en las tres plantas puede provocar que actualmente se recolecten mayoritariamente las



partículas de malla 120 en lugar de las de malla 200; b) La técnica utilizada para establecer la granulometría no es la adecuada y debe recurrirse a equipos especiales para el estudio de polvos finos. Estos equipos se encuentran sólo en grandes empresas proveedoras de productos químicos como Hércules S.A. de C.V. Con fines prácticos, se propone considerar como válidos los resultados anteriormente presentados pues en la mayoría de las aplicaciones industriales, la granulometría de los materiales empleados se determina con la técnica utilizada en este proyecto(superposición de tamices de malla ascendente).

Para medir la *densidad aparente* del material, se utilizó una probeta con capacidad para 100 mL, la cual se pesó estando vacía, posteriormente se agregó el polvo poco a poco y ejerciendo presión para compactarlo. Finalmente se pesó la probeta junto con el polvo comprimido y por diferencia se calculó la masa del material. La densidad aparente corresponde a la razón de la masa del polvo (en gramos) y el volumen del mismo (en mL). El resultado obtenido para este parámetro fue de 1.3 g/mL

4.1.3 Observaciones en el microscopio electrónico de barrido

Por medio de este equipo se observó que las partículas de polvo producido en las tres plantas son amorfas y completamente heterogéneas. No tienen una forma definida ni tampoco presentan estructura porosa. Los tamaños de partícula son muy variables, van desde 2 μm hasta 70 μm . Las partículas de menor tamaño se observaron en el polvo generado en la Planta A y las de mayor tamaño se encontraron en los polvos de la Planta C. En la Foto 1 se muestra un ejemplo de una de las fotos tomadas a las



partículas de la Planta A. En el anexo 1 se presenta un reporte fotográfico de las observaciones realizadas al MEB.

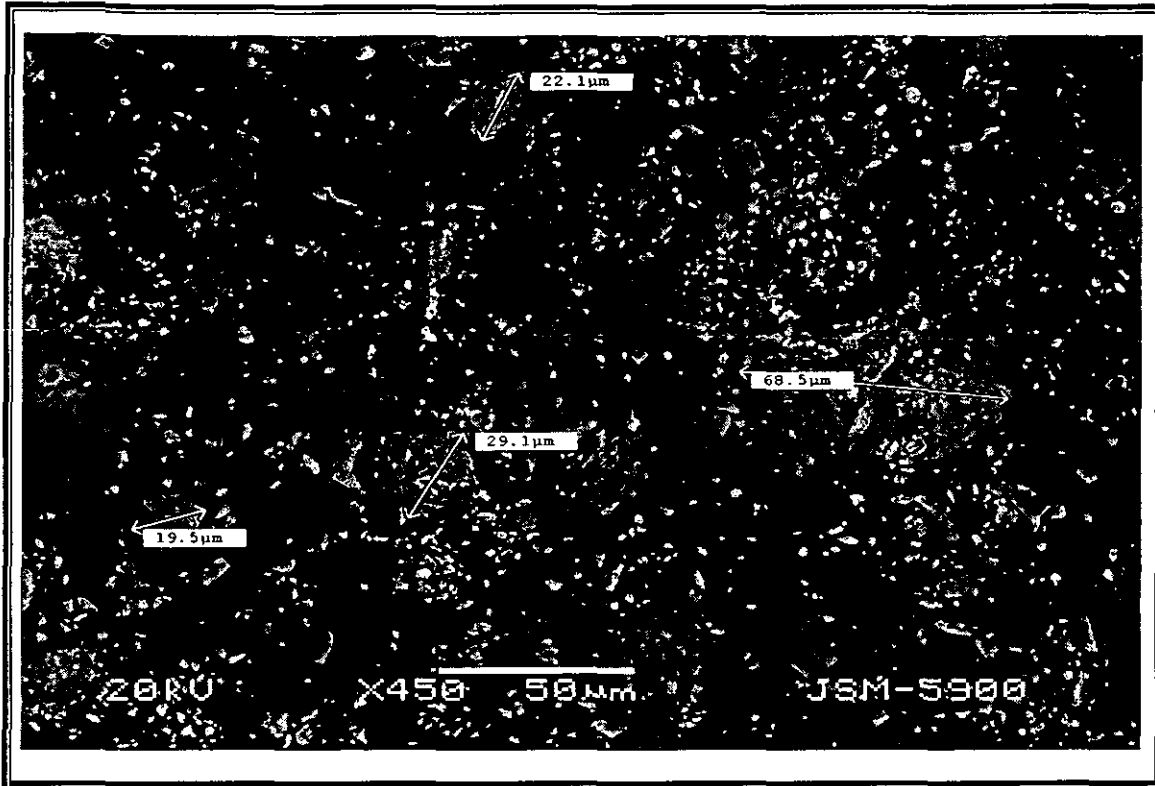


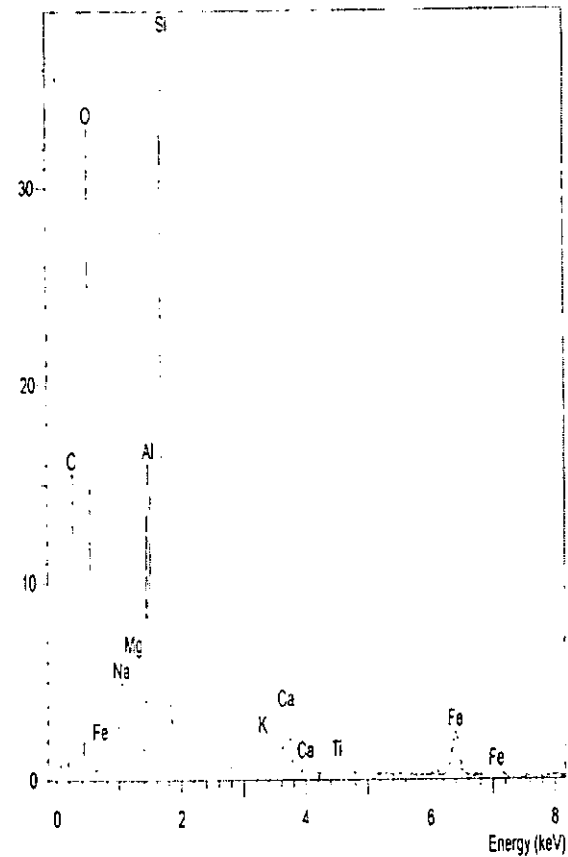
FOTO 1. Partículas de polvo producidas en la Planta A (x450)

4.1.4 Análisis elemental

En la Figura 4, se presentan algunos ejemplos de los espectros obtenidos durante el análisis de muestras de los tres polvos. Estos espectros permiten contar una composición aproximada de las muestras observadas. Estos resultados deben interpretarse cautelosamente dado que el equipo reporta un análisis de una sola partícula observada. El análisis de varias partículas que se encuentren en un mismo campo de observación pueden aportar resultados completamente distintos entre sí.

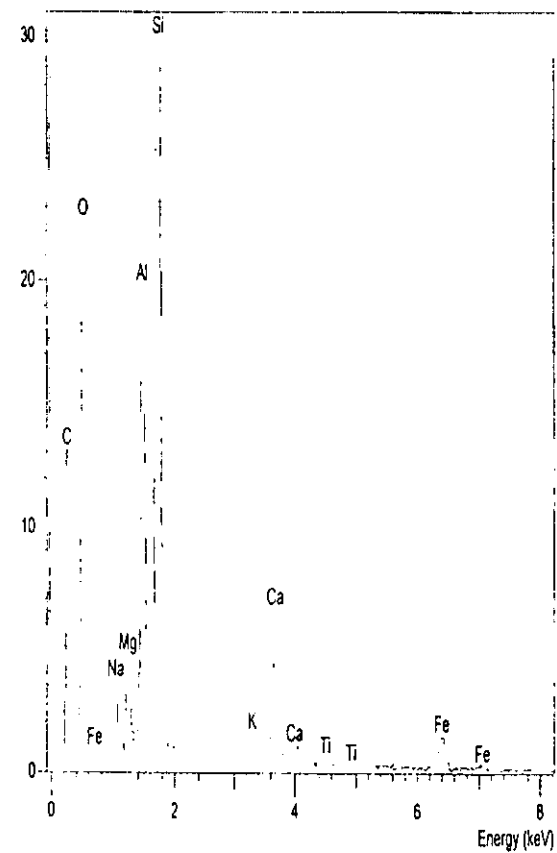


Operator : IVAN PUENTE LEE
 Client : Dr. Alfonso Duran
 Job : Polvos de Asfaltos
 P5 Analisis 1 (10/30/00 11:24)



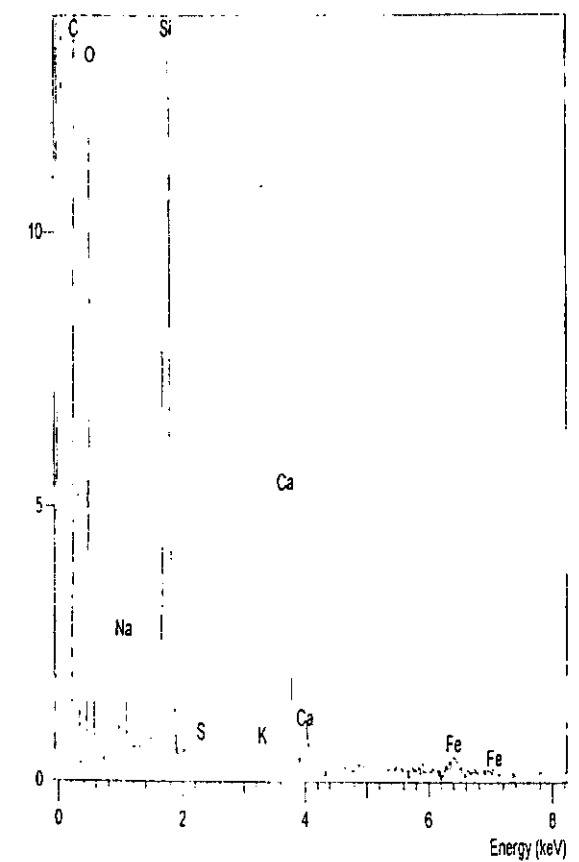
(a) Planta A

Operator : IVAN PUENTE LEE
 Client : Dr. Alfonso Duran
 Job : Polvos de Asfaltos
 P6 Analisis 3 (10/30/00 13:09)



(b) Planta B

Operator : IVAN PUENTE LEE
 Client : Dr. Alfonso Duran
 Job : Polvos de Asfaltos
 P7 Analisis 1 (10/30/00 12:13)



(c) Planta C

Figura 7. Espectros de difracción de rayos X de muestras de polvos observadas en un MEB: (a) Planta A; (b) Planta B; (c) Planta C



Los espectros presentados en la Figura 1 indican la presencia mayoritaria de oxígeno, silicio, hierro, aluminio y magnesio. También se observan picos minoritarios de titanio, calcio, sodio, y potasio. De la misma manera se aprecian algunos picos que indican la presencia de carbono, este resultado puede deberse a una presencia minoritaria de carbonatos o de partículas de carbono orgánico presentes al inicio en el material triturado o a impurezas adquiridas durante el secado en el horno rotatorio.

Un análisis cuantitativo más confiable es el realizado con la técnica clásica de fluorescencia de rayos X previa fundición del material analizado. Los resultados de esta técnica de análisis se presentan en la siguiente sección.

4.1.5 Contenido de Óxidos

Los resultados obtenidos por fluorescencia de rayos X del análisis de óxidos de los polvos de la PA se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de óxidos contenidos en las muestras de polvos y lodo

Muestr a	Distribución porcentual (%)											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	Suma
Planta A	57.195	0.883	17.372	6.470	0.107	4.679	6.950	3.619	1.264	0.290	0.81	99.64
Planta B	54.744	0.796	17.677	6.185	0.112	5.037	7.399	3.377	1.090	0.321	2.99	99.73
Planta C	58.025	1.051	16.882	5.885	0.100	3.188	5.292	3.816	1.450	0.353	2.82	98.86
Prom.	56.655	0.910	17.310	6.180	0.106	4.301	6.55	3.60	1.27	0.32	2.21	99.41
Desv. Std	1.392	0.105	.327	0.238	0.004	0.800	0.906	0.179	0.146	0.0	0.990	0.389



Del análisis presentado en la tabla anterior se concluye que los polvos de la planta de asfalto están constituidos principalmente de óxido de silicio (SiO_2) y de trióxido de aluminio (Al_2O_3). Otros óxidos están presentes en composiciones porcentuales inferiores a 8 %. La materia volátil contenida en la muestra de los polvos de la planta A es inferior a 1 %. Para las otras dos muestras, la fracción volátil es inferior a 3%. Este último resultado se atribuye al hecho de que en las Plantas B y C la mezcla asfáltica se realiza en el interior del horno rotatorio y, que por lo tanto, las partículas de lodo y polvo pueden contaminarse ligeramente con el asfalto, lo que no sucede en la Planta A por lo que el polvo de esta planta no contiene materia orgánica volátil.

Con base en el origen de la piedra a partir de la cual se producen los polvos y de la composición porcentual anteriormente presentada, los polvos pueden clasificarse genéricamente como un material producto de rocas ígneas presumiblemente basálticas (los materiales basálticos se caracterizan por tener un contenido de silicio cercano a 50% y son ricos en hierro y magnesio; estas rocas funden a una temperatura entre 900 y 1200 °C). Con los resultados de caracterización de los polvos se elaboró una hoja técnica de los mismos la cual se presenta en el Anexo 2 (sección A2.1).



4.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

4.2.1 Oferta del material en bruto

La primera estrategia que se siguió para el desarrollo de este proyecto fue contactar directamente a empresas de los giros correspondientes a los grupos de opciones propuestas en este estudio y proponerles la utilización del producto. La lista de las empresas contactadas se presenta en el Anexo 2 (sección A2.2). Los resultados de dichos contactos fueron poco alentadores. Debido al desconocimiento del potencial de utilización de los polvos, en la mayoría de los casos las empresas contactadas solicitaban la presentación de evidencias de la factibilidad del empleo de estos materiales en aplicaciones propias de cada empresa.

Por consiguiente, la estrategia de trabajo se orientó a hacer pruebas de laboratorio preparando con los polvos productos susceptibles de ser comercializados. De los experimentos realizados para los tres grupos de opciones presentadas anteriormente se obtuvieron resultados positivos. De los cuales se presentan los resultados y discusión de estos en las siguientes secciones.

4.2.2 Encuesta

La cantidad de polvos y lodos que se producen en la Planta de Asfalto oscila entre 54 y 72 ton/día. Para dar salida a tal cantidad de material, se consideró en primera instancia que estos polvos podrían utilizarse como un agregado o "carga" en la formulación de



productos utilizados en la industria de la construcción. La hipótesis de trabajo es que estos polvos podrían sustituir a materiales granulares como la arena sílica, el carbonato de calcio o el talco.

Como primera actividad para esta opción, se realizó una encuesta en negocios de venta de materiales de construcción para evaluar su aceptación como material en bruto. La encuesta consistió en cuatro preguntas básicas y se aplicó en diferentes rumbos de la Ciudad de México. En la Tabla 4 se presenta el resumen de los resultados obtenidos de dicha encuesta, los resultados completos se presentan en el Anexo 2 (sección A2.3).

La encuesta mostró que los polvos pueden eventualmente ser aceptados como una arena muy fina que podría utilizarse en la formulación de morteros para aplanados y acabados finos así como para emboquillados. La siguiente actividad de este proyecto fue entonces realizar pruebas para demostrar la viabilidad de dichas aplicaciones.

En las secciones que siguen se utilizan términos específicos de la industria de la construcción los cuales son definidos en el glosario presentado en el mismo Anexo 2 (sección A2.4). En la realización de las pruebas que se presentan en las siguientes secciones, se contó con la asesoría de dos ingenieros de desarrollo de nuevos productos de las empresas Química Hércules S.A. de C.V. y de International Speciality Products, ISP México, S.A. de C.V.



Tabla 5. Resultados de la encuesta realizada en casas de materiales de construcción para evaluar la posible aceptación de los polvos en bruto

Pregunta	Respuestas	Número de respuestas
¿Considera usted que el polvo presentado podría tener un uso como material para la construcción? Si la respuesta es afirmativa citar al menos un ejemplo	Aplanados	13
	Acabados finos	6
	Agregado para pisos	3
	Emboquillados	2
	Otros	3
¿Usted compraría el material mostrado por el entrevistador?, ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar \$/camión?	200 – 900	11
	1000 – 10,000	6
	10,000 – 20,000	1
	Más de 20,000	5
	No sabe	4
¿Cuál considera que sería el costo adecuado para su venta al público, \$/kg?	1 – 5	16
	5 – 10	7
	10 – 20	4
	Más de 20	-
¿Qué presentación considera que sería la más adecuada para su consumo, a granel , en sacos de 25 kg, 50 kg, etc.?	A granel	5
	1 – 10 kg	5
	25 kg	14
	50 kg	7



4.2.3 Escala de valores

Antes de presentar los ensayos y resultados obtenidos en el área que corresponde a materiales de construcción, es necesario aclarar que la evaluación de las pruebas que se presentan a continuación es subjetiva y estarán en función de un blanco predeterminado.

La calificación asignada a cada parámetro es el resultado de la comparación con un blanco, el cual es preparado con productos comerciales. La escala de valores adoptada es la siguiente:

Escala numérica	Características de las formulaciones
5	Excelente
4	Bueno
3	Aceptable
2	Deficiente
1	No aceptable

4.2.4 Morteros

Como ya se mencionó en la sección 2.3.1, *mortero* es el nombre genérico que reciben las mezclas aglutinantes preparadas con base en arenas de determinada granulometría (generalmente arena sílica) y cemento Portland. Existe una gama muy amplia de estos



morteros, los cuales se diferencian por su contenido de cemento Portland y de otros aditivos (Venuat, 1972).

4.2.4.1 Formulaciones de morteros con cemento Portland y polvos

En las primeras pruebas que se realizaron en la formulación de morteros se tuvo por objetivo evaluar la viabilidad de utilizar los polvos como único agregado al cemento Portland. Las mezclas elaboradas se consideran como "fórmulas genéricas" o base para cualquier tipo de mortero, ya que éstos se distinguen entre sí principalmente por la cantidad de cemento que contienen. En la Tabla 6 se presenta la composición de las mezclas preparadas.

Tabla 6. Formulaciones genéricas para morteros

Material(% peso)	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3
Cemento gris	10	20	30
Mezcla Polvos	90	80	70

Para estas pruebas, se prepararon 500 g de cada una de las fórmulas para determinarles propiedades como el factor de agua, la trabajabilidad (ver Anexo A2.4) y hacer aplicaciones con el fin de observar si tenían buena adherencia a un material comercial elaborado con base en cemento (Durock). Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7.



Tabla 7. Propiedades generales de los morteros preparados con cemento y los polvos de la Planta de Asfalto

Característica	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3
Factor de agua (%)	37.6	35.0	38.5
Trabajabilidad	3	3	3
Fisuras	1	1	1
Desmoronamiento	1	1	1

Se observó además que las muestras presentaban "sangrado", es decir que el mortero no retenía el agua adecuadamente, esto puede deberse a lo fino de los polvos que constituyen la mezcla. Las propiedades generales que presentaron las fórmulas 1, 2 y 3 no fueron satisfactorias, por lo que se decidió añadir cal hidratada para mejorar las propiedades de los morteros.

4.2.4.2 Formulaciones con cemento Portland, cal hidratada y polvos

Se desarrollaron tres fórmulas más con los mismos niveles de cemento (10, 20 y 30%) y como agregados la mezcla de polvos y cal hidratada. Cabe mencionar que para la fórmula 4 se siguieron las recomendaciones de los productores de cal, que indican que una buena proporción de cemento y cal es de 1:2.5; las fórmulas se presentan en la Tabla 8.



Tabla 8. Formulaciones genéricas para morteros con un agente hidratante

Material(% peso)	Fórmula 4	Fórmula 5	Fórmula 6
Cemento gris	10	20	30
Cal hidratada	25	25	25
Mezcla Polvos	65	55	45

Las mezclas obtenidas con las formulaciones de la Tabla 8 fueron sometidas a las mismas pruebas realizadas con las fórmulas 1, 2 y 3.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9. Los resultados obtenidos con estas nuevas formulaciones fueron ligeramente mejores que en el caso donde sólo se utilizó cemento Portland. Las pruebas realizadas a las mezclas pueden considerarse empíricas y subjetivas, pero no por ello carecen de importancia, en la práctica profesional de preparación de materiales de construcción estas técnicas son utilizadas comúnmente.

Tabla 9. Características de los morteros preparados con un agente hidratante

Característica	Fórmula 4	Fórmula 5	Fórmula 6
Factor de agua (%)	37.6	35.0	38.5
Trabajabilidad	3	3	3
Fisuras	1	1	1
Desmoronamiento	2	2	2



Con el fin de contar con una evaluación cuantitativa de las propiedades de las formulaciones preparadas, se realizaron estudios de resistencia a la compresión de estos morteros.

4.2.4.3 Pruebas de resistencia a la compresión de los morteros preparados

Los experimentos de resistencia a la compresión de los morteros preparados se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Las pruebas de resistencia a la compresión permiten establecer claramente la capacidad de un material para soportar la aplicación de una fuerza externa. Mientras mayor sea la resistencia mejor será el material. Para determinar la resistencia a la compresión de un material, es necesario formar una serie de probetas, las cuales se forman en moldes con dimensiones estándar (cubos de 5 cm de longitud).

Para la realización de las pruebas, en primera instancia se estima la cantidad de material para el llenado de los moldes, con ello se establece el tamaño de las muestras. Una vez pesadas y preparadas las mezclas se agrega el agua que sea necesaria para obtener una mezcla "trabajable". Esta preparación se vierte en el interior de los moldes (previamente impregnados con aceite para automóvil para facilitar el desmolde) hasta la mitad de su capacidad. El material es entonces compactado con un perno para expulsar el aire contenido en la mezcla. Progresivamente se va adicionando más mezcla y se repite la operación de compresión hasta que los moldes se llenan completamente.



Una vez llenado el molde se realiza un acabado sobre la superficie para que ésta sea lo más regular posible. Después de 24 horas (tiempo suficiente para el proceso de fraguado), las probetas se desmoldan. Inmediatamente después las probetas son llevadas a una cámara de curado la cual tiene condiciones establecidas de temperatura y humedad, este último proceso tiene una duración de 7 días.

La prueba de compresión se realiza al final del proceso de curado donde los valores de la resistencia a la compresión del material oscilan sobre el 80% de su valor máximo. Esta prueba se realiza en los periodos de 7 días, 15 días y 28 días, en nuestro caso sólo se realizaron las pruebas a los 7 días. Una vez que las probetas estuvieron listas y que la prensa fue calibrada se procedió a iniciar el ensayo. Éste consiste en poner las probetas debajo del brazo hidráulico el cual se activa mediante el tablero de control del equipo. Una vez que el brazo fue colocado en la posición correcta, la prensa hidráulica fue aplicando presión sobre la probeta paulatinamente obteniéndose una lectura de los kilogramos aplicados en la carátula del equipo. La prueba termina cuando el equipo detecta que el material ya no ofrece resistencia a la compresión.

Los resultados de las pruebas realizadas a cinco probetas formuladas con los polvos y a un mortero de referencia se presentan en la Tabla 10. De los resultados reportados en la Tabla 10 se concluye que el polvo producido en la planta de asfaltos no es un buen agregado para la formulación de morteros de construcción pues presentan una resistencia a la compresión muy baja comparada a la de un mortero de referencia cuyos valores oscilan en un rango de 75 kgf/cm^2 a 150 kgf/cm^2 . No obstante, se observó una baja densidad en las probetas elaboradas, lo que lo permite suponer que los polvos



pueden tener otros usos en la industria de la construcción como paneles prefabricado para el aislamiento de áreas en exteriores (como el durock), sin tener precisamente una función estructural.

Tabla 10. Resultados de las pruebas de compresión con probetas elaboradas con morteros formulados con los polvos

Probeta	Polvo (%)	Cemento Gris (%)	Calhidra (%)	Arena sílica (%)	Compresión (kg/cm ²)
1	80	20	0	0	5.6
2	70	30	0	0	13.28
3	65	10	25	0	1.44
4	55	20	25	0	3.04
5	45	30	25	0	6.4
blanco	0	20	0	80	122

En el Anexo 3 (sección A3.1) se presenta un reporte fotográfico de las pruebas realizadas.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



4.2.5 Recubrimientos

En el área de recubrimientos, se estudiaron dos opciones de aplicación de los polvos, como resanador de paredes y como recubrimiento de tipo pintura. En el primer caso, las formulaciones realizadas consisten básicamente de morteros a los que se les adicionaron aditivos para mejorar las propiedades de las mezclas resultantes. En el segundo caso se trata de formulaciones basadas principalmente en el uso de una resina estiren acrílica y de aditivos.

4.2.6 Resanador de paredes

Inicialmente se propusieron las fracciones con las que va a contribuir cada materia prima, haciendo un barrido de distintas composiciones de los elementos de las mezclas. La variable independiente que se consideró fue la fracción de cemento, esta variable tomó incrementos constantes de 10 unidades porcentuales en un rango de 0% a 50%. Se utilizó tanto cemento gris como cemento blanco; las mismas condiciones fueron aplicadas para los dos tipos de cementos).

Además, se propuso la utilización de un blanco, el cual consistía en llevar la cantidad de cemento al 100%, la función de este blanco fue la comparación perceptiva y subjetiva de las demás muestras.

El desarrollo experimental que se siguió fue el mismo para todas las aplicaciones que se realizaron, y consiste en lo siguiente:



Una vez seleccionadas las cantidades con las cuales contribuiría cada material se procedió al pesado de los materiales, operación que se realizó con una balanza granataria. Después de pesadas correctamente las cantidades necesarias del material, se continuó con la mezcla en seco de los materiales, introduciéndolos en un recipiente cerrado y seco, para iniciar con el mezclado durante un minuto (en algunos casos se requirió de un poco más de tiempo, hasta obtener una mezcla uniforme y homogénea). Inmediatamente después, las mezclas se vertieron sobre otro recipiente para realizar la mezcla con la resina (previamente preparada y diluida). Esta resina se dosificó, según lo requería la mezcla, ya que la cantidad agregada dependía en gran medida de la consistencia y trabajabilidad que la mezcla iba presentando (tomando como referencia la consistencia y trabajabilidad del blanco).

Una vez que se obtuvo la consistencia deseada, se determinó la cantidad de resina consumida por la mezcla la cual se extendió inmediatamente sobre la sección de pared prefabricada, operación que se llevó a cabo con una llana, extendiendo el material contenido entre la superficie y la llana con movimientos oscilatorios y ejerciendo presión sobre la mezcla. Después que se obtiene la apariencia deseada (acabado fino y liso) se continuó dejando secar la aplicación, a condiciones ambientales, para después determinar algunas propiedades cualitativas de las muestras relativas al blanco.

En la Tabla 11 se presentan las formulaciones de las mezclas probadas.



Tabla 11. Codificación de las mezclas preparadas para la formulación de revestimientos

Mezcla	Polvo (g)	Cemento Gris (g)	Cemento Blanco (g)	Resina (mL)
R1	100	0	0	42
R2	90	10	0	40
R3	80	20	0	40
R4	70	30	0	39
R5	60	40	0	38
R6	50	50	0	38
R7	90	0	10	40
R8	80	0	20	39
R9	70	0	30	39
R10	60	0	40	39
R11	50	0	50	39
BLANCO1	0	100	0	42
BLANCO2	0	0	100	40

En la Tabla 12 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas. Las observaciones son de apreciación y aplican para todas las muestras que se realizaron.

Una vez terminadas las aplicaciones y para determinar que no hubiese arrastre de material, se aplicó una capa de pintura vinílica y esmalte (dos colores de cada una, blanco y verde pino), con la finalidad de observar si las aplicaciones carecieran de



adherencia del material en sí mismo, dicho de otro modo si hubiese desprendimiento del material inmediatamente sería apreciable a simple vista, ya que el material removido teñiría el recubrimiento, haciendo evidente el arrastre de material por acción del recubrimiento (caleo).

El reporte fotográfico de estas pruebas se encuentra en el Anexo 3.

Tabla 12. Resultados de las pruebas realizadas de mezclas propuestas para recubrimientos

Mezcla	PASTA FRESCA					PASTA ENDURECIDA	
	Trabajabilidad	Estabilidad	Fisurabilidad	Escurrimiento	Fraguado	Mojabilidad	Caleo
R1	4	4	2	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R2	4	4	2	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R3	4	4	2	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R4	4	4	2	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R5	4	4	2	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R6	4	4	5	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R7	4	4	5	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R8	4	4	5	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R9	4	4	5	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R10	4	4	5	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
R11	4	4	5	4	< 1 h	1-2 min	Ninguno
Blanco1	4	4	5	4	< 1 h	3-4 min	Ninguno
Blanco2	4	4	5	4	< 1 h	3-4 min	Ninguno



El recubrimiento con pintura se realizó con una brocha de 1 1/2 ", fue necesario aplicar dos capas de pintura para que se cubriese perfectamente la superficie sin dejar espacios donde se notara el fondo de la aplicación. No se apreció en ninguna parte de la aplicación que el recubrimiento fuese incompatible con la superficie (no se observó levantamiento de la pintura), lo cual permitió concluir que el revestimiento formulado es muy afín tanto al recubrimiento base agua como al recubrimiento base solvente.

Desde el punto de vista apariencia, los resultados obtenidos en todas las muestras incluyendo los blancos (referencia) fueron similares por lo cuales es posible resumir los resultados perceptibles en un sólo cuadro que incluye todas las muestras por presentar la misma apariencia con respecto al blanco.

Tabla 13. Apreciación de las aplicaciones de pintura vinílica y de esmalte en las formulaciones de resonadores

Pintura base agua (vinílica).					
Blanca			Verde		
Arrastre de material	Apariencia	Levantamiento de la pintura	Arrastre de material	Apariencia	Levantamiento de la pintura
5	5	5	5	5	5
Pintura base solvente (esmalte)					
Blanca			Verde		
Arrastre de material	Apariencia	Levantamiento de la pintura	Arrastre de material	Apariencia	Levantamiento de la pintura
5	5	5	5	5	5



Con base en los resultados anteriores se decidió realizar otras formulaciones, esta vez trabajando con resina más concentrada (el doble de concentrada). En este caso no se llevó a cabo todo el barrido de composición del cemento tanto del blanco como del gris, esto llevó a que se seleccionaran algunas de las muestras anteriores (las que presentaron mejores resultados), las cuales fueron las presentadas en la Tabla 14.

Tabla 14. Preparaciones realizadas con una mayor proporción de resina

Mezcla	Polvo (g)	cemento gris (g)	cemento blanco (g)	Resina (mL)
1	200	0	0	86
2	100	100	0	76
3	100	0	100	75

Los resultados de estas nuevas formulaciones se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 15. Resultados de la formulación de mezclas con una mayor concentración de resina

Mezcla	PASTA FRESCA					PASTA SECA	
	Trabajabilidad	Estabilidad	Fisurabilidad	Escurecimiento	Fraguado	Mojabilidad	Caleo
1	5	4	3	4	< 1/2 h	(15-16) min	ninguno
2	4	4	3	4	< 1/2 h	(16-19) min	ninguno
3	4	4	3	4	< 1/2 h	(16-19) min	ninguno



En función de los resultados obtenidos se sugiere que es factible la utilización del polvo como agregado para formulación de un resanador de concretos y repellados viejos ya que el tamaño de las partículas y sus características físicas que posee hace posible el relleno en las microfisuras y macrofisuras teniendo como medio ligante la resina, cumpliendo su objetivo de sanar concretos y repellados dañados. Por otro lado sería interesante estudiar el comportamiento del polvo con resinas de diferente naturaleza a la que se utilizó en las pruebas. Con base en los resultados presentados, se sugiere que las mezclas con resina diluida (las de mejores resultados), pueden funcionar bien como revestimiento, y las mezclas con resina más concentrada funciona mejor como resanador de concretos y repellados viejos.

4.2.7 Recubrimiento tipo pintura

En función de los resultados obtenidos anteriores, desde el punto de vista económico se seleccionó la corrida de polvo sin cemento y resina concentrada. Esta mezcla tiene aspecto excelente. Dicha formulación se aplicó en una mayor área de una panel preconstruído con el objeto de tener una mayor apreciación del terminado que ofrece tal formulación.

En este caso, la mezcla se formuló de tal manera de obtener la consistencia de una pintura vinílica con el objeto de aplicarlo con un rodillo o con una brocha y observar el comportamiento durante su aplicación y después de la aplicación. Dicha formulación consistió de 200 g de polvo y de 115 mL de resina estiren acrílica (la mezcla se aplicó con una brocha de 1")



Durante la aplicación de esta formulación se observó lo siguiente:

- Deslizamiento adecuado.
- Recubrimiento perfecto a la primera mano.
- Secado rápido (5-10 min).

Después de la aplicación se observó lo siguiente:

- Color verde cemento.
- No hay desprendimiento del material.
- Excelente apariencia.
- Buena textura al tacto.
- Mojabilidad (15-20) min

Se considera que con esta formulación se obtiene un producto muy interesante que tentativamente podría tener un consumo alto en la industria ya que sería un producto económico, sin considerar que podría realizarse una mejor formulación y una optimización de las resinas y aditivos.

4.2.8 Emboquilladores

Con base en las sugerencias recabadas durante la encuesta realizada en casas de materiales, se propuso la realización de pruebas para elaborar un emboquillador. Esta formulación consistía básicamente de polvo, de cemento gris y un aditivo (Culminal, Hercules S.A. de C.V.) cuya función principal fue la de mejorar el espesamiento, la trabajabilidad, la resistencia al descuelgue adherencia y retención de agua



Esta formulación se aplicó en losetas esperando que la formulación preparada diera resultados similares a los obtenidos con un emboquillador comercial (blanco). Se propusieron las formulaciones presentadas en la Tabla 16.

Tabla 16. Formulaciones preparadas de emboquilladores

Muestra	Polvo (g)	Cemento (g)	Aditivo (Culminal)(g)	Cero fino (g)	Agua (mL)
Emboquillador 1	69	30	1	0	57
Emboquillador 2	39	30	1	30	42

Los resultados obtenidos en la formulación de emboquilladores se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Resultados de las pruebas realizadas con los emboquilladores

Muestra	Pasta fresca	Pasta dura	
	Trabajabilidad	Agrietamiento	Caleo
Referencia comercial	5	5	5
Emboquillador 1	3	1	2
Emboquillador 2	3	2	2

En el Anexo 3 se presenta un reporte fotográfico de las pruebas realizadas en la formulación de emboquilladores.



Se observa que las formulaciones con los polvos no dan buenos resultados como se esperaba ya que se realizó una replica de una formulación proporcionada con una empresa dedicada al desarrollo de formulaciones, sólo se sustituyo un ingrediente (polvo). Por lo anterior se concluye que el polvo no es un buen agregado para la formulación de un emboquillador. Posiblemente pudieran obtenerse resultados satisfactorios si se intentara cambiar la formulación y proponer otros aditivos.

4.2.9 Mosaicos

Otra de las opciones que se estudio para utilizar los polvos en materiales de construcción fue la fabricación de mosaicos. Para ello se contactó a un taller de fabricación y distribución de losetas, mosaicos, azulejos, etc,. Este taller accedió a elaborar pruebas de fabricación de mosaicos con la misma técnica empleada para sus productos comerciales.

El proceso en este taller es de tipo intermitente y manual, las dimensiones del taller son reducidas ocupando no más de 300 m², lo cual hace que la producción sea baja y limitada. Dicho taller cuenta con una prensa de una capacidad de entre 10 y 15 ton, una gama de moldes de variedad de tamaños, mezcladoras, área de curado, área de almacenamiento y contenedores para materias primas.

Para la elaboración de mosaicos primero se selecciona el molde, el cual debe estar perfectamente limpio, enseguida se vierte la base del mosaico que está constituida de



un mortero típico, después de esta capa le sigue la capa que será la cara del mosaico la cual está constituido de cero fino y cemento.

Los materiales de prueba obtenidos son muy similares a los vendidos comerciales fabricados con cemento gris, arena y cero fino. La composición típica de la capa superficial de un mosaico comercial es dos volúmenes de cemento por uno de cero fino. Con los polvos de la PA se logró un material de características similares con un volumen de cemento, un volumen de cero fino y uno de polvo. Es decir, que con la utilización de los polvos se reduce el consumo de cemento en un 50%.

Se concluye de estos resultados que la utilización de los polvos en la fabricación de mosaicos comerciales es altamente viable dado que se obtiene un material con buenas características físicas y a un menor costo dado que se reduce la cantidad de cemento utilizada. Esta opción podría dar salida a un volumen importante de los polvos producidos en la PA mediante una adecuada estrategia de comercialización en talleres artesanales de fabricación de mosaicos.

En la Foto 2 se presentan muestras de un mosaico comercial y uno formulado con los polvos. de la PA.



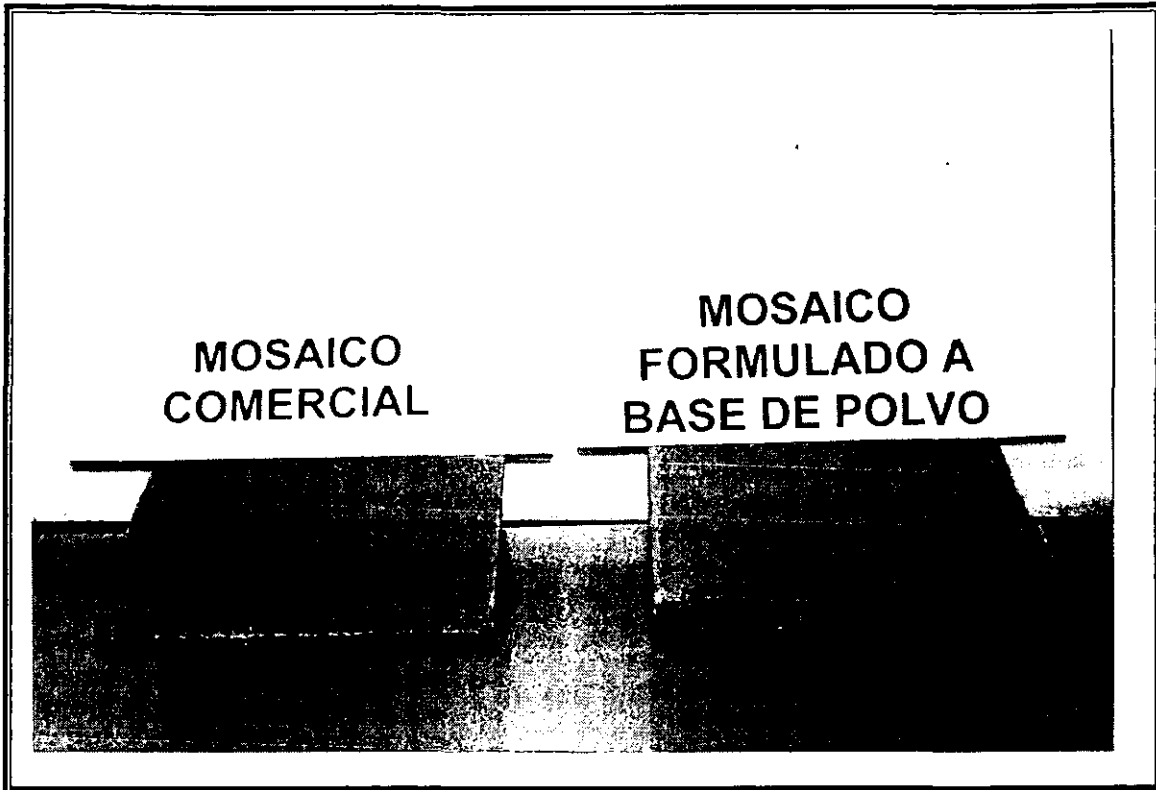


FOTO 2. Muestras de un mosaico comercial y de un mosaico formulado con los polvos de la PA

4.2.10 Panel prefabricado (Durock)

Dadas las cualidades observadas en la elaboración de distintos morteros se decidió probar el polvo producido en la planta de asfaltos como un agregado para la elaboración de un panel prefabricado y compararlo con uno comercial (Durock).

Lo primero que se realizó fue seleccionar uno de los morteros formulados a base de polvo y mejorar la formulación para darle las características del Durock, esto es, incluir aditivos para darle mejores resultados tanto a la pasta fresca como a la pasta dura. Se



seleccionó el mortero formulado con una composición de 55% polvo, 20% calhidra y 20% cemento gris, y se propone la siguiente formulación (Tabla 18) :

Tabla 18. Formulación del panel prefabricado

Componente	Por ciento
Polvo	54.9
Cemento gris	20
Calhidra	25
Silipon	0.05
Culminal	0.05

El Silipon es un agente aireante cuya función principal es la de incorporar pequeñas burbujas de aire y disminuir la fisurabilidad del producto. Ya que se estableció la formulación del mortero, se estimó la cantidad de la muestra para proceder a pesar y mezclar homogéneamente los polvos. Inmediatamente después, la mezcla fue vertida a un recipiente donde se realizó la mezcla con agua. Esta mezcla se homogeneizó con un agitador de aspas conectado a un motor que giraba aproximadamente a 1000 rpm.

Una vez lista la mezcla, ésta fue llevada a una consistencia adecuada y posteriormente se vertió sobre el molde que previamente ha sido preparado con una capa de fibra de vidrio, la cual tendría la función de darle soporte y flexibilidad. Una vez terminado el vertido de la pasta, se terminó colocando otra capa de fibra de vidrio con la misma finalidad, el panel contó con las siguientes dimensiones (Tabla 19) :



Tabla 19. Dimensiones del panel fabricado con polvos de la planta de asfalto

Dimensión	Magnitud (cm)
Ancho	40
Largo	60
Alto	1

Después que se colocó la pasta en el molde se dejó reposar para iniciar el proceso de fraguado, para lo cual se dejaron transcurrir 2 días. Transcurrido este tiempo, se desmoldó el panel e inmediatamente se regó con agua la superficie del mismo para simular una cámara de curado. Se continuó esta operación durante 7 días, y al final de este tiempo se observaron las características del panel fabricado.

Los resultados observados no fueron satisfactorios, ya que el panel mostró pocas posibilidades de funcionar como un panel prefabricado debido a que presenta poca flexibilidad y poca resistencia mecánica (es muy quebradizo). A pesar de los elementos estructurales agregados (fibra de vidrio) no alcanzó las características esperadas.

Con base en lo anterior se concluyó que es poco viable utilizar el polvo generado en el proceso de producción de mezcla asfáltica como agregado para la elaboración de paneles prefabricados como el Durock. El material requeriría la adición de un material granular para dar consistencia al material. Lo anterior representaría obtener un producto pesado y poco viable para competir con los productos comerciales de este tipo, los cuales por cierto son de importación y no se fabrican en México.



4.3 MATERIALES CERÁMICOS

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados en este rubro fueron muy alentadores y con fuertes posibilidades de poder incorporar los polvos y lodos de desecho en el área de cerámicos, considerando que de entrada el material de estudio reunía las características adecuadas para el uso de éste en la formulación de materiales cerámicos que requieran un acabado de tipo esmalte o vidriado.

De acuerdo con el análisis de óxidos de los polvos de la Planta de Asfalto, la composición de éstos es muy similar a la de las arcillas tipo "bola" (ball clay) utilizadas para la elaboración de materiales cerámicos, por lo que se presenta en la tabla 20 la composición de óxidos de los polvos y de la arcilla, con la finalidad de comparar su naturaleza química.

Tabla 20. Composición promedio de los polvos y de la arcilla "bola"

Muestra	Distribución porcentual (%)											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	Suma
Polvos	56.655	0.910	17.310	6.180	0.106	4.301	6.55	3.60	1.27	0.32	2.21	99.41
Arcilla bola	52.1	1.6	31.2	0.8	Trazas	0.3	0.4	0.3	1.0	Trazas	12.1	99.80

Con base en los resultados de la Tabla 20, inicialmente se seleccionó una arcilla que proporcionará las condiciones adecuadas para llevar a cabo el barrido (esto es el comportamiento del polvo mezclado con agua y que formara una pasta manejable desde el punto de vista de cerámica).



Se obtuvieron buenos resultados de la mezcla de los polvos de desecho de la PA con una arcilla tipo bola que se le conoce con el nombre de *arcilla bola de Kentucky*. Esta arcilla es muy utilizada en cerámica para la elaboración de una gran diversidad de utensilios y objetos de decoración, ya que esta arcilla presenta un alto punto de fusión lo que la hace resistente al someter a elevadas temperaturas productos elaborados a base de esta arcilla (la arcilla "bola" es la designación mineralógica oficial para la arcilla que está constituida principalmente de caolinita pero contaminada con materia orgánica y carente de hierro).

Cabe mencionar que dichos ensayos fueron realizados en un taller de cerámicos localizado en el centro de Coyoacán (Ciudad de México) con la valiosa colaboración del profesor Alberto Díaz de Cossio, quien desde su punto de vista augura un amplio campo de estudio para posteriores trabajos.

Con mezclas de polvo y arcilla se realizaron probetas en forma de barra y pastilla que fueron puestas a cocción en un horno a 1200 °C. La Foto 3, muestra las probetas después de haber sido sacadas del horno. De esta foto, se aprecia que con los polvos se pueden formular dos tipos de cerámicos, uno de aspecto vidriado (Probeta 2) que podría ser utilizado en losetas de uso industrial o doméstico o en artículos que requieran dicho tipo de acabado. El otro tipo de acabado (probetas 5 y 6) parece adecuado para la fabricación de materiales ornamentales. En la Tabla 21, se resumen los resultados de estas pruebas de preparación de materiales cerámicos incorporando polvos de la PA.



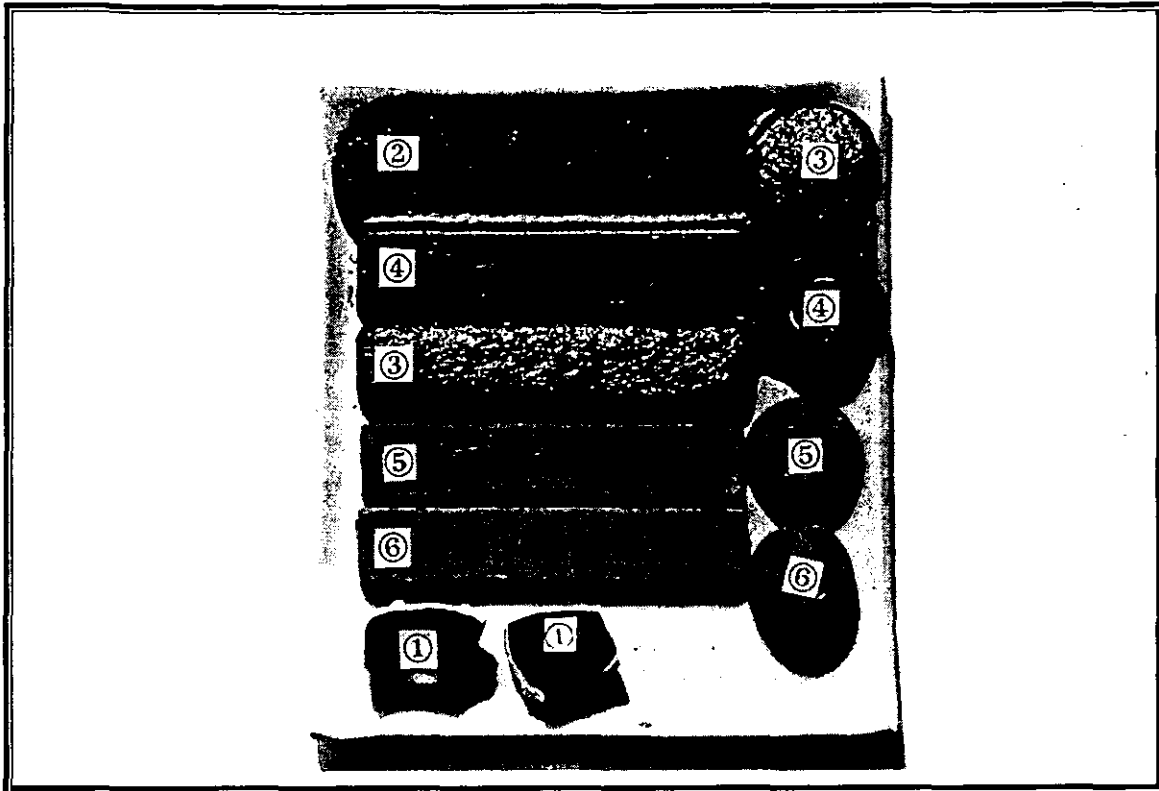


FOTO 3. Muestras de piezas de cerámica elaboradas con polvo y con arcilla

Los resultados de las pruebas realizadas permiten afirmar que los polvos tienen un potencial de aplicación muy importante en la fabricación de esmaltes para productos cerámicos como las losetas y productos ornamentales.



Tabla 21. Resultados de las pruebas de elaboración de materiales cerámicos

Muestra	Composición (%)		Presentación	Contracción* (%)	Características aparentes	Comentarios
	Polvo	Arcilla				
1	100	0	Vasija fragmentada	No aplica	Sólido negro de apariencia vítrea, formación de bolsas de aire en el seno del material. Material muy rígido y resistente a la abrasión. Punto de fusión inferior a 1250 °C	La rigidez del material no permitiría su utilización directa como material cerámico.
2	90	10	Material fundido	No aplica	Sólido color café oscuro con pequeñas manchas negras uniformemente distribuidas. Apariencia vítrea. Fuertemente resistente a la abrasión. Punto de fusión inferior a 1250 °C	Material con excelentes características para ser empleado como esmalte para cerámicos tales que las losetas comerciales. Este material tiene fuertes posibilidades de ser empleado en una gran variedad de productos cerámicos finos.
3	70	30	Barra y pastilla	No aplica	Sólido poroso de color café oscuro. La consistencia del material denota que su punto de fusión es muy ligeramente superior a los 1200 °C	Material con escasa aplicación a las condiciones de preparación. Pruebas de cocimiento a temperaturas superiores de 1200 °C podrían establecer la viabilidad de su utilización.
4	50	50	Barra y pastilla	10	Sólido de color marrón de apariencia opaca. Resistente a la abrasión y a choques térmicos. Punto de fusión superior a 1250 °C	Material con buenas posibilidades de ser utilizado en materiales cerámicos de ornato. Es recomendable realizar pruebas de conductividad térmica y compresión para establecer su viabilidad como material refractario.
5	30	70	Barra y pastilla	15	Sólido de color característico de la arcilla bola de Kentucky. Punto de fusión superior a 1250 °C	Material resistente a altas temperaturas pero aparentemente menos resistente que los materiales anteriores. El alto contenido de arcilla limitaría su aplicación comercial por cuestiones económicas
6	10	90	Barra y pastilla	13	Sólido de color característico de la arcilla bola de Kentucky. Punto de fusión superior a 1250 °C	Material resistente a altas temperaturas pero aparentemente menos resistente que los materiales anteriores. El alto contenido de arcilla limitaría su aplicación comercial por cuestiones económicas.

*Contracción del material después de la fundición. El valor máximo aceptable en cerámica es de 15%



4.4 PRODUCTOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS

Como ya se mencionó con anterioridad los resultados completos obtenidos en este rubro son parte de otro trabajo para obtener el título de ingeniero químico que presentará Negrete, Mtz. F. que se realizó paralelamente al documento que aquí se presenta, razón por la que sólo se menciona a continuación un extracto de los resultados obtenidos.

Se probaron dos tipos de aguas a tratar. Un agua natural destinada para la producción de agua potable (Planta "Los Berros", sistema Cutzamala) y un agua residual proveniente del Gran Canal de la Ciudad de México.

En el caso del agua natural colectada en el tanque de aguas crudas de la planta potabilizadora "Los Berros", fue significativo el efecto benéfico de los polvos de la planta de asfalto en la calidad del efluente y en los lodos. La caracterización de los efluentes obtenidos se ilustra en las Tablas 22, utilizando como agente coagulante sulfato de aluminio.

En la Tabla 22, para una dosis de sulfato de aluminio de 10 mg/L, se observó de manera clara la contribución de los polvos para mejorar la calidad del efluente. En efecto, los valores residuales de los parámetros fisicoquímicos globales, indicadores de la eficiencia del proceso (turbiedad, color, DQO), son muy cercanos a cero, en particular para la dosis más elevada de polvos (60 mg/L).



Tabla 22. Características fisicoquímicas de los efluentes de agua natural tratada con sulfato de aluminio (10 mg/L $Al_2(SO_4)_3$) y diferentes dosis de polvos de la planta de asfalto (0-0.06 mg/L)

Parámetro	Experimento	Dosis de polvo (mg/L)					
		0	3	5	10	30	60
pH	1	7.32	7.23	7.16	7.23	7.22	7.42
	2	6.89	7.49	7.65	7.61	7.61	7.62
	3	7.45	7.49	7.5	7.56	7.52	7.5
	4	7.58	7.59	7.63	7.63	7.51	7.64
	5	7.59	7.57	7.54	7.52	7.66	7.51
	promedio	7.37	7.47	7.49	7.51	7.50	7.54
Turbiedad (UTN)	1	5.25	0.82	0.05	1.77	1.57	0.55
	2	3.39	0.52	0.2	1.46	1.62	0.35
	3	1.16	1.71	0.91	0.41	1.25	0.28
	4	1.49	0.65	0.38	0.23	0.66	0.69
	5	1.5	0.11	0.23	0	0.26	0.91
	promedio	2.56	0.76	0.35	0.77	1.07	0.56
Color (U Pt-Co)	1	7	2	4	3	3	5
	2	8	3	3	4	5	6
	3	12	3	2	0	3	1
	4	8	4	3	5	5	5
	5	11	2	5	5	6	9
	promedio	9.2	2.8	3.4	3.4	4.4	5.2
DQO (mg O ₂ /L)	1	1	0	0	1	0	1
	2	1	0	0	0	4	0
	3	6	0	0	0	0	0
	promedio	2.67	0.00	0.00	0.33	1.33	0.33

Estos resultados ponen en evidencia que los polvos, debido a su contenido de óxido de sílice, pueden actuar como un floculante comparable a la sílice activada.



A continuación se presentan las características del efluente clarificado con sulfato de aluminio y bajas dosis de polvos, a partir del agua recolectada en la planta de Bombeo No. 7 ubicada en el Gran Canal (Tabla 23).

Tabla 23. Características fisicoquímicas de los efluentes de agua residual tratada con sulfato de aluminio (47.5 mg/L $Al_2(SO_4)_3$), y diferentes dosis de polvos de la planta de asfalto (1-60 mg/L)

Dosis de coagulante	Sulfato de Aluminio 7.5 mg Al^{3+} /L						
	Dosis polvos (mg/L)	0	1	5	7.5	15	60
Turbiedad (UTN)		10.61	14.64	10.96	7.98	-	8.08
		10.69	12.7	12.13	8.05	8.72	5.91
Promedio		10.65	13.67	11.54	8.01	8.72	6.99
Color (U Pt-Co)		97	116	98	83	-	66
		102	99	104	93	72	67
Promedio		99.5	107.5	101	88	72	66.5
DQO total (mg O_2 /L)		172	161	151	174	-	166
		169	160	173	154	171	146
Promedio		170.5	160.5	162	164	171	156
pH		6.15	6.19	6.23	6.14	-	6.55
		6.1	6.14	6.33	6.03	6.51	6.16
Promedio		6.12	6.16	6.28	6.08	6.51	6.35
SST (mg/L)		10	30	40	40	-	20
		10	20	30	30	30	20
Promedio		10	25	35	30	30	20

En esta Tabla 23 se puede observar que la calidad del efluente de las aguas residuales se mejora de manera significativa, cuando se adicionan solamente los polvos de la planta asfáltica a dosis entre 5-60 mg/L. Cabe mencionar que la aplicación de los



polvos permitieron disminuir la dosis de sulfato de aluminio de 63.4 mg/L a 47.5 mg/L para tener un producto con calidad comparable. Esta dosis se encuentran dentro de los valores más bajos que se utilizan comúnmente para el tratamiento de aguas residuales con este coagulante (100-300 mg/L).

Con base en los resultados anteriores se presentan los siguientes comentarios:

- La aplicación de polvos de mezcla asfáltica (Planta A) como co.adyuvante de floculación en el tratamiento de aguas presentan una factibilidad técnica elevada
- La factibilidad es más importante para la depuración de aguas naturales superficiales utilizadas como fuentes de producción de agua potable (Planta potabilizadora "Los Berros", Sistema Cutzamala) en comparación a aguas residuales.
- Las dosis elevadas (3-60 mg/L) de polvos de mezcla asfáltica permiten disminuir de manera significativa la cantidad aplicada de coagulante (sulfato de aluminio) por volumen de agua, obteniendo un efluente y lodos de características fisicoquímicas aceptables. En el caso de aguas residuales la dosis se reduce de 63.4 a 47.5 mg/L y, para aguas naturales, la dosis disminuye de 25 a 10 mg/L para aguas residuales.
- Los lodos producidos en el proceso de coagulación-floculación de aguas, con la aplicación de los polvos de mezcla asfáltica, presentan excelentes características de sedimentación, lo que permitiría disminuir las dimensiones de los equipos de sedimentación a instalar o la eficiencia de los sedimentadores instalados.

Las propiedades de floculante que presentan los polvos de mezcla asfáltica se deben probablemente al importante contenido de óxido de sílice, lo cual los hace comparables a la sílice activada (floculante).



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los polvos de la Planta de Asfalto son materiales provenientes de rocas ígneas de naturaleza basáltica. Estos polvos contienen trazas de compuestos orgánicos. Un estudio previo realizado por la UNAM (Instituto de Ciencias del Mar y Limnología) demostró que estos materiales no son considerados residuos peligrosos por lo que no representan un riesgo para la salud durante su manejo (salvo por las partículas de diámetro inferior a 10 μm que pueden alojarse en el aparato respiratorio; el riesgo se elimina completamente con la utilización de mascarillas adecuadas). Los polvos y lodos estudiados están constituidos en más de 50 % por SiO_2 y contienen cantidades importantes de óxidos de hierro, aluminio y magnesio.

Con el fin de valorar estos polvos se estudiaron tres grupos de opciones de aplicación en: materiales de construcción, materiales cerámicos y productos para el tratamiento de aguas mediante el proceso de coagulación – floculación. Los resultados obtenidos en los tres grupos de opciones son prometedores.

En el primer grupo de opciones donde se estudió la formulación de materiales de construcción se demostró que no es viable utilizar los polvos mezclados directamente con materiales comunes de construcción (cemento, cal y yeso) debido a la baja calidad del producto obtenido. Sin embargo, pruebas adicionales realizadas con una resina



estiren acrílica y con aditivos permitieron demostrar la viabilidad de aplicación de los polvos en la formulación de productos para el resanado y revestimiento de superficies. Estos productos pueden tener un alto valor agregado y representan una opción altamente viable para dar salida a toda la producción diaria de polvos en la PA.

Por otro lado, pruebas realizadas para explorar la opción de fabricar mosaicos con los polvos de PA ofrecieron resultados satisfactorios. La adición de polvos en la formulación de los mosaicos permite reducir el contenido de cemento gris en un 50%.

Otra opción que se exploró fue utilizar los polvos para formular materiales cerámicos. Para demostrar la viabilidad de esta aplicación se realizaron pruebas de cocimiento de los polvos mezclados con una arcilla comúnmente empleada en la elaboración de productos cerámicos comerciales. Las pruebas demostraron que pueden obtenerse productos cerámicos con características físicas interesantes. Una mezcla de 90% de polvo (mezcla de los polvos de las tres plantas, los lodos habiendo sido previamente secados) y 10 % de una arcilla tipo bola (Ball Clay OM-4, de Kentucky) al ser sometida a una temperatura de 1200 °C produjo un material cerámico muy duro, de apariencia vítrea y altamente resistente a la abrasión. Estas características permiten afirmar que dicha mezcla puede ser aplicada en la elaboración de esmaltes cerámicos utilizados en la fabricación de losetas y de productos cerámicos artesanales. Esta opción permitiría, como las opciones de los materiales de construcción, dar un uso a la cantidad global de polvos producidos diariamente en la PA.



Los experimentos realizados en un trabajo paralelo a este trabajo, para evaluar la factibilidad de utilizar los polvos como un producto "ayuda" en el proceso de coagulación – floculación de aguas ofrecieron excelentes resultados (la dosis se reduce de 63.4 a 47.5 mg/L y, para aguas naturales, la dosis disminuye de 25 a 10 mg/L para aguas residuales) en la remoción de color y turbidez de aguas destinadas para la producción de agua potable y de aguas residuales tratadas.

5.2 RECOMENDACIONES

En este proyecto se demostró la viabilidad de la valoración de los polvos de la PA en al menos cuatro aplicaciones. Las perspectivas de este trabajo incluyen la realización de proyectos de tipo mercadotécnico que permitan instrumentar los mecanismos necesarios para una comercialización de los polvos y que ésta redunde en la eliminación de los costos asociados a su evacuación de la PA y de ser posible que se generen utilidades a la PA por este concepto.

La etapa siguiente en la concreción de la implantación de dichas aplicaciones implica la realización de un proyecto ejecutivo para cada opción cuyo principal objetivo será la comercialización de los polvos. Sin pretender establecer exhaustivamente los lineamientos para la realización de dichos proyectos, a continuación se presentan los conceptos básicos que se considera que deben incluirse en los mismos.



5.2.1 Mortero resonador de paredes y Revestimiento tipo pintura

El desarrollo conceptual de un proyecto de comercialización de estos dos productos es del mismo estilo dada la similitud entre ellos. Dicho desarrollo consistiría básicamente de las siguientes etapas:

1. Realización de pruebas complementarias para afinar la formulación más económica y efectiva de estos productos (pruebas con distintas resinas y otros aditivos)
2. Realización de un inventario completo en el Valle de México de empresas fabricantes y/o distribuidoras de productos similares al planteado
3. Presentación del producto elaborado con los polvos de la PA
4. Propuesta de realización de pruebas en los propios laboratorios de estas empresas de los productos elaborados con polvos de la PA
5. Elaboración conjunta de una evaluación técnica – económica de la viabilidad de comercialización de un producto elaborado con los polvos

Se considera que las empresas susceptibles de adquirir las formulaciones elaboradas con los polvos son de tamaño pequeño a mediano, las cuales comercialicen productos económicos y de una calidad no muy exigente.

5.2.2 Mosaicos

1. Realización de un inventario de talleres artesanales en el Valle de México fabricantes de mosaicos y losetas
2. Presentación de productos elaborados con los polvos de la PA



3. Propuesta de subvención de pruebas de fabricación de mosaicos en los propios talleres utilizando los polvos de la PA
4. Demostración de las ventajas económicas de la utilización de los polvos por la sustitución parcial del cemento fino y por un menor consumo de cemento
5. Búsqueda de un intermediario que realice las funciones de transporte y comercialización de los polvos en los talleres de fabricación de mosaicos

5.2.3 Materiales cerámicos

1. Realización de pruebas complementarias para afinar la formulación más económica y efectiva de productos cerámicos (Cocimiento a distintas temperaturas, mezclas con otras arcillas distintas a la OM-4, adición de aditivos, preparación de probetas para pruebas mecánicas, elaboración de prototipos de materiales cerámicos tales como losetas y artículos artesanales)
2. Realización de un inventario de empresas de tamaños mediano a grande susceptibles de adquirir los polvos en grandes cantidades
3. Presentación de productos elaborados con los polvos de la PA
4. Propuesta de subvención de pruebas de fabricación de productos cerámicos en los propios talleres de las empresas interesadas utilizando los polvos de la PA. Demostración de las ventajas técnicas y económicas de la utilización de los polvos, teniendo como principales argumentos la adecuada composición química de los polvos, su granulometría que permite su mezcla directa con arcillas y aditivos, la temperatura razonable de fundición del material, la alta resistencia a la abrasión y el brillo y dureza del material obtenido después de la fundición



5. Búsqueda de un intermediario que realice las funciones de transporte y comercialización de los polvos a las empresas interesadas.

5.2.4 Co-adyuvante de coagulación – floculación

1. Identificación de fabricantes y distribuidores de productos químicos para el tratamiento de aguas
2. Propuesta de elaboración de pruebas de tratabilidad por coagulación – floculación de aguas previamente seleccionadas por las empresas interesadas
3. Comparación de los resultados de las pruebas realizadas por un laboratorio representante de la PA con los de un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA) seleccionado para realizar las funciones de tercería
4. Evaluación de las ventajas y posibles inconvenientes de la utilización de los polvos de la PA
5. Establecimiento de contratos para la comercialización de los polvos como un producto de aplicación en el tratamiento de agua potable y de aguas residuales

5.2.5 Otra opciones

Otras opciones que se proponen explorar para valorizar los polvos es la formulación de impermeabilizantes y de paneles de concreto ligero preconstruidos.



BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar Rumoroso A. (1979) Breve estudio sobre pasta cerámica. Tesis UNAM
2. Carranza Ortega Raúl (1990). El mercado de los revestimientos y recubrimientos en México, Tesis Facultad Química, UNAM
3. García Gutiérrez Alfonso (1975). Operaciones y procesos unitarios de ingeniería química en el tratamiento y disposición final de los desechos sólidos. Tesis, Facultad de Química, UNAM.
4. Negrete Martínez Fabiola(2001). Evaluación de los polvos de mezcla asfáltica como co-adyuvante de floculación de aguas. Tesis, Facultad de Química, UNAM
5. Moreno Ramírez José Luis (1991). Manejo, tratamiento e industrialización de los desechos sólidos en México. Tesis, Facultad de Química, UNAM
6. Martín R.J., Wallace H. A. (1970) Pavimentos asfálticos. Ed Aguilar-Madrid, España
7. Bratby J. R. (1981). Optimizing coagulants and flocculants aids for settling. JAWWA, junio, pp 312-318.
8. Chappell J. (1996) The Potter's complete book of clays and glazes. Watson Guptill Publication., N.Y.
9. Cohen J M., Hannah S. (1971). Coagulation and flocculation. AWWA, Mc Graw Hill, pp 21-66, 173-327
10. Hore, J.E., Riley, W. C. (1967). Modern Ceramics: Some principles and concepts. John Wiley and Sons
11. Venuat M. (1972) Aditivos y materiales de morteros y hormigones. Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona



ANEXOS

ANEXO 1
MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LAS
OBSERVACIONES REALIZADAS EN UN
MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE
BARRIDO

<i>FOTO 1. Polvo de la Planta A (x 90)</i>	2
<i>FOTO 2. Polvo de la Planta A (x 450)</i>	2
<i>FOTO 3. Polvo de la Planta A (x 2000)</i>	3
<i>FOTO 4. Polvo de la Planta B (x 90)</i>	4
<i>FOTO 5. Polvo de la Planta B (x 450)</i>	4
<i>FOTO 6. Polvo de la Planta C (x 90)</i>	5
<i>FOTO 7. Polvo de la Planta C (x 450)</i>	5

A1.1 POLVO DE LA PLANTA A

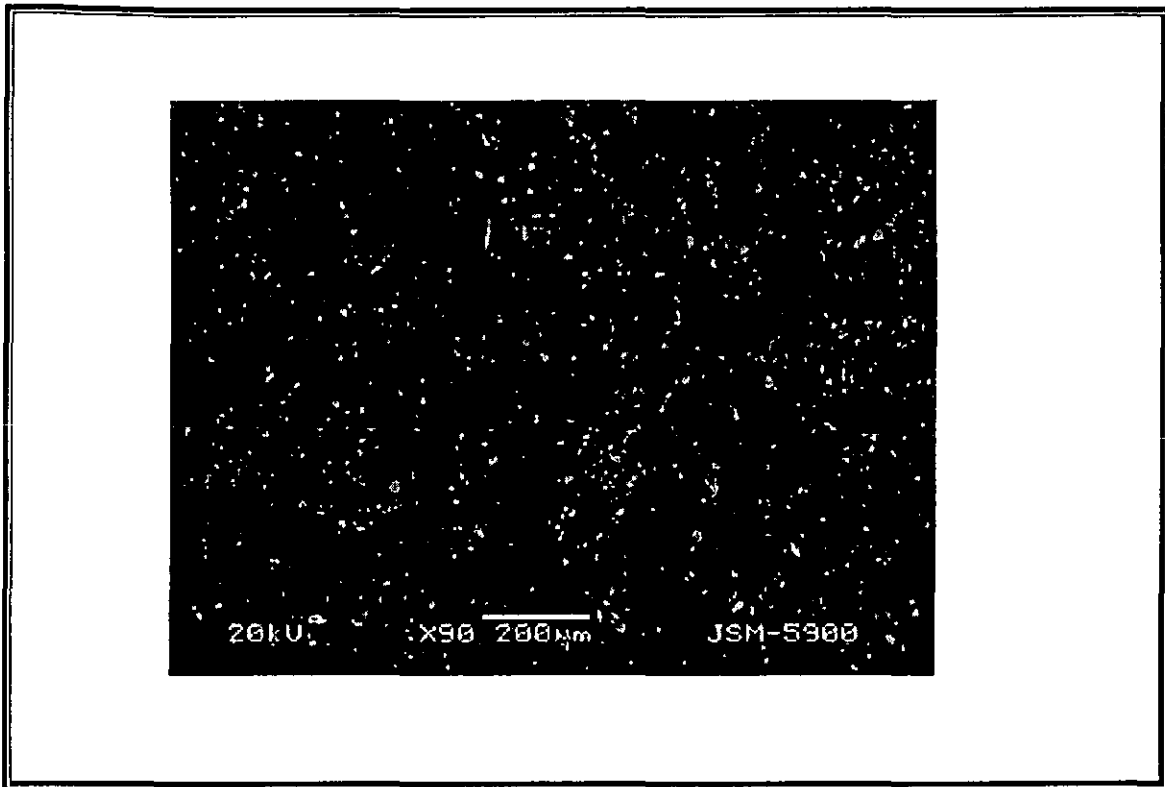


FOTO 1. Polvo de la Planta A (x 90)

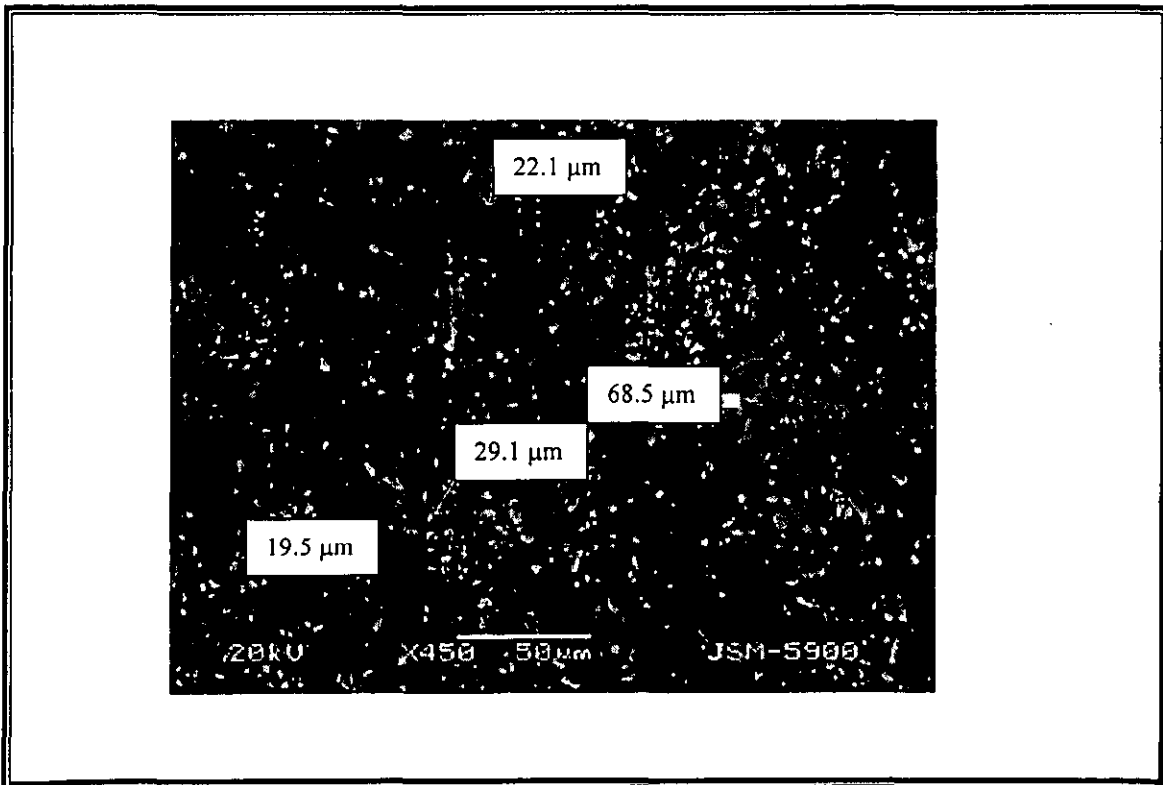


FOTO 2. Polvo de la Planta A (x 450)

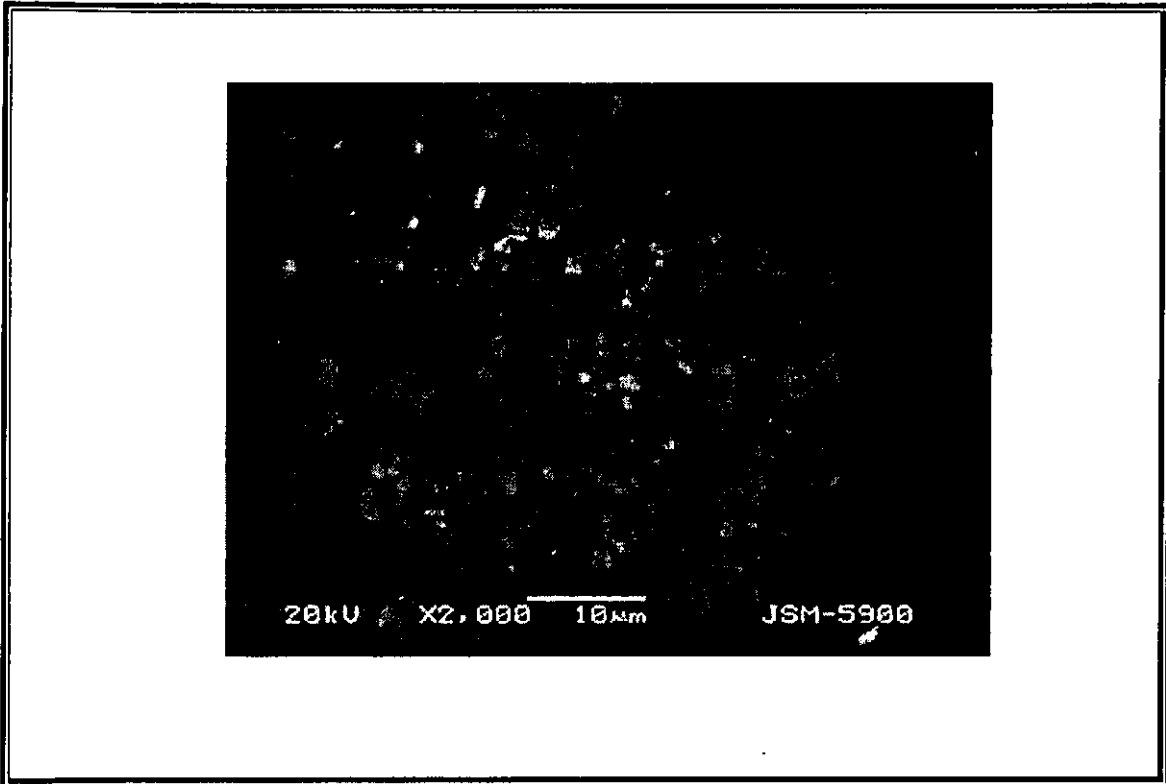


FOTO 3. Polvo de la Planta A (x 2000)

A1.2 POLVO DE LA PLANTA B

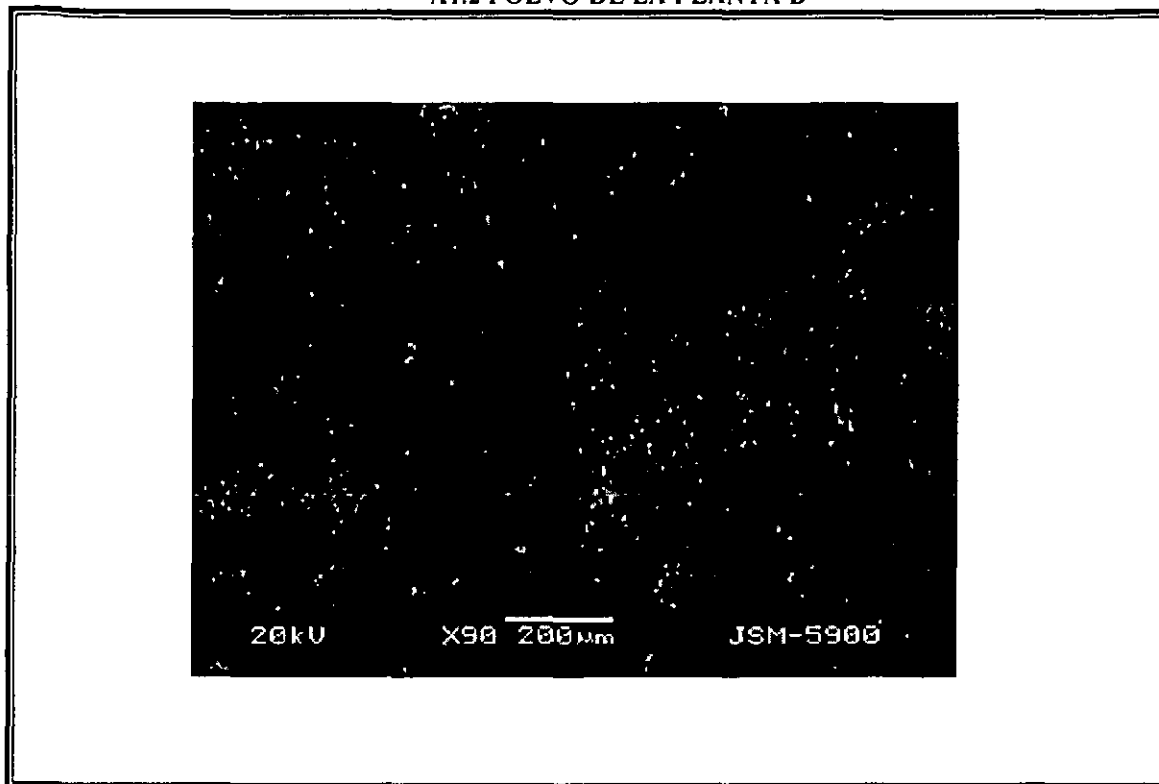


FOTO 4. Polvo de la Planta B (x 90)

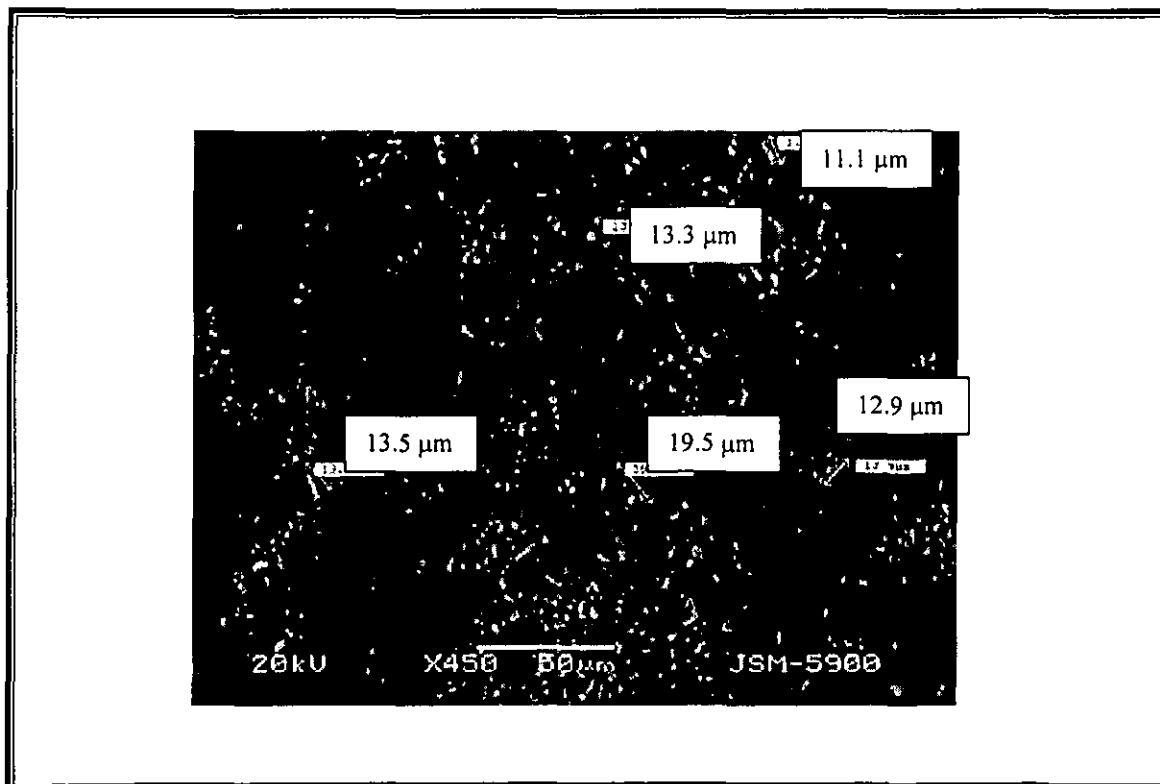


FOTO 5. Polvo de la Planta B (x 450)

A1.3 POLVO DE LA PLANTA C

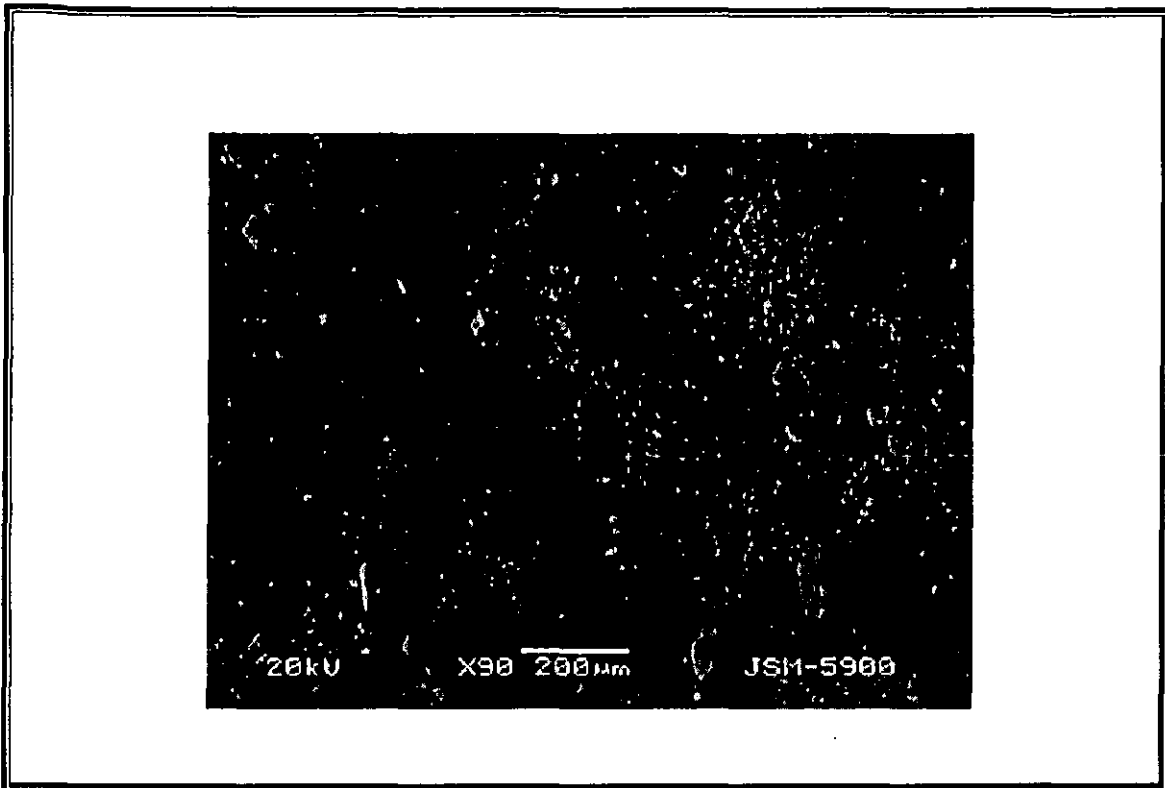


FOTO 6. Polvo de la Planta C (x 90)

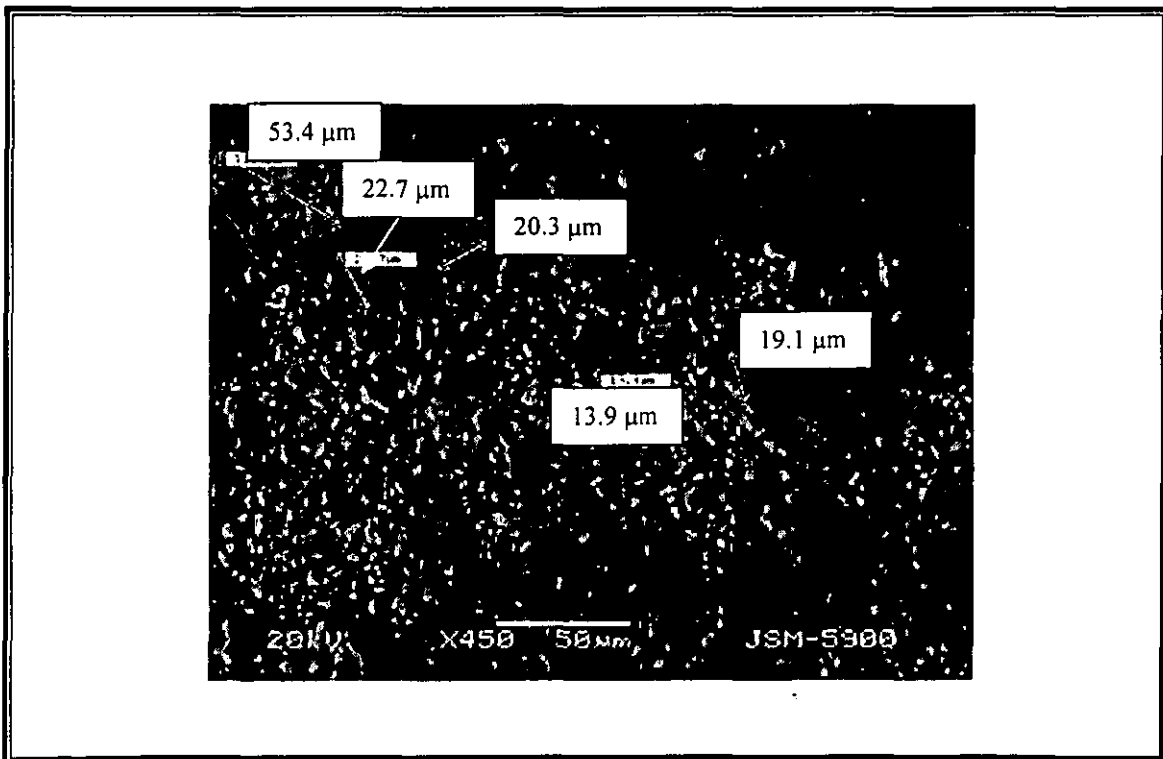


FOTO 7. Polvo de la Planta C (x 450)

ANEXO 2

DOCUMENTOS DE APOYO

<i>A2.1 HOJA TÉCNICA DE LOS POLVOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE ASFALTO.....</i>	<i>2</i>
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	2
GRANULOMETRÍA	2
CONTENIDO DE ÓXIDOS.....	2
CRETIB : NEGATIVO. NO ES UN MATERIAL PELIGROSO	2
PRODUCCION GLOBAL	2
 <i>A2.1 RESULTADOS DE CONTACTOS TELEFÓNICOS A EMPRESAS SUSCEPTIBLES DE COMPRAR LOS POLVOS.....</i>	 <i>3</i>
 <i>A2.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA PARA LA UTILIZACIÓN DE UN AGREGADO FINO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.....</i>	 <i>5</i>
 <i>A2.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL ÁREA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.....</i>	 <i>8</i>

A2.1 HOJA TÉCNICA DE LOS POLVOS PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE ASFALTO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Apariencia:	Polvo
Color:	Gris oscuro
Densidad aparente:	$1.3 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$
Diámetro de partícula:	De 10 μm a 50 μm

GRANULOMETRÍA

Mallas	Diámetro de abertura (mm)	PLANTA 5	PLANTA 6	PLANTA 7
		%masa retenida	%masa retenida	%masa retenida
80	0.1778	3.2	25.775	7.2361
120	0.11684	39.65	57.093	78.1306
150	0.10414	16.2	16.627	11.4974
180	0.08128	7.48	0.5038	1.06332
200	0.07366	18.78	0	1.4874
250	0.0635	8.37	0	0.5829
325	0.04318	4.44	0	0
colector	-	1.85	0	0
Total		99.97	99.9988	99.99772
Diámetro promedio (mm)		0.096054	0.130261	0.118458

CONTENIDO DE ÓXIDOS

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	Suma
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Planta 5	57.195	0.883	17.372	6.470	0.107	4.679	6.950	3.619	1.264	0.290	0.81	99.64
Planta 6	54.744	0.796	17.677	6.185	0.112	5.037	7.399	3.377	1.090	0.321	2.99	99.73
Planta 7	58.025	1.051	16.882	5.885	0.100	3.188	5.292	3.816	1.450	0.353	2.82	98.86

CRETIB : NEGATIVO. NO ES UN MATERIAL PELIGROSO

PRODUCCION GLOBAL

54 a 72 ton/día.

A2.1 RESULTADOS DE CONTACTOS TELEFÓNICOS A EMPRESAS SUSCEPTIBLES DE COMPRAR LOS POLVOS

EMPRESA	TELEFONOS	COMENTARIOS
ABRASIVOS		
GALVANOLYTE Ing. Héctor Zamorano	5391-49-99	Fabrican pastas para pulido y abrillantado de metales, interesados siempre y cuando se proporcione una fórmula de "arranque"
CINASA (ABRASIVOS)	5538-70-00	El entrevistado no se mostró interesado, contestó que allí sólo se manejan químicos como carburo de tungsteno para "desbastado"
AISLANTES		
AISLANTES Y ACÚSTICOS	5545-02-21	No hubo interés en el material
ROLAN (Aislantes minerales)	5255-08-22	El material no es interesante en la fabricación de aislantes minerales pues su materia prima es roca de un diámetro promedio de 2.5 cm
FIBERGLASS (Aislantes minerales)	5207-22-14	No hubo interés en el material
ARENA SÍLICA		
AREAS PARA FUNDICIÓN	5562-96-36	Usan arenas con alto contenido de sílice para fundir
ARENA SÍLICA JOLUMADI	5693-84-84	No están interesados (venden arena sílica graduada)
CEMENTERAS		
CONCRETODO (CASA DE MATERIALES Norma Ramírez)	5572-03-96	No manejan el tipo de material, no hubo interés
CEMEX (CEMENTO)	5723-44-00	No hubo interés en el material
CEMENTO CRUZAZUL	5687-20-30	No hubo interés en el material
CEMENTO MOCTEZUMA	5281-38-21	No hubo interés en el material
MATERIALES CERÁMICOS		
INDUSTRIAL CERAMID Ing. Miguel Angel Espinosa	5398-95-85	Hubo un relativo interés a reserva de probar la funcionalidad de los polvos en la formulación de materiales cerámicos
IBERODATA (CERÁMICOS/SANDBLAST)	5532-16-66	No hubo interés alguno en el material
GRUPO CEVERR (CERÁMICO/SANDBLAST)	5423-1205	No hubo interés alguno en el material

EMPRESA	TELEFONOS	COMENTARIOS
SANDBLASTING		
INGENIERÍA ORSA Ing. Fernando Ortega	5651-56-72	Tajantemente se rechazó el uso de los polvos en el sandblasting dado que se utilizan materiales con un muy alto contenido en sílice
COMERCIALIZADORA DE MINERALES Ing. Ramón Ahumada	5426-42-10	Mostraron un relativo interés en el material a reserva de contar con pruebas de su funcionalidad. Esta empresa vende principalmente tierras diatomáceas.
HF EQUIPOS DE SANDBLAST Ing. Héctor Gutiérrez	5890-66-28	Uno de los empleados mencionó que podría utilizarse en "sandblasteo" para vidrio, en artesanías, para hacer grabados finos pero que esta tecnología estaba siendo desplazada por el uso de CO ₂
OTROS GIROS		
FILTRANTES Y REFACCIONES INDUSTRIALES	5567-82-83	Venden arena sílica para filtrantes en tratamiento de agua. No estuvieron interesados por ser muy finos los polvos
CONCRETODO (CASA DE MATERIALES Norma Ramírez)	5572-03-96	No manejan el tipo de material, no hubo interés
PROFILQUIM DE MÉXICO (FILTRANTES)	5567-10-75	Venden arena sílica para filtrantes en tratamiento de agua. No estuvieron interesados por ser muy finos los polvos
COREV (PINTURAS Y TEXTURIZADOS)	5273-42-50 PLANTA 5690-38-32	<i>A priori</i> no estuvieron interesados por no contar con pruebas de la viabilidad de uso del material

A2.3 RESULTADOS DE LA ENCUESTA PARA LA UTILIZACIÓN DE UN AGREGADO FINO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

<i>Datos de la empresa y del Entrevistado</i>	<i>¿CONSIDERA USTED QUE EL POLVO PRESENTADO PODRÍA TENER UN USO COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN? SI LA RESPUESTA ES SI CITAR AL MENOS UN EJEMPLO</i>	<i>¿Usted compraría el material mostrado por el entrevistador?, ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar \$/kg, \$/m³?</i>	<i>¿Cuál considera que sería el costo adecuado para su venta al público, \$/kg, \$/m³?</i>	<i>¿Qué presentación considera que sería la más adecuada para su consumo, a granel , en sacos (25 kg, 50 kg, etc.)</i>
Tlapalería, La Estrella Av. Tlahuac # 1832 Col. San Lorenzo Tezonco, tel. 56-95-06-92, contacto Sr. Roberto Aparicio Masia.	Aplanados	360 \$/camión	600 \$/camión	50 kg
Ferretería Matser Av. de las Torres Mz. 3 Lt. 73 col. San Lorenzo Tezonco, tel. 58-40-54-36, contacto Sra. Eloisa Zamora.	Aplanados finos y pisos	7800 \$/camión	11700 \$/camión	25 kg
Materiales Marinho Av. 1 Mz. 25 Lt. 19 tel. 58-40-02-13, contacto Octavio Durán Domínguez.	Aplanados y pisos	390 \$/camión	600 \$/camión	50 kg
Ferretería Zaragoza calle Zaragoza # 8 col. Año de Juárez tel. 58-45-09-48, contacto Sr. Erick Mauricio Villegas.	Aplanados finos	480 \$/camión	900 \$/camión	25 kg
Materiales Domitila Lizar Ramírez Av. Matías Romero # 9 Col. San Lorenzo Tezonco, tel. 58-45-09-35, contacto Sr. Claudio Fabian Francisco.	Aplanados finos	No sabe	420 \$/camión	25 kg
Casa Ramírez Circunvalación esquina Violeta tel. 56-76-17-43, contacto Sr. José Luis Ramírez.	Aplanados	39000 \$/camión	70200 \$/camión	25 ó 50 kg
Casa Noguez 16 de Septiembre # 106 Xochimilco tel. 56-76-14-22, 56-76-66-25, contacto Sr. Jorge Noguez.	Acabados o pigmentos	312000 \$/camión	390000 \$/camión	1 a 5 kg
Materiales para construcción Toledo calle Violeta # 126 col. Xoltacan tel. 56-75-10-29, contacto Sr. Angel Toledo Castillo.	Agregado para impermeabilizante	Lo mínimo posible	Lo más accesible	25 kg

Datos de la empresa y del Entrevistado	¿CONSIDERA USTED QUE EL POLVO PRESENTADO PODRÍA TENER UN USO COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN? SI LA RESPUESTA ES SI CITAR AL MENOS UN EJEMPLO	¿Usted compraría el material mostrado por el entrevistador?, ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar \$/kg, \$/m ³ ?,	¿Cuál considera que sería el costo adecuado para su venta al público, \$/kg, \$/m ³ ?	¿Qué presentación considera que sería la más adecuada para su consumo, a granel , en sacos (25 kg, 50 kg, etc.)
Materiales Tetelpan, Cal Desierto de los Leones #4990, contacto Sr. Jaime Carrazco.	Uniones de losetas, juntas	13300 \$/camión	No sabe	20 kg
Casa Palacios Insurgentes, Insurgentes sur # 4304, col Tlalcoligia, Tlalpan tel. 55-73-00-80, contacto Sra. Sara Ramírez	Cimentación	1500 \$/camión	300 \$/camión	25-50 kg
Consultor Pte. de la morena # 52, col. Tacubaya, tel. 55-16-25-18, contacto Ing. Gustavo Madrigal Silva.	Aplanados finos	540 \$/camión	600 \$/camión	A granel
Materiales San Pedro II, Av. México # 10, San Miguel Xicalco, Tlalpan, tel. 58-46-27-97, contacto Sr. Vicente López García.	Terminados	600 \$/camión	720 \$/camión	25-50 kg
Materiales San Pedro, Carretera Federal a Cuernavaca # 5618 tel. 65-55-14-07, contacto Sr. Melitón López García.	Terminados	600 \$/camión	720 \$/camión	25-50 kg
Materiales Xaltocan, Av. Xaltocan Mz. D3 It 84, col. Arenal tel. 57-63-74-68, contacto Sr. Efrain Yopez .	Color para cemento	7800 \$/camión	15600 \$/camión	25-50 kg
Materiales linda, Av. Nuevo León # 30, Xochimilco, tel. 56-76-07-23,	Aplanado	78000 \$/camión	156000 \$/camión	25 kg
Materiales para construcción, Violeta # 128 col. Xoltocan, tel. 55-55-43-75, contacto Sra. Paola Toledo Blanco.	Relleno	117000 \$/camión	156000 \$/camión	25 kg

<i>Datos de la empresa y del Entrevistado</i>	<i>¿CONSIDERA USTED QUE EL POLVO PRESENTADO PODRÍA TENER UN USO COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN? SI LA RESPUESTA ES SI CITAR AL MENOS UN EJEMPLO</i>	<i>¿Usted compraría el material mostrado por el entrevistador?, ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar \$/kg, \$/m³?</i>	<i>¿Cuál considera que sería el costo adecuado para su venta al público, \$/kg, \$/m³?</i>	<i>¿Qué presentación considera que sería la más adecuada para su consumo, a granel , en sacos (25 kg, 50 kg, etc.)</i>
Materiales el fuerte, Veracruz 64 col. San Jerónimo Aculco tel.55-95-92-85, contacto Sra. Claudia Tovar Gómez.	Resanados y acabados finos	790 \$/camión	1580 \$/camión	A granel
Materiales Gómez, San Jerónimo # 34 col. Pueblo Nuevo Alto, tel. 56-76-14-22, 56-45-08-77, contacto Sr. Juan Carlos Gómez.	Acabados	No sabe	No sabe	25 kg
Materiales para construcción Toledo calle Violeta # 126 col. Xoltacan tel. 56-75-10-29, contacto Sr. Angel Toledo.	Agregado para impermeabilizante	Lo mínimo posible	Lo más accesible	25 kg
Casa Almaraz, Cuauhtémoc # 41 col. San Pedro Xochimilco tel. 56-76-81-91, contacto Sr. Cruz Morales.	Aplanados	No sabe	No sabe	10 kg
Materiales linda, Av. Nuevo León # 30, Xochimilco, tel. 56-76-07-23,	Aplanado	78000 \$/camión	156000 \$/camión	25 kg
Tevar S.A. De C.V., Av Taxqueña # 2476, tel. 56-08-10-49, contacto Sra. Patricia Tellez	Vista aparente de paredes	250 \$/camión	420-480 \$/camión	A granel
Materiales para construcción, Velázquez Av.16 de septiembre y Troncoso # 258, tel. 56-97-48-35, contacto Sra. Claudia Morales.	Aplanados finos	300-360 \$/camión	480-600 \$/camión	A granel
Materiales Omega 64 Cafetales # 1482 fraccionamiento Cafetales tel.56-73-49-38, contacto Sra. Lidia Mtz.	Agregado para pisos negros	117000 \$/camión	171600 \$/camión	1 kg
Distribuidora Metropolitana, Cafetales # 1418, tel. 56-73-92-92, contacto Sr. Onofre Domínguez .	Aplanado de pisos	7800 \$/camión	9750-11700 \$/camión-	10 kg
Casa Villareal, Av Tlahuac # 201, tel. 55-82-46-01, contacto Ing. Noel Etien.	Acabados, pegado de losetas con cemento gris	1180 \$/camión	270 \$/camión	A granel

A2.4 GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL ÁREA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

Caleo.- Pérdida de material, la cual es posible de comprobar con sólo pasar la mano por la superficie de un revestimiento o resanado.

Compresión.- Ensayo mecánico que se le aplica a los materiales como una forma de medir la resistencia de éstos.

Curado.- Proceso posterior al de fraguado donde se somete el mortero o concreto a un proceso de humidificación para evitar el agrietamiento súbito.

Emboquillador.- Material de construcción que tiene como finalidad cumplir con una función estética y como elemento de unión (juntas) de canteras, azulejos, mosaicos, losetas, etc.

Factor de agua.- Cantidad de agua necesaria para hacer manejable una mezcla

Fisurabilidad.- Es un indicador de la presencia de grietas y aberturas en materiales que han sido aplicados en elementos o estructuras para los cuales fueron diseñados

Fraguado.- Proceso de pérdida de agua de un mortero o concreto, durante el cual estos materiales toman consistencia y adquieren la forma del recipiente que los contiene.

Mojabilidad.- Medida de la permeabilidad de las superficies y acabados; la prueba consiste en poner una gota de agua sobre la superficie del material a probar y se determina el tiempo que tarda ésta en desaparecer de la superficie.

Mortero.- Nombre genérico que reciben las mezclas aglutinantes preparadas con base en arenas de determinada granulometría (generalmente arena sílica) y cemento Portland. Existe una gama muy amplia de estos morteros, los cuales se diferencian por su contenido de cemento Portland y de otros aditivos.

Recubrimiento texturizado.- Material espeso formulado generalmente con resinas, materiales granulares y aditivos que son utilizados para recubrir superficies en interiores de inmuebles y casas habitación. Su consistencia espesa permite darles una textura en función de la herramienta utilizada para ello (llanas, peines, esponjas, etc.). Cumple una función estética.

Repellado.- Recubrimiento con un mortero con acabado fino y liso.

Resanador.- Pasta cuya función es la cubrir y eliminar los agrietamientos y fisuras que pueden presentar las superficies generalmente viejas.

Revestimiento.- Capa aplicada a paredes, columnas, losas, etc, la cual varia su formulación dependiendo del elemento o estructura en la que se aplique.

Trabajabilidad.- Medición subjetiva del manejo de la pasta lograda al dosificar la cantidad de agua requerida por un mortero hasta lograr una pasta dócil.

REFERENCIA: VENUAT M. (1972) Aditivos y materiales de morteros y hormigones. Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona

ANEXO 3

MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LAS PRUEBAS DE FORMULACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

A3.1 MORTEROS	2
A3.2 REVESTIMIENTOS	5
A3.3 EMBOQUILLADOR	9
FOTO 1. Prensa hidráulica para la realización de las pruebas de compresión	2
FOTO 2. Moldes para la preparación de probetas para pruebas de compresión (por triplicado)	2
FOTO 3. Probetas formuladas con polvo para pruebas de compresión	3
FOTO 4. Instante en el que falla el material durante la prueba de compresión.....	3
FOTO 5. Falla típica de un mortero comparada con la falla de un mortero formulado con polvo.....	4
FOTO 6. Aplicaciones de revestimientos típicos [cemento + resina (estiren acrílica 2:1 con agua)] (a) cemento blanco, (b) cemento gris.....	5
FOTO 7. Revestimientos formulados con polvos, cemento gris y resina (2:1) a) polvo 100%, (b) 90% polvo + 10% cemento; (c) 80% polvo + 20% cemento; (d) 70% polvo + 30% cemento	5
FOTO 8. Revestimientos formulados con polvos, cemento y resina (2:1) (a) 60% polvo + cemento gris (b) 50% polvo + 50% cemento gris, (c) 90% polvo + 10% cemento blanco; (d) 80% polvo + 20% cemento blanco	6
FOTO 9. Revestimientos formulados con polvos, cemento blanco y resina (2:1) (a) 70% polvo + 30% cemento; (b) 60% polvo + 40% cemento, (c) 50% polvo + 50% cemento ..	6
FOTO 10. Revestimientos formulados con polvos, cemento y resina (1:1, con agua) (a) 100% polvo; (b) 50% polvo + 50% cemento gris; (c) 50% polvo + 50% cemento blanco	7
FOTO 11. Revestimiento tipo pintura aplicado con brocha formulado a base de polvo (100%) y resina (1:1, con agua)	7
FOTO 12. Acercamiento de la aplicación de un revestimiento tipo pintura aplicado con brocha formulado a base de polvo (100%) y resina (1:1, con agua).....	8
FOTO 13. Aplicación de un emboquillador comercial (gris).....	9
FOTO 14. Aplicación de un emboquillador formulado a base de polvo (69% polvo + 30% cemento gris + 1% aditivo Culminal)	9
FOTO 15. Aplicación de un emboquillador formulado a base de polvo (39% polvo + 30% cemento gris + 30% cero fino + 1% aditivo Culminal)	10

A3.1 MORTEROS

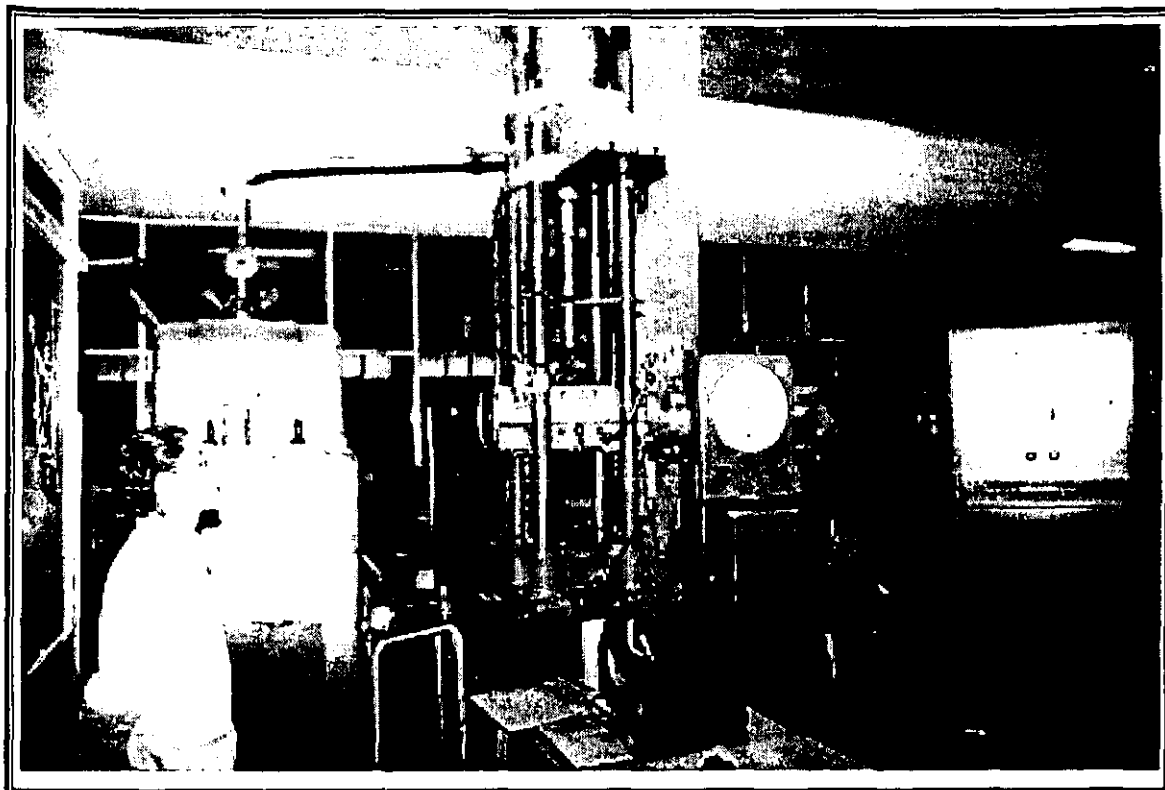


FOTO 1. Prensa hidráulica para la realización de las pruebas de compresión

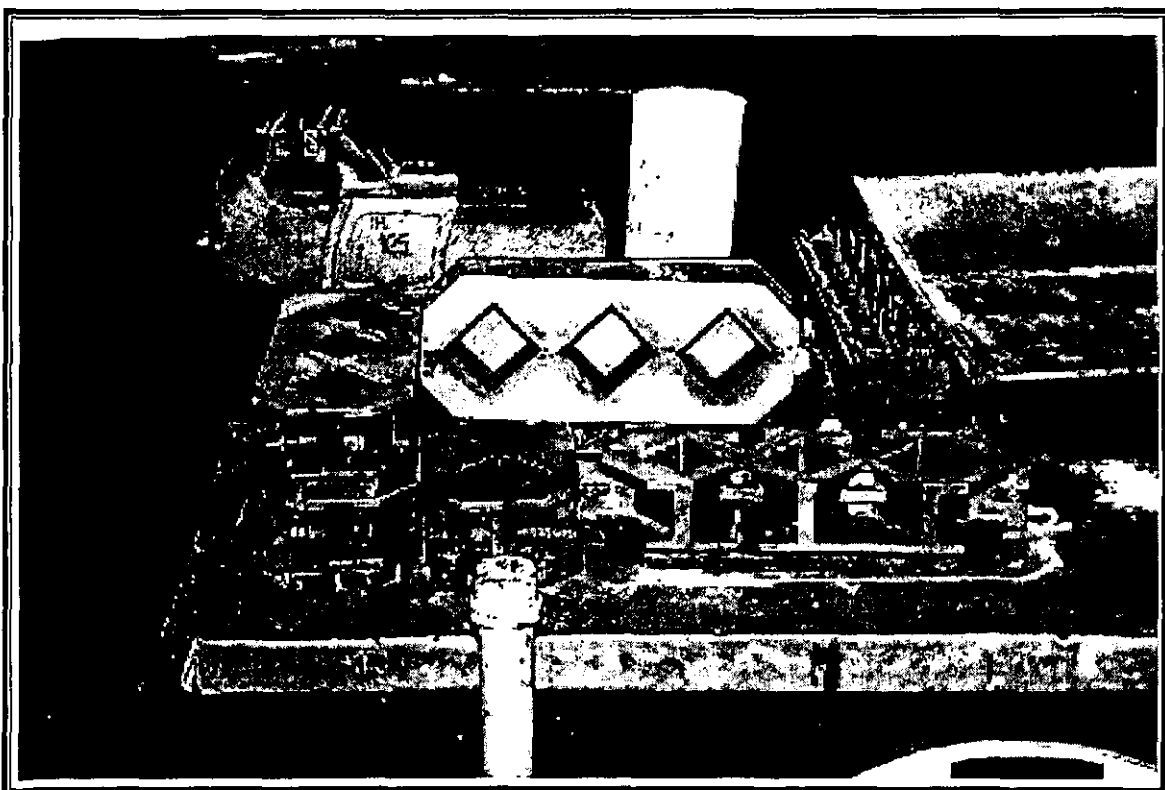


FOTO 2. Moldes para la preparación de probetas para pruebas de compresión (por triplicado)



FOTO 3. Probetas formuladas con polvo para pruebas de compresión

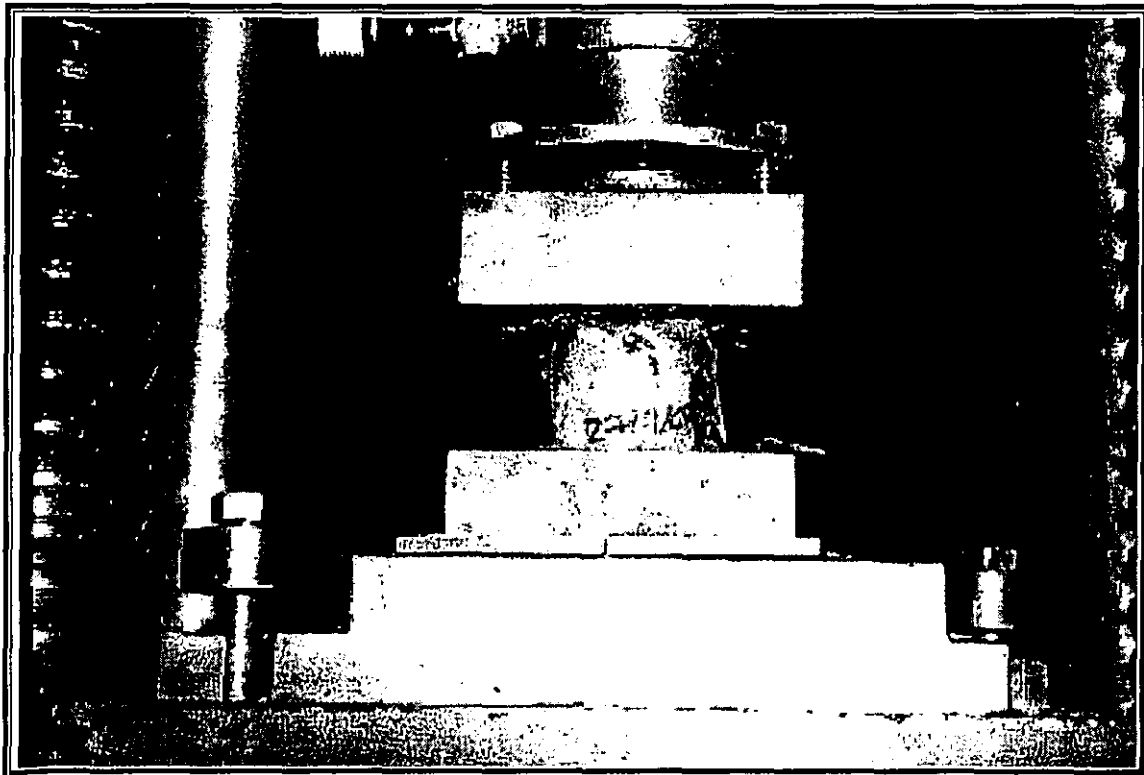


FOTO 4. Instante en el que falla el material durante la prueba de compresión



FOTO 5. Falla típica de un mortero comparada con la falla de un mortero formulado con polvo

A3.2 REVESTIMIENTOS



FOTO 6. Aplicaciones de revestimientos típicos [cemento + resina (estiren acrílica 2:1 con agua)] (a) cemento blanco, (b) cemento gris

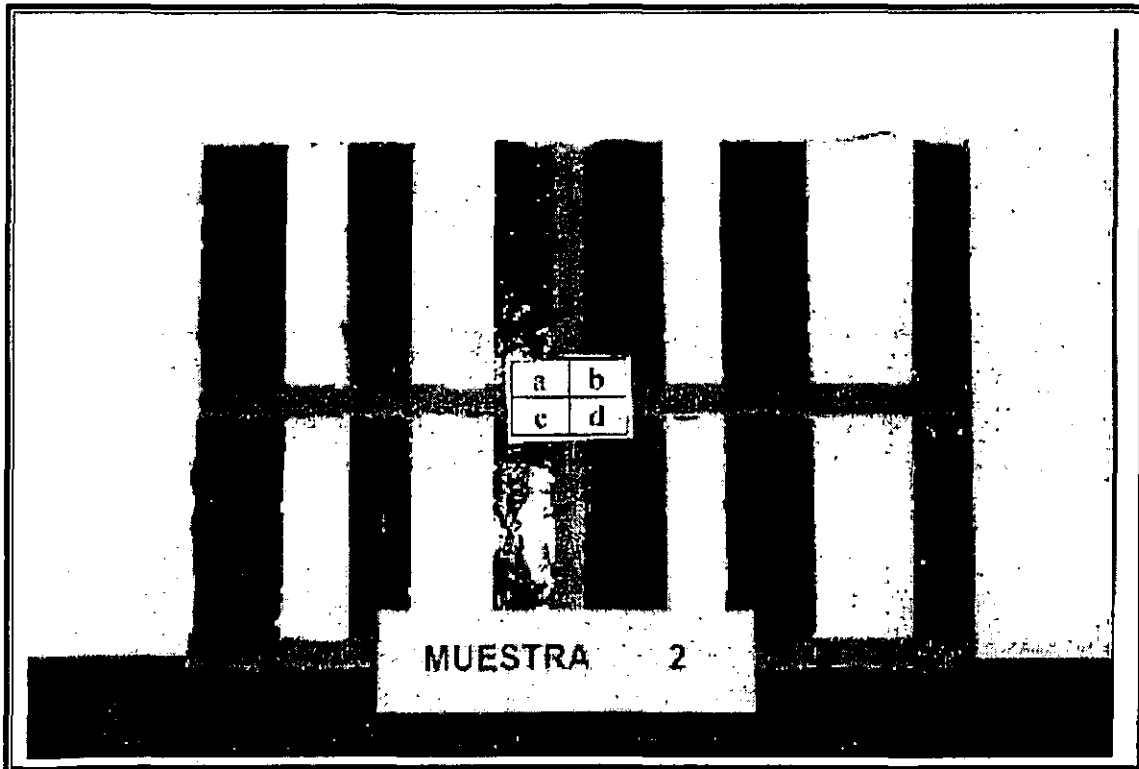


FOTO 7. Revestimientos formulados con polvos, cemento gris y resina (2:1)
a) polvo 100%, (b) 90% polvo + 10% cemento; (c) 80% polvo + 20% cemento; (d) 70% polvo + 30% cemento

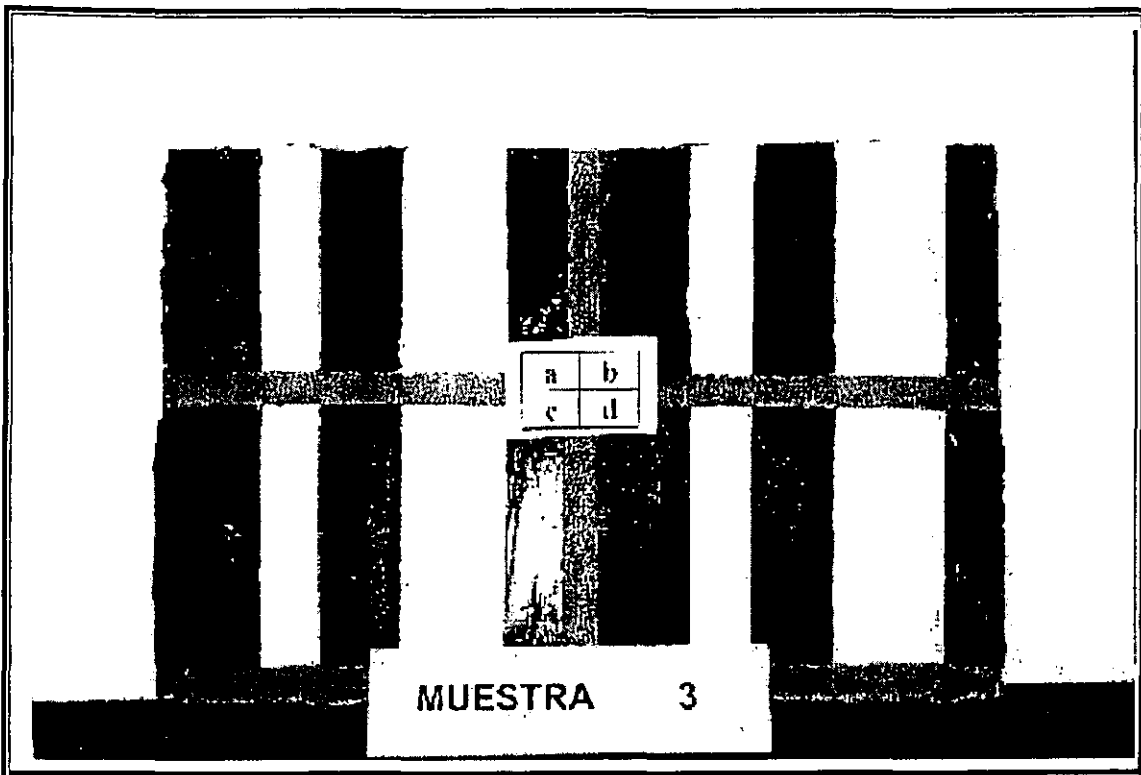


FOTO 8. Revestimientos formulados con polvos, cemento y resina (2:1)
 (a) 60% polvo + cemento gris (b) 50% polvo + 50% cemento gris, (c) 90%
 polvo + 10% cemento blanco; (d) 80% polvo + 20% cemento blanco

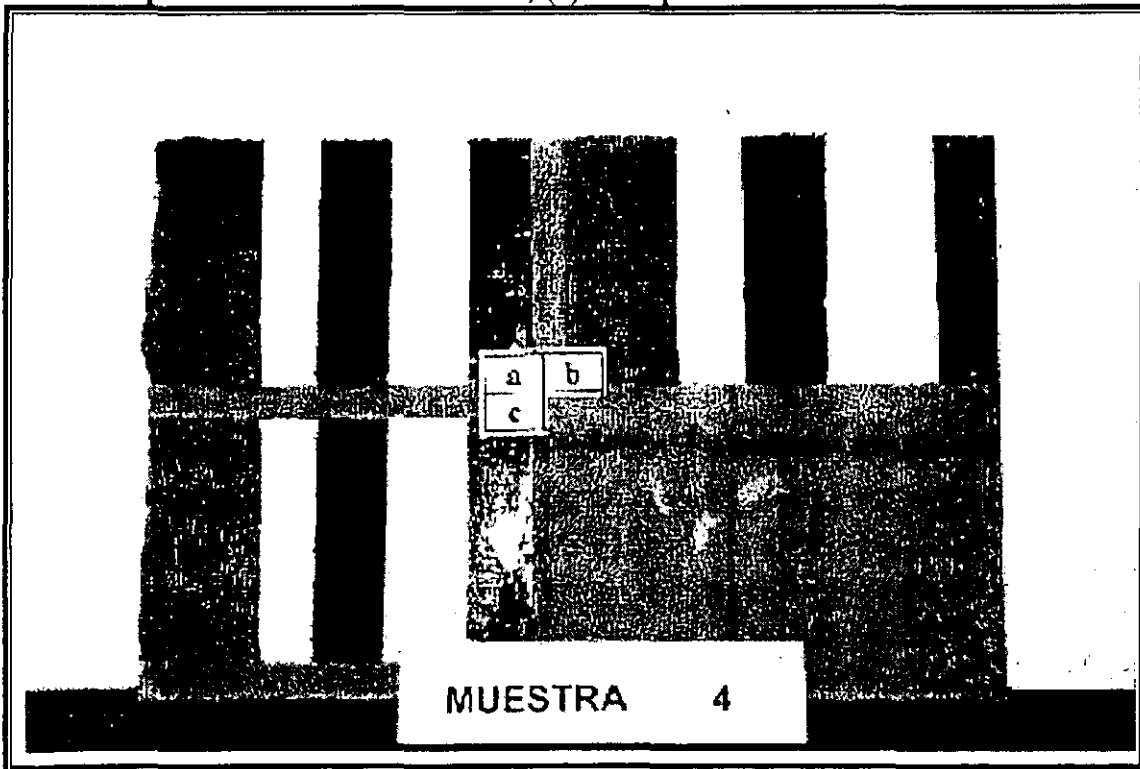


FOTO 9. Revestimientos formulados con polvos, cemento blanco y resina (2:1) (a)
 70% polvo + 30% cemento; (b) 60% polvo + 40% cemento, (c) 50% polvo
 + 50% cemento

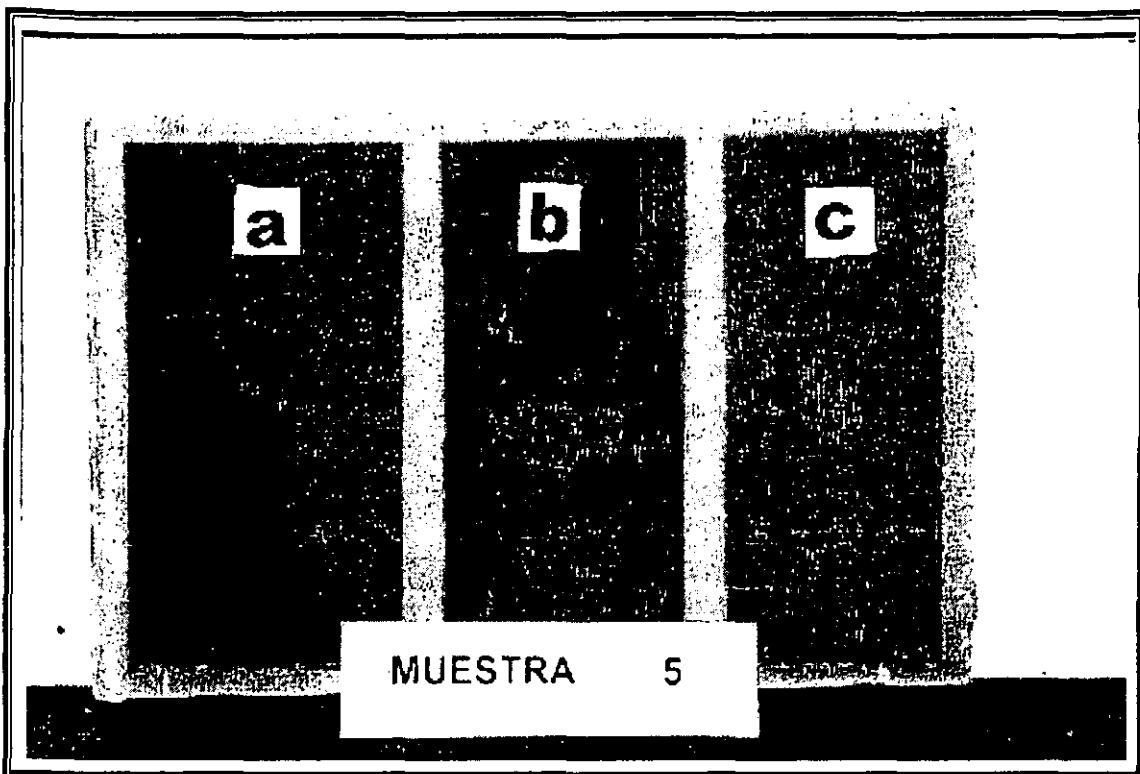


FOTO 10. Revestimientos formulados con polvos, cemento y resina (1:1, con agua)
(a) 100% polvo; (b) 50% polvo + 50% cemento gris; (c) 50% polvo + 50% cemento blanco

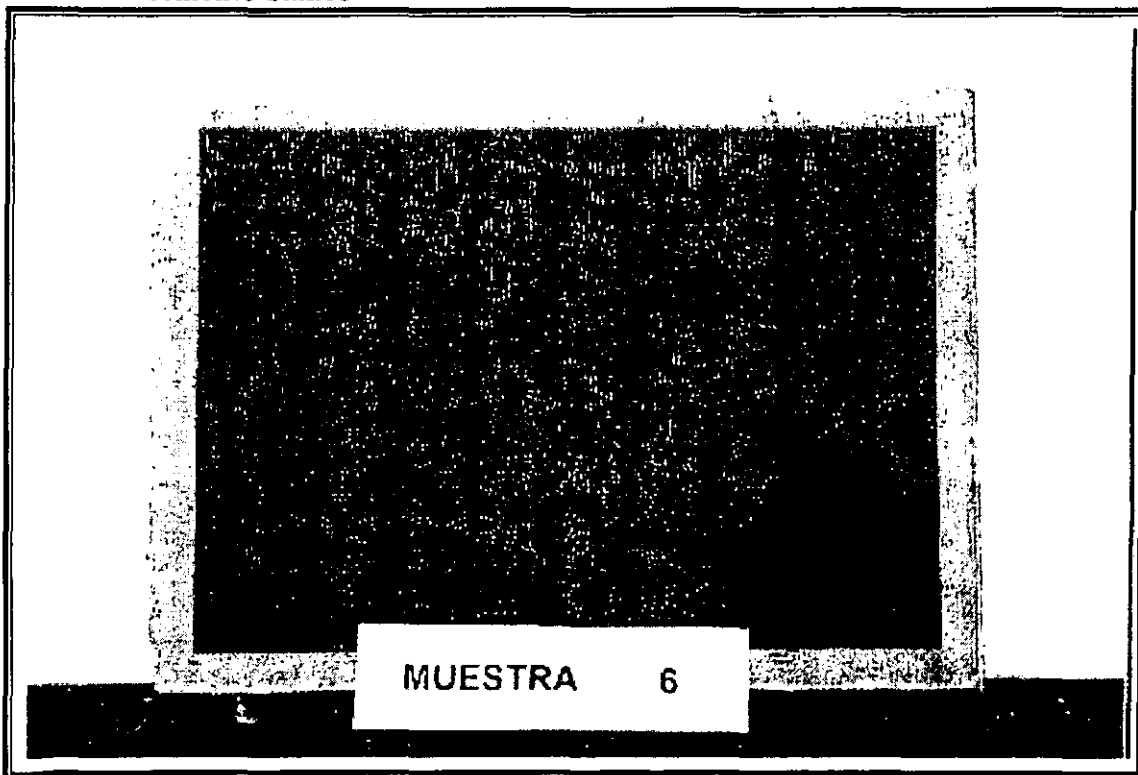


FOTO 11. Revestimiento tipo pintura aplicado con brocha formulado a base de polvo (100%) y resina (1:1, con agua)



FOTO 12. Acercamiento de la aplicación de un revestimiento tipo pintura aplicado con brocha formulado a base de polvo (100%) y resina (1:1, con agua)

A3.3 EMBOQUILLADOR

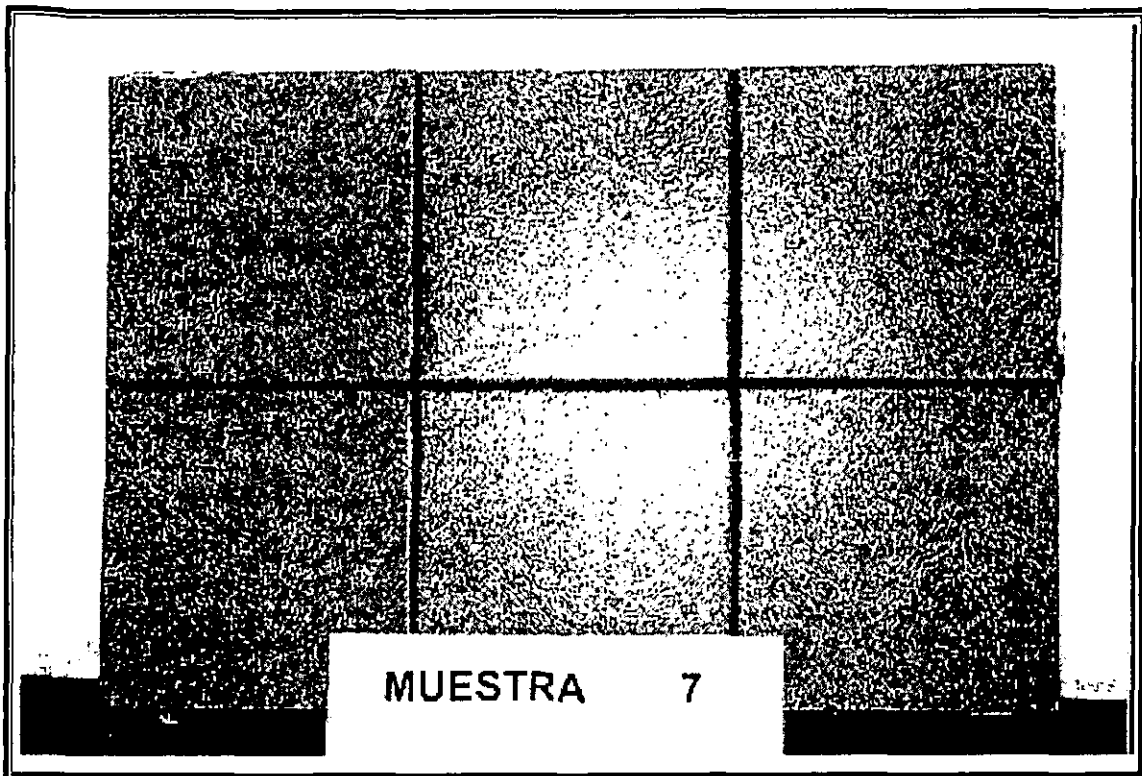


FOTO 13. Aplicación de un emboquillador comercial (gris)

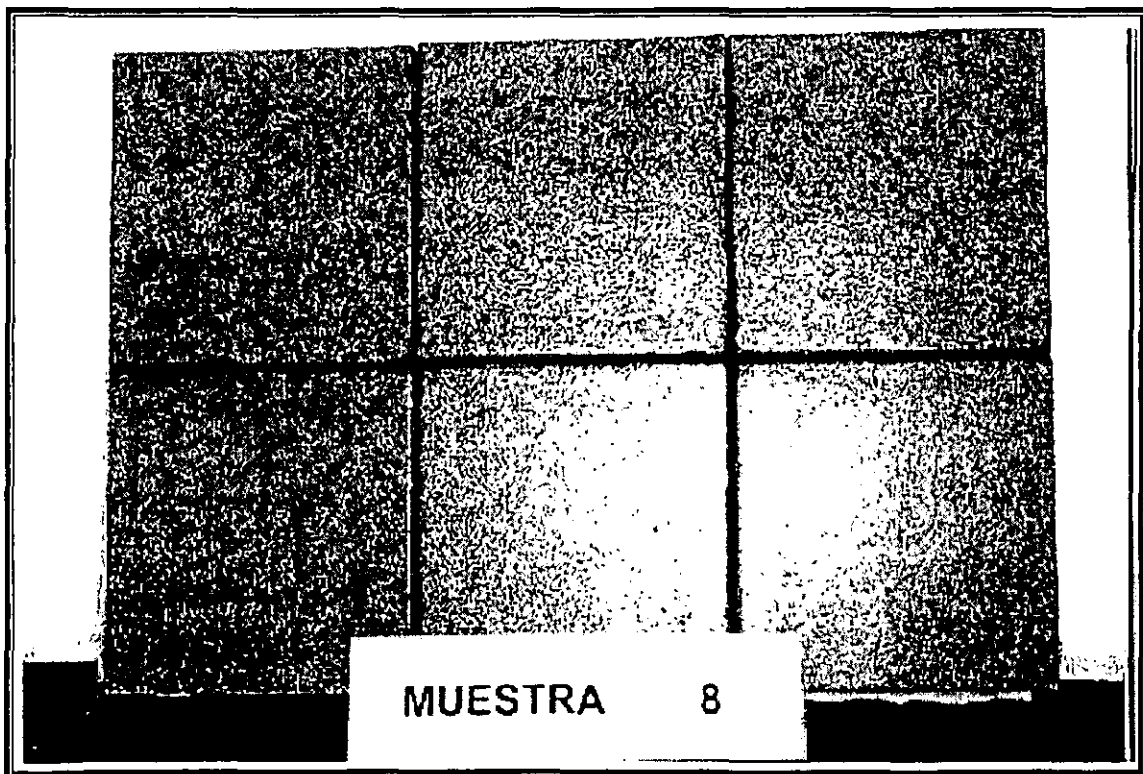


FOTO 14. Aplicación de un emboquillador formulado a base de polvo (69% polvo + 30% cemento gris + 1% aditivo Culminal)

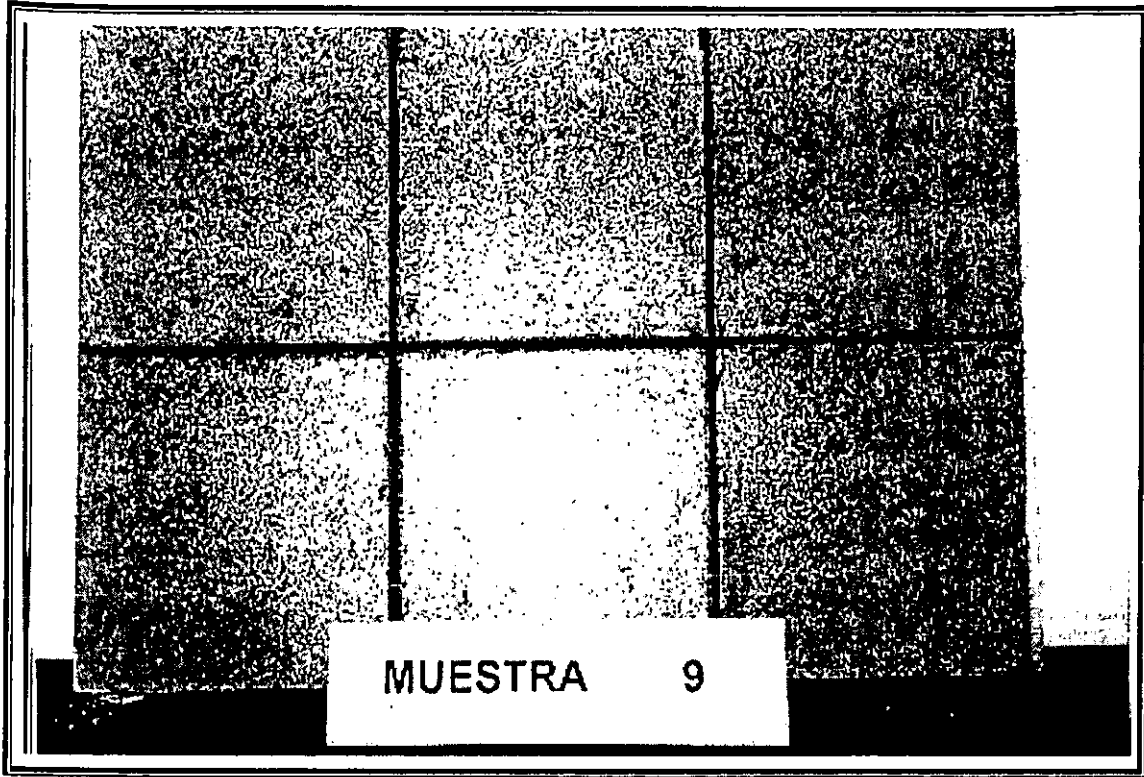


FOTO 15. Aplicación de un emboquillador formulado a base de polvo (39% polvo + 30% cemento gris + 30% cero fino + 1% aditivo Culminal)