



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLAS DE HIDALGO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**“SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE  
CEMENTOS HÍBRIDOS: ORGÁNICO-INORGÁNICO”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**OCTAVIO RICARDO LUNA ROMERO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. JOSE CARLOS RUBIO AVALOS**

**MORELIA, MICHOACAN, OCTUBRE DE 2006.**



## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres: **Delia Alicia Romero de la Fuente, Manuel Luna Valdespino.** Por el apoyo que me dieron a lo largo de toda mi vida.*

*A mis hermanos **Karla Ariana Luna Romero, Carlos Manuel Luna Romero.** Por ayudarme y guiarme en decisiones a lo largo de mi formación.*

*A mi asesor de tesis: **Dr. José Carlos Rubio Avalos,** por el apoyo que me brindo en este paso importante y final de mi carrera.*

*Al Laboratorio de Materiales: **Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán, M. en A. Wilfredo Martines Molina,** por el apoyo que me brindaron y por facilitarme las instalaciones de este plantel.*

*Al Proyecto de investigación **PROMEP de la Subsecretaría de Educación Superior “Síntesis y caracterización de concretos reforzados con fibras y polímeros”** 2005 – 2007. Otorgado al PTC 128.*

*Al Proyecto de investigación 12.11 “Síntesis y caracterización Físico-química de cementos híbridos: Orgánico – Inorgánico e Inorgánico – Inorgánico” aprobado por la coordinación de la investigación científica de la UMSNH., 2005 – 2008.*

*Al Centro de Ciencias de la Materia Condensada de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su colaboración en la caracterización microestructural.*

*Al Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del I. P. N. unidad Querétaro, por su colaboración en la caracterización microestructural.*

*A todos los demás que por su apoyo incondicional me han apoyado durante todo el trayecto, no solo de mi tesis, sino en mi formación hasta ahora.*



## ÍNDICE

<b>OBJETIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 1. ....</b>	<b>5</b>
INTRODUCCIÓN .....	5
<b>CAPÍTULO 2. ....</b>	<b>8</b>
“ESTADO DEL ARTE” .....	8
DIAGRAMAS DE FASE .....	8
Definiciones. ....	9
Fundamentos termodinámicos .....	16
Interpretación de los diagramas .....	17
Formas cristalinas .....	25
Clasificación de los materiales .....	31
Cementos.....	33
Materiales cerámicos .....	35
Tipos De Polímeros.....	41
<b>CAPÍTULO 3. ....</b>	<b>45</b>
“DISEÑO DEL DIAGRAMA DE FASES” .....	45



**CAPÍTULO 4. .... 51**

“ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL DIAGRAMA DE FASES  
TERNARIO SP-K-Pz2” ..... 51

**CAPÍTULO 5. .... 87**

“IDENTIFICACION O SELECCIÓN DE LOS PUNTOS CLAVE” ..... 88

**CAPÍTULO 6. .... 92**

“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS” ..... 92

**CAPÍTULO 7. .... 94**

REFERENCIAS..... 94

*Bibliografía* ..... 94

*Paginas de Internet consultadas* ..... 95



## OBJETIVO

Se pretende analizar un diagrama ternario, para de aquí a partir de sus distintas composiciones logremos tener mezclas que sean capaces de formar cerámicos y otros algunos recubrimientos.

Además se pretende ver si hay alguna región que sea capaz de conservar sus características a distintas temperaturas y/o condiciones de trabajo.

Partiendo de que se lograra localizar zonas en las cuales hay materiales cerámicos que no cambien sus condiciones se buscaría el utilizarlos como piezas en la industria de la construcción por mencionar algunas de sus posibles aplicaciones.

Y de una zona que funcione como la de recubrimientos se pueda aplicar tanto como impermeabilizante, y ver si estos fueran capaces de poder soportar algunas condiciones en ambientes más agresivos, como en sales, cloruros, ácidos, etc.

En una zona posiblemente intermedia entre estas dos zonas (cerámicos y recubrimientos) ver si se pudiera obtener alguna zona de ligantes o de adhesivos para unir concretos cerámicos y otros.



## RESUMEN

En este trabajo de investigación, se realizó el estudio de un diagrama ternario para estudiar las propiedades físicas, químicas, y mecánicas que nos puedan ayudar al desarrollo de nuevos materiales. Materiales tales como recubrimientos, monolitos, o mezclas. Comprender las reactividades de los distintos materiales en diferentes concentraciones.

El conocimiento de la reactividad de los tres componentes estudiados nos ayuda al diseño de nuevos productos y visualizar las aplicaciones de estos materiales en base a las propiedades obtenidas.

En este trabajo de investigación se puede observar las propiedades de las mezclas obtenidas. Esto servirá de base para futuros trabajos de investigación.



## Capítulo 1.

### **INTRODUCCIÓN**

Los materiales en estado sólido existen en muchas formas diferentes o fases. El número de tales fases puede ser grande incluso para sustancias puras, por ejemplo el hielo puede existir en varias fases sólidas y un metal tan importante como el hierro presenta hasta cuatro fases sólidas. En los sistemas que presentan más de una especie química el número de fases puede igualmente ser grande. Es también frecuente, aún en sistemas comerciales importantes, la disponibilidad de datos que cubren sólo una parte de los sistemas. En vista del hecho que las propiedades de los materiales dependen significativamente de la naturaleza, número, cantidad, y forma de las posibles fases que se presentan y pueden cambiarse por alteraciones en dichas cantidades, es vital, en el uso de materiales, conocer las condiciones bajo las cuales cualquier sistema dado puede existir en sus varias formas posibles.

A través de los años se ha acumulado gran cantidad de información de un gran número de sistemas; para registrar tal enorme cantidad de datos se acostumbra graficar el número y composición (e indirectamente las cantidades) de fases presentes como función de la temperatura, la presión y sobre todo la composición. Estas gráficas se llaman diagramas de fase, diagramas de





constitución o diagramas de equilibrio. Este último nombre se deriva del hecho de que tales diagramas permiten mostrar la mayoría de las fases estables que se encuentran bajo condiciones de equilibrio.

El término “condiciones de equilibrio” requiere cierta elaboración. Estrictamente hablando el estado de equilibrio de un sistema es aquel estado en el cual las propiedades del sistema no cambian con el tiempo, a menos que se ejerza una restricción. En este último sentido, restricción significa normalmente una alteración de la temperatura, la presión o la composición, pero puede también referirse a la aplicación de fuerzas mecánicas, eléctricas, magnéticas, etc. En la práctica, sin embargo, la definición de equilibrio se modifica teniendo en cuenta las velocidades relativas de los posibles procesos que puedan introducirse en un sistema por cambios en la temperatura, la composición o la presión. Frecuentemente un sistema es importante sólo para ciertos valores de presión, temperatura y composición; en tales casos las reacciones al interior de los sistemas pueden proceder a velocidades que son:

- a) tan lentas que producen cambios despreciables en las propiedades para períodos de tiempo lo suficientemente considerables.
- b) tan rápidas que llegan al equilibrio en menos tiempo que el que se puede registrar de manera práctica.
- c) una magnitud intermedia.



Otros acercamientos posibles son: a) estudios desde un punto de vista puramente químico, con lo cual se involucrarían algunos sistemas que no son de interés. b) una visión puramente matemática, haciendo uso de un lenguaje y simbolismos que no se manejan normalmente en ingeniería. c) estudio geométrico y/o aproximación fenomenológica a los diagramas de fase sin casi ninguna discusión termodinámica.



## Capítulo 2.

### **“ESTADO DEL ARTE”**

#### ***Diagramas de fase***

En un material, en términos de microestructura, una *fase* es una región que difiere en estructura y/o composición de otra región. *Diagramas de fases* son representaciones gráficas de las fases que están presentes en un sistema de materiales a varias temperaturas, presiones y composiciones. Como información importante que podemos obtener a partir de los diagramas de fase tenemos:

- a) Conocer que fases están presentes a diferentes composiciones y temperaturas bajo condiciones de enfriamiento lento (equilibrio).
- b) Averiguar la solubilidad, en el estado sólido y en el equilibrio, de un elemento (o compuesto) en otro.
- c) Determinar la temperatura a la cual una aleación enfriada bajo condiciones de equilibrio comienza a solidificar y la temperatura a la cual ocurre la solidificación.



- d) Conocer la temperatura a la cual varias fases comienzan a solidificarse.

## Definiciones.

La base de todo el trabajo sobre los diagramas de equilibrio es, por supuesto, la regla de fases de Willard Gibbs.

El diagrama, también conocido como diagrama de fase o diagrama de equilibrio es esencialmente una expresión gráfica de la regla de fases. La ecuación siguiente:

$$P + F = C + 2$$

*Donde:*

**C:** Número de componentes del sistema

**F:** Varianza del sistema (grados de libertad)

**L:** Número de componentes en el sistema

**SISTEMA:** *cualquier porción del universo material que pueda aislarse completamente y arbitrariamente del resto, por consideración de los cambios que puedan ocurrir en su interior y bajo condiciones variantes.*

*Los sistemas que existen dentro de otros sistemas se llaman subsistemas. En el sistema CaO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> los componentes, cal-alúmina, con sus puntos de mezcla*



congruentes forman sistemas unos con otros, por ejemplo, los sistemas  $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$  -  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . En el sistema ternario  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  las uniones binarias tales como  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  -  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  -  $2\text{SiO}_2$  son verdaderos sistemas binarios y los tres componentes se mezclan congruentemente,  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{SiO}_2$  y  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  cuya línea de frontera común se encuentra en un eutéctico constituye un verdadero sistema ternario.

Los subsistemas en los cuales no se forman componentes se llaman sistemas mínimos.

**FASE:** cualquier porción del sistema físicamente homogénea consigo misma y separada por una superficie mecánicamente separable de otras porciones.

**COMPONENTES:** el menor número de variables individuales independientes (vapor, líquido o sólido) por medio de los cuales la composición del sistema puede expresarse cuantitativamente.

**VARIANZA DEL SISTEMA (GRADOS DE LIBERTAD):** es la aplicación de la regla de fase al tipo de sistemas bajo consideración; la variable independiente condiciona cuales factores se consideran; usualmente son la temperatura, la presión y la concentración. El número de estas variables, las cuales se fijan de manera arbitraria para definir completamente el sistema, se llama varianza o grados de libertad del sistema.



**EQUILIBRIO:** se dice que el equilibrio existe en cualquier sistema cuando las fases del mismo no conducen a ningún cambio en las propiedades con el paso del tiempo y permite que las fases tengan las mismas propiedades cuando se tienen las mismas condiciones con respecto a las variantes que se han alcanzado por procedimientos diferentes.

**EQUILIBRIO HETEROGÉNEO:** un sistema es heterogéneo y está en equilibrio heterogéneo cuando consta de dos o más porciones homogéneas (fases) en equilibrio entre ellas.

**EQUILIBRIO HOMOGÉNEO:** un sistema es homogéneo y está en equilibrio homogéneo cuando consta de una fase y todos los procesos y/o reacciones que ocurren al interior están en equilibrio reversible.

**PUNTO DE FUSIÓN CONGRUENTE:** la temperatura a la cual un sólido cambia a un líquido a la presión especificada, en la cual la fase líquida tiene la misma composición que la fase sólida.

**PUNTO DE FUSIÓN INCONGRUENTE:** la temperatura a la cual una fase sólida cambia a una segunda fase sólida más un líquido, ambos de diferente composición que el sólido original.



**SOLUCIÓN SÓLIDA:** es una fase cristalina simple la cual puede variar en composición con límites finitos sin tener la apariencia de una fase adicional.

**POLIMORFISMO:** la propiedad que poseen algunas sustancias de existir en más de una forma cristalina, todas las formas con igual composición química, pero con diferente estructura cristalina y propiedades físicas e idéntico comportamiento en las fases líquida o gaseosa, en la fusión o evaporación.

**PUNTO DE INVERSIÓN:** la temperatura a la cual una forma polimórfica de una sustancia cambia a otra bajo condiciones invariantes.

**METAESTABLE:** se dice que una forma polimórfica es metaestable cuando existe en equilibrio con vapor en el rango de temperaturas en el cual otra forma polimórfica de menor presión de vapor está en equilibrio con el mismo vapor. Metaestabilidad no debe confundirse con inestabilidad la cual infiere que una forma polimórfica puede existir a una temperatura por encima o por debajo de su temperatura de transición debido a la de la inversión.

**FORMAS ENANTIOTRÓPICAS:** formas polimórficas que poseen un punto de inversión en el cual están en equilibrio, esto es, que son interconvertibles. Por ejemplo:  $\alpha$  y  $\beta$   $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  y  $\alpha$  y  $\beta$  cuarzo. En tales casos, las curvas de presión de vapor se interceptan por debajo del punto de fusión de la forma polimórfica de más alta temperatura.



**FORMAS MONOTRÓPICAS:** en ciertas instancias de polimorfismo, las curvas de presión de vapor de dos formas no se encuentran por debajo del punto de fusión, por lo tanto carecen de punto de inversión estable y la forma que presenta una presión de vapor más alta es metaestable con respecto a la otra en todas las temperaturas por debajo del punto de fusión. Tales formas se llaman monotrópicas y no son interconvertibles.

**ESTUDIO ISOTÉRMICO:** el método de considerar los cambios que ocurren en un sistema en el cual la variable temperatura se mantiene constante y la composición (o la presión) se varía.

**ESTUDIO ISOPLÉTICO:** el método de considerar los cambios que ocurren en un sistema en el cual la variable composición se mantiene constante y la temperatura varía (una isopleta es una línea de composición constante).

**EUTÉCTICO:** un eutéctico es un punto invariante (temperatura) es el sistema en el cual la fase reacciona, una remoción del calor provoca una desaparición de la fase líquida sin cambio de temperatura. La composición eutéctica es aquella combinación de componentes de un sistema mínimo que tiene el más bajo punto de fusión que cualquier otra relación de componentes y está en la intersección de dos curvas de solubilidad en un sistema binario y de tres superficies de solubilidad en un sistema ternario.





**LÍQUIDUS:** *el límite de puntos invariantes temperatura-composición que representan la solubilidad máxima (saturación) de un componente en la fase líquida. En un sistema binario es una línea y en un sistema ternario es una superficie, usualmente curva.*

*En un estudio isoplético a la temperatura superior a la de líquidus, el sistema es completamente líquido y en la intersección de líquidus y la isopleta, el líquido está en equilibrio con una fase cristalina.*

**SÓLIDUS:** *el límite de puntos invariantes temperatura-composición en un sistema, a temperatura por debajo de la cual sólido y líquido están en equilibrio y por debajo de la cual el sistema es completamente sólido. En un sistema binario sin soluciones sólidas es una línea recta y con soluciones sólidas es una línea curvada o una combinación de curvas y líneas rectas. De otro lado en un sistema ternario el sólido es un plano o una superficie curvada respectivamente.*

**FASE PRIMARIA:** *en un estudio isoplético la primera fase cristalina que aparece en el enfriamiento a una composición desde el estado líquido (esto es la intersección entre la isopleta y la línea líquidus).*

**LÍNEA DE FRONTERA:** *la intersección de las superficies líquidus adyacentes en un diagrama de fases ternario. El área incluida por una serie de líneas de frontera adyacentes se conoce como área de fase primaria.*



**LÍNEAS DE AMARRE:** una línea dibujada desde un punto arbitrario en el líquido al punto en el sólido correspondiente a la composición de la fase sólida que existe en equilibrio con el líquido a la temperatura del punto arbitrario. Para una temperatura particular, es la línea recta que conecta la composición de dos fases en equilibrio una con otra.

**UNIONES:** la región de un diagrama de fases que representa todas las mezclas que pueden formarse de un número dado de composiciones seleccionadas. Una unión puede ser binaria (una línea recta), ternaria (un plano), etc., dependiendo del número de composiciones seleccionadas, las cuales no necesariamente son compuestas. Debe notarse, sin embargo, que ninguna composición seleccionada puede formarse a partir de las otras.

**LÍNEA ALKEMADA:** una unión en un diagrama de fases ternario que conecta los puntos de composición de dos fases primarias cuyas áreas de fase son adyacentes y la intersección de las cuales forman una curva de frontera.

**TRIÁNGULO DE COMPOSICIÓN:** en sistemas ternarios los tres puntos que conectan las uniones de composición de tres fases primarias cuyas superficies líquidas se encuentran en un punto.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> PERO SANZ, José A. "Ciencia e Ingeniería de Materiales. Metalurgia física: estructura y propiedades". Ed. Dossat. Madrid, 1993.



## **Fundamentos termodinámicos**

La termodinámica es una disciplina científica que estudia las relaciones matemáticas cuantitativas entre las propiedades mensurables de los sistemas, dando cuenta de leyes y principios que están involucrados en las transformaciones energéticas de la materia. Las relaciones están expresadas en términos de cantidades, las cuales pueden designarse como variables de estado y propiedades de estado.

En un sentido operativo las variables de estado son los potenciales que pueden manipularse de manera razonable para fijar o alterar la condición o estado del sistema; esto es, aquellas propiedades a través de las cuales pueden ejercerse restricciones al sistema. Las variables de estado más frecuentes son la temperatura, la presión y la composición; en situaciones especiales pueden ser importantes otras variables como los potenciales mecánico, eléctrico, magnético, gravitacional y superficial. En el tratamiento de los diagramas de fase, sólo la temperatura, la presión y la composición se consideran fundamentales, por lo tanto es de ellos que se trata aquí.

La físico-química, donde la termodinámica tiene su origen, ha tenido en cuenta tradicionalmente líquidos y gases. La experiencia ha mostrado que cuando se fija el estado del sistema regulando la temperatura, la presión y la composición, éste queda completamente especificado, no importando la historia pasada del sistema. Las propiedades de tales sustancias se conocen como propiedades de



estado ya que estas propiedades son las únicas funciones de estado que son también funciones de valor singular y por lo tanto pueden manejarse cuantitativamente en las expresiones matemáticas de la termodinámica.

Cuando se trabaja con materiales, los cuales pueden ser sólidos, es común encontrar que las propiedades dependen de la historia pasada tanto como de la temperatura, la presión y la composición. Esta situación se debe a dos características de los sólidos, su capacidad para resistir esfuerzos cortantes y su inercia relativa a reaccionar, comparados con los gases y líquidos. Esta característica de los sólidos es la responsable de muchas de sus propiedades y por lo tanto el estudio de los diagramas de equilibrio debe tener en cuenta tales aspectos ya que son limitaciones al aplicar las ecuaciones termodinámicas.<sup>2</sup>

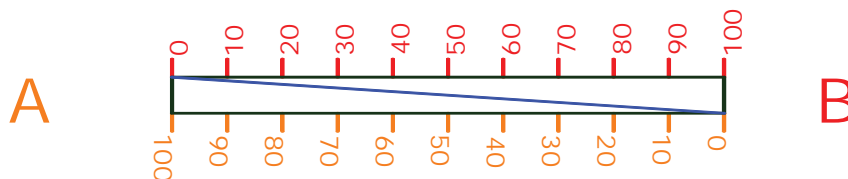
## **Interpretación de los diagramas**

### **SISTEMAS DE DOS COMPONENTES (BINARIOS).**

Los sistemas binarios son aquellos en los cuales existen dos compuestos, por lo general puede ser uno sólido y el otro líquido, esto si se trabaja a temperatura ambiente, o dos componentes sólidos, si se trabajan con estos a distintas temperaturas.

---

<sup>2</sup> <http://www.cabieta.uchile.cl/revista/23/articulos/pdf/edu1.pdf>



*Para la interpretación de los diagramas ternarios se colocan en los extremos de estos el 100% de cada una de las sustancias que lo componen, y a medida que uno disminuye el otro complementa el resto para poder completar el 100%.*

Algunos tipos de sistemas binarios son:

Sistemas de aleaciones isomorfas binarias. Son mezclas o aleaciones de dos sustancias metálicas. En algunos sistemas binarios metálicos, los dos componentes son completamente solubles, tanto en estado sólido como líquido. En estos casos existe un unicote tipo de estructuras cristalinas para todas las composiciones de los componentes, y por lo tanto se llaman **sistemas isomorfos**.

Sistemas de aleaciones peritecticas binarias. Esta reacción se presenta comúnmente entre los mas complicados de los diagramas de fase en equilibrio, particularmente si los puntos de fusión son completamente diferentes. En este tipo de reacción una fase líquida reacciona con una fase sólida para formar una fase sólida y diferente.



Sistemas monotecticos binarios. Es aquella en la cual una fase líquida se transforma en una fase sólida y en otra líquida.

## **SISTEMAS DE TRES COMPONENTES (TERNARIOS).**

Las composiciones de los diagramas ternarios generalmente se construye con la utilización de un triángulo equilátero como base.

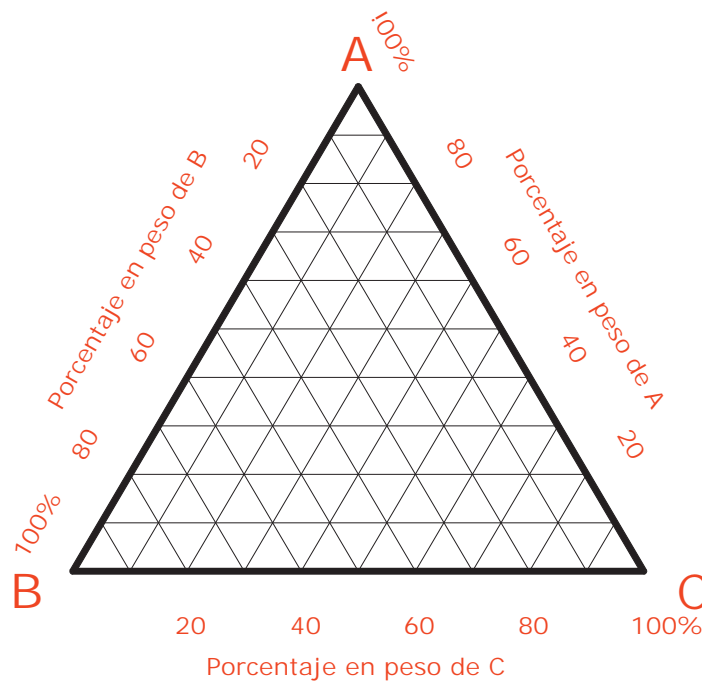
Existen cuatro variables independientes en un sistema ternario ellos son: presión, temperatura y dos concentraciones variables, ya que una solución ternaria requiere establecer su composición con respecto a dos de los componentes antes de fijar su composición total. Cuando coexisten cinco fases (punto quíntuple) se produce un sistema invariante; cuatro fases darán un sistema univariante; tres un bivariante etc. Representar gráficamente un sistema ternario es una tarea compleja. Pero, sin embargo, si la presión de vapor es tan pequeña que pueda descartarse el sistema ternario puede tratarse como un sistema condensado, como es el caso de los sistemas binarios y de nuevo la regla de fases puede expresarse como:

$$P + F = C + I$$

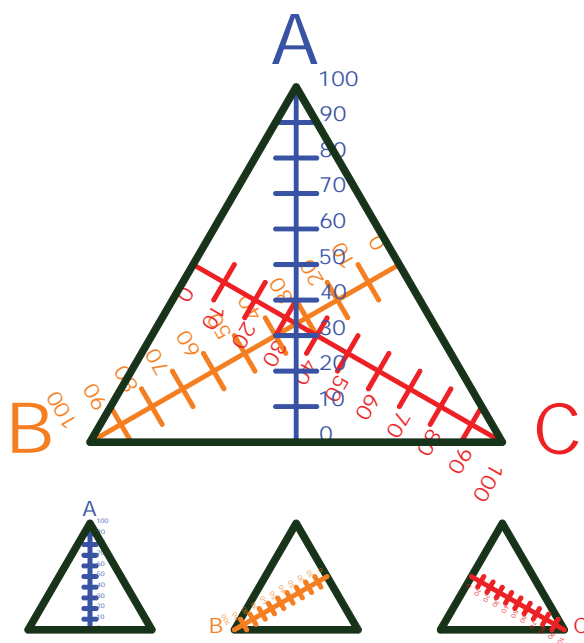
Las composiciones pueden representarse en coordenadas triangulares utilizando el método de Roozeboom (o de Gibbs modificado), tal como se



representa en la figura siguiente, allí cada lado del triángulo equilátero se divide en cien partes y cada diez divisiones se interceptan líneas paralelas de cada una de los otros lados.



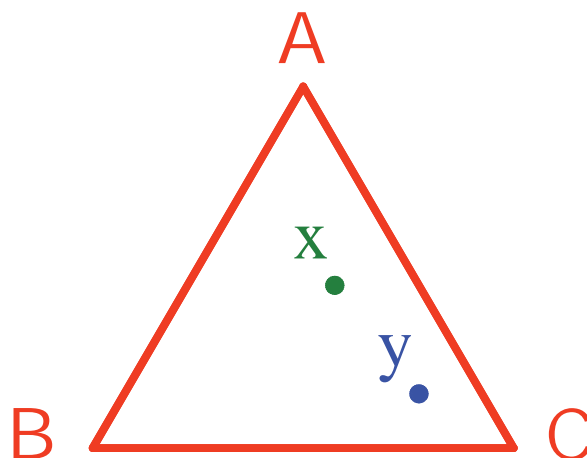
*Diagrama ternario. Es donde existen sustancia A, B y C. los cuales se colocan en los vértices de cada triangulo para su análisis.*



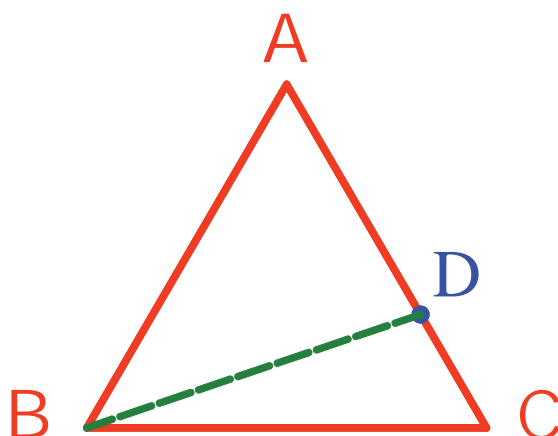
*La interpretación de los componentes de los diagramas ternarios se hace mediante la división de los diagramas indicando en el vértice de cada diagrama el 100% de las sustancias y en el extremo opuesto 0% de la misma sustancia.*

Un punto de uno de los vértices c, por ejemplo, está compuesto totalmente por el componente C. Un punto sobre la línea AB está compuesto enteramente por los componentes A y B sin C; la distancia relativa de un punto, tal como X a cada una de los tres vértices puede expresarse en porcentaje y por lo tanto puede representarse una composición porcentual de una mezcla ternaria o solución en términos de los componentes A, B, C. El punto x por ejemplo representa una composición de 45% A, 20%B y 35%C; mientras que y representa 15% A, 15% B y 70% C.





Un diagrama de composición triangular tiene también la ventaja que una serie de adiciones de un tercer componente a la mezcla, para cualquier relación de los otros dos componentes, puede representarse por una línea recta desde el vértice del tercer componente, por ejemplo, la adición del componente B a la mezcla de 33% A y 67% C (punto D) caerá siempre sobre la línea DB.



La temperatura puede representarse por líneas rectas perpendiculares al plano del triángulo de composición y por lo tanto no pueden mostrarse directamente en una superficie bidimensional aún así, la temperatura de una superficie térmica (usualmente la superficie líquidus) puede indicarse en intervalos de temperatura uniforme usando isotermas como se hace con las curvas de nivel en los mapas topográficos.

*La superficie líquidus es entonces, una serie de superficies curvadas interceptadas, que representan los campos de las fases primarias de los componentes del sistema. El campo de una fase primaria de un compuesto ternario que funde congruentemente es una superficie en forma de domo y la elevación más alta, coincide con la temperatura de fusión del compuesto.*



*Equilibrio de dos fases: Si en un sistema ternario hay solo dos fases en equilibrio el número de grado de libertad es dos; eso quiere decir que fijada la temperatura, resultan indeterminadas las composiciones de la fase sólida o bien de la fase líquida.*

*Equilibrio de tres fases: si en un sistema ternario hay tres fases en equilibrio líquido, sólido, sólido, las dos reacciones posibles durante la solidificación son:*

*Líquido  $\Leftrightarrow \alpha + \beta$  (reacción eutéctica binaria)*

*Líquido +  $\beta \Leftrightarrow \alpha$  (reacción peritética binaria)*

*El número de grados de libertad en estos casos es uno por consiguiente la reacción eutéctica binaria (o peritética binaria) no se realiza a temperatura constante, por lo tanto puede variar la temperatura sin que se rompa el equilibrio.*

*A cada temperatura T1 de dicho intervalo, están completamente definidas las composiciones del sólido y del líquido.*

*En la solidificación de no equilibrio puede aparecer segregación menor, no sólo en los constituyentes proeutéticos, sino también en los eutécticos y peritéticos binarios.*



*Equilibrios de cuatro fases: Pueden presentarse en la solidificación cuando se realiza una de las reacciones siguientes entre el líquido y las fases  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$*

*Líquido  $\Leftrightarrow \alpha + \beta + \gamma$  (reacción eutéctica ternaria)*

*Líquido +  $\beta \Leftrightarrow \gamma + \delta$  (reacción peritética ternaria de segunda clase)*

*Líquido +  $\alpha + \beta + \gamma$  (reacción peritética ternaria de tercer clase)*

*Estas reacciones son invariantes ( $L=0$ ) y, por tanto, se realizan a temperatura constante.<sup>3</sup>*

## **Formas cristalinas**

*“Aunque se utiliza habitualmente el término "forma" para designar el aspecto externo de un cristal, lo apropiado es designar la forma externa (generalmente mal formada y defectuosa) con la palabra "hábito", y utilizar "forma" como un grupo ideal de caras cristalinas todas las cuales tienen la misma relación con los elementos de simetría y exhiben las mismas posibilidades físicas y químicas.*

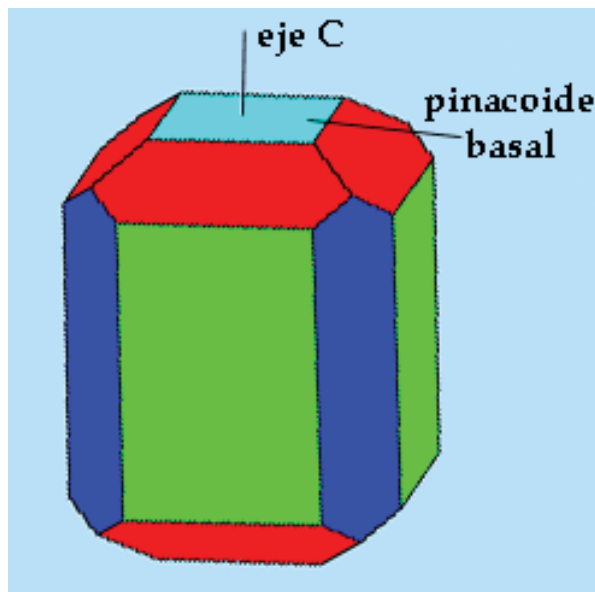
*De esta manera, las caras se agrupan según conjuntos equivalentes por simetría; y estos conjuntos se denominan formas cristalinas. Como para constituir una forma cristalina únicamente necesitamos caras equivalentes por*

---

<sup>3</sup> GORDON, Paul. “Principles of phase diagrams in materials systems”. McGraw Hill. New York, 1968. 232 p.



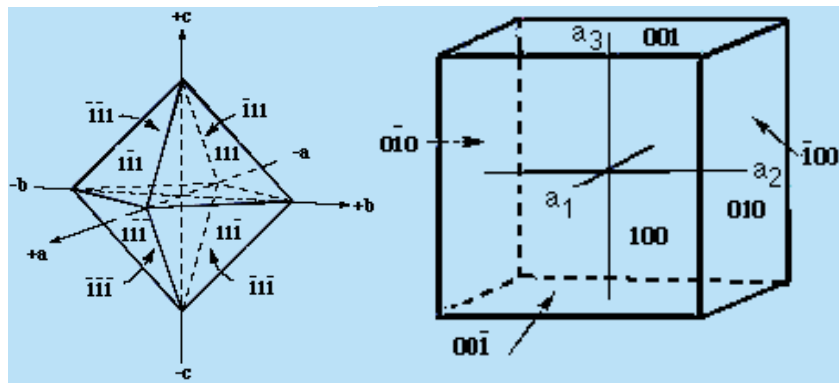
*simetría, las formas pueden ser cerradas o abiertas, según limiten un espacio cristalino o no.”<sup>4</sup>*



La forma abierta sería el pinacoide, el cual, como vemos en la imagen se combina con otros tipos de formas cristalinas.

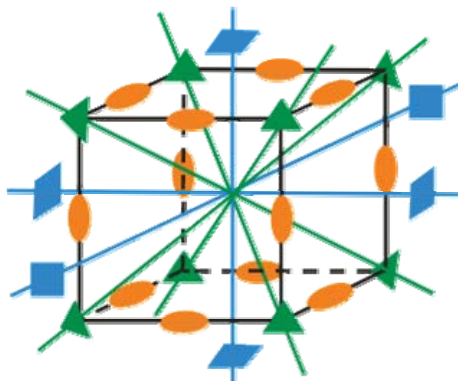
---

<sup>4</sup> [http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo\\_formas.htm](http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo_formas.htm)



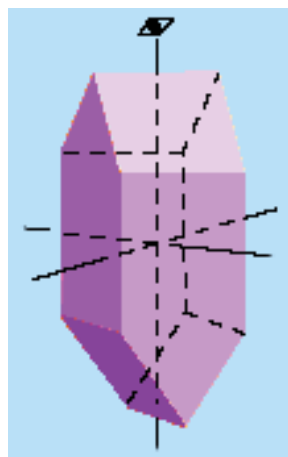
*Ejemplo de formas cerradas están el octaedro y el cubo.*

Ejes de simetría o de rotación: Girando alrededor de ellos, la cara cristalina se repite un número determinado de veces según el orden del eje.

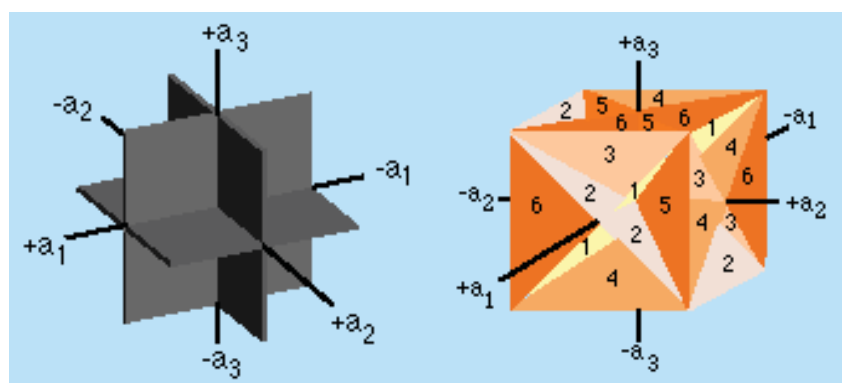


*Ejes de simetría de un hexaedro o cubo*

“Ejes de rotoinversión: Girando e invirtiendo alrededor de ellos, la cara cristalina se repite un número determinado de veces según el orden del eje.



*Planos de simetría: ambos lados del plano aparecen idénticas caras cristalinas.” 5*



*Planos de simetría de un hexaedro o cubo*

---

5 [http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo\\_formas.htm](http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo_formas.htm)



## CRISTALIZACIÓN EN LOS SISTEMAS TERNARIOS QUE NO CONTIENEN SOLUCIONES SÓLIDAS:

Cuando se enfría un líquido, la primera fase que aparece es la fase primaria para aquella parte del sistema en la cual se representa la composición del fundido.

La curva de cristalización sigue la frontera más cercana según la longitud de la línea recta que conecta la composición del líquido original con la fase primaria de ese campo.

La composición del líquido en los campos primarios está representada por puntos en la curva de cristalización. Esta curva es la intersección de un plano (perpendicular a la base del triángulo y que contiene las composiciones del fundido original y la fase primaria) con la superficie líquidus.

En la línea de frontera aparece una nueva fase, la cual es la fase primaria del campo adyacente. Las dos fases se separan juntas a lo largo de esta frontera, conforme disminuye la temperatura.

Podrían aparecer dos condiciones que alterarían la cristalización a lo largo de la frontera. En un caso la fase primaria se incrementará, como en el caso donde la tangente a la curva de frontera intercepta la línea que conecta las composiciones de las dos fases que se separan; o puede ser que se disminuya (siendo reabsorbida) si esta tangente intercepta la prolongación de esta línea. En el otro caso la línea de





cristalización saldrá de la curva de frontera cuando la primera fase se ha reabsorbido completamente, dejando solamente la segunda fase sólida. Esto puede inferirse de un estudio de composición media del sólido que se separa entre puntos sucesivos de la curva de cristalización.

La curva de cristalización siempre termina en un punto invariante, el cual representa el equilibrio de un líquido con tres fases sólidas de los tres componentes del triángulo de composición en el cual se estudió el líquido original.

La composición media del sólido que está cristalizando en cualquier punto en una línea de frontera se obtiene por la intersección de la tangente, en ese punto, con la línea que une la composición de las dos fases sólidas que están cristalizando en el punto dado.

La composición media del sólido total que ha cristalizado en cualquier punto de la curva de cristalización, se encuentra extendiendo la línea que conecta el punto dado con la composición del líquido original, conectando las composiciones de las dos fases que se han separado.

La composición media del sólido que se ha separado entre dos puntos en una frontera, se encuentra en la intersección de una línea que pasa por estos dos puntos, con la línea que conecta las composiciones de las dos fases sólidas que se separan a lo largo de esta frontera.



## **DIAGRAMAS TERNARIOS NO METÁLICOS. CASOS PARTICULARES**

Para conocer la naturaleza y el comportamiento de algunos materiales no metálicos - vidrios, escorias, cementos, etc.- se hace necesario el empleo de diagramas ternarios. Su utilidad apunta más al conocimiento de las propiedades de estos materiales cerámicos a temperaturas elevadas, que a la deducción de una estructura micrográfica resultado de la solidificación.

Muchos de estos materiales se obtienen por técnicas de sinterizado a temperaturas en que los constituyentes no llegan a alcanzar el estado líquido. Interesa, por ejemplo, conocer la temperatura a la que una mezcla sólida de composición determinada empezaría a fundir; o bien la cantidad de fundente CaO que es necesario adicionar a una ganga ácida de mineral para lograr que funda la ganga dando una escoria de temperatura de solidificación lo más baja posible.

### **Clasificación de los materiales**

*Los materiales se clasifican generalmente en cinco grupos: metales, cerámicos, polímeros, semiconductores y materiales compuestos. Los materiales de cada uno de estos grupos poseen estructuras y propiedades distintas.*

**Metales.** *Tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia, rigidez, ductilidad. Son particularmente útiles en*



*aplicaciones estructurales o de carga. Las aleaciones (combinaciones de metales) conceden alguna propiedad particularmente deseable en mayor proporción o permiten una mejor combinación de propiedades.*

***Cerámicos.*** *Tienen baja conductividad eléctrica y térmica y son usados a menudo como aislantes. Son fuertes y duros, aunque frágiles y quebradizos. Nuevas técnicas de procesos consiguen que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que puedan ser utilizados en aplicaciones de carga. Dentro de este grupo de materiales se encuentran: el ladrillo, el vidrio, la porcelana, los refractarios y los abrasivos.*

***Polímeros.*** *Son grandes estructuras moleculares creadas a partir de moléculas orgánicas. Tienen baja conductividad eléctrica y térmica, reducida resistencia y debe evitarse su uso a temperaturas elevadas. Los polímeros termoplásticos, en los que las cadenas moleculares no están conectadas de manera rígida, tienen buena ductibilidad y conformabilidad; en cambio, los polímeros termoestables son más resistentes, a pesar de que sus cadenas moleculares fuertemente enlazadas los hacen más frágiles. Tienen múltiples aplicaciones, entre ellas en dispositivos electrónicos.*

***Semiconductores.*** *Su conductividad eléctrica puede controlarse para su uso en dispositivos electrónicos. Son muy frágiles.*



***Materiales compuestos.*** Como su nombre lo indica, están formados a partir de dos o más materiales de distinto grupos, produciendo propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales de forma individual.<sup>6</sup>

## **Cementos.**

El cemento Pórtland (así llamado por su coloración gris, similar a las rocas de la localidad de Pórtland) es un material básico. Sus materias primas son caliza, y arcilla sistema  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ). Por sinterización en horno tubular a unos  $1500\text{ }^{\circ}C$  se obtiene un clínker de cemento -granulado oscuro de diámetros variables desde unos mm a unos cm que, enfriado rápidamente, molido, y adicionando yeso para evitar fraguados prematuros, es la materia prima del cemento.

Cuando al cemento se le adiciona agua, forma una pasta que endurece (fraguado “reacción química”), debido a que sus componentes reaccionan con el agua formando, entre otros, el disilicato cálcico hidratado, aluminato tetracálcico hidratado, etcétera.

---

<sup>6</sup> <http://www.mailxmail.com/curso/excelencia/cienciamateriales/capitulo6.htm>



### **Escorias en la elaboración de aceros.**

Una de las finalidades de la escoria es captar por fusión la ganga del mineral. Puesto que el material de Fe tiene abundante ganga ácida ( $\text{SiO}_2$ , etc.), las escorias deben ser básicas. Sin embargo si se emplea demasiada basicidad para neutralizar la ganga ácida - adicionando un exceso de cal - se obtendrían escorias que solidificarían, a temperatura excesivamente alta. La escoria fundida conviene que tenga una temperatura de solidificación baja de otro modo, entre otros inconvenientes derivados de la falta de fluidez, se producirían atascos al colar la aleación.

Las escorias de horno alto en forma granulada obtenida por enfriamiento con agua, se emplean como materia prima -parte de la carga de los hornos- para obtención de cemento. Las escorias, enfriadas al aire y trituradas, se emplean también en los firmes de autopista en sustitución (con ventaja) de la piedra caliza.

El revestimiento refractario de los convertidores en las zonas de contacto con la escoria líquida deberá ser necesariamente básico ya que, para eliminar P, contienen escorias básicas en el interior del fundido en agitación.



## **Materiales cerámicos**

La palabra cerámico tiene un origen de la palabra griega “material sometido al fuego”. En la actualidad el avance de la cerámica y el ingenio que se conoce en este campo los cerámicos abarcan los siguientes materiales:

- ✓ Vidrios usados en recipientes, aisladores y ventanas.
- ✓ Cementos tales como el Pórtland, yeso, cal.
- ✓ Ladrillos y tubería para la construcción.
- ✓ Refractario como recubrimiento de hornos y de aislantes.
- ✓ Loza, como vajilla de mesa.
- ✓ Esmaltes vitrificados utilizados en ornamenta sanitaria y para usos químicos.
- ✓ Abrasivos para discos lijadores.
- ✓ Moldes para fundición de metales, entre otros.



Entre los cerámicos especiales como ferritas para magnetos, óxido de titanio-zirconio-plomo (PZT) para sondeadores de profundidad, cristales sencillos de rubí utilizados para rayos láser, vidrios fotocromitos y fotoconductivos y “cermets” (cerámico metálico).

Cabe mencionar que algunas propiedades que se buscan en un cerámico son que este nos sirva como refractario lo que se refiere a que tenga cierta resistencia a cambios de temperatura, generalmente calor y que la operación de estos cerámicos no nos provoque un choque térmico que dañe el producto.

La unión de materiales cerámicos difiere de los materiales metálicos en dos aspectos. Los enlaces iónicos y covalentes son los que predominan en lugar de los enlaces metálicos y la función del número de coordinación debido a que en la mayoría de los materiales cerámicos están compuestos por átomos de diferentes tamaños, como en la combinación de metal oxígeno.

Algunas propiedades de los materiales cerámicos que se deben de cuidar para su aplicación son:

- ✓ La porosidad
  - ✓ Porosidad abierta: es donde el agua puede pasar a través de estos.
  - ✓ Porosidad cerrada: es donde el agua no puede ingresar.



- ✓ Porosidad real: se define como la suma de la porosidad abierta más la cerrada entre el volumen de la muestra.
- ✓ Porosidad aparente: definida como la porosidad abierta entre el volumen de la muestra.
- ✓ Volumen
  - ✓ Volumen en bruto: se define como el volumen total de la muestra que sería el volumen verdadero de la piedra más los poros abiertos y cerrados.
  - ✓ Volumen aparente: definido como el volumen de la piedra más los poros cerrados.
- ✓ Densidad
  - ✓ Densidad en bruto: se define como la masa entre el volumen bruto
  - ✓ Densidad real: se define como la masa entre el volumen real.

Un tipo de cerámico que se utiliza para ornamenta sería la loza de barro, loza de piedra, loza de china, loza de hornear y porcelana.

La loza de barro se hace generalmente de arcilla (caolín, sílice, feldespatos). Una característica importante de este cerámico es que se mezcla hasta lograr una pasta maleable y moldeable que posteriormente será sometida a una cocción a una temperatura relativamente baja, dando como resultados un material con una porosidad considerable.





Una variante de esta loza sería la loza semividreada, que se logra mezclando arcilla, sílice y feldespato y el procedimiento de cocido será a una temperatura mayor dando como resultado una formación de vidrio disminuyendo la porosidad y aumentando la resistencia.

Loza de piedra: ésta a diferencia de la de barro es que la temperatura aumenta aun más y bajando la porosidad.

Loza china: se obtiene de una mezcla de tres componentes (sílice, arcilla y feldespato) a altas temperaturas para obtener un objeto translucido.

Para resistir la acción de escorias básicas, es necesario un revestimiento básico. Sus temperaturas de ablandamiento son más altas que las de los revestimientos ácidos. Sin embargo, no pueden emplearse refractarios constituidos exclusivamente por  $\text{CaO}$ ; ésta, por mucho que se calcine, se hidrata con el agua y produciría un desmoronamiento del refractario (la cal se utiliza sólo como escorificante). Por fortuna, según se ha indicado más arriba, el  $\text{CaO}$  aparece asociado naturalmente con el  $\text{MgO}$  en las rocas dolomíticas y por ello un tipo de refractario básico es la dolomía obtenida por calcinación de la roca, con posterior molido y apisonado hasta formar un bloque.

La dolomía calcinada y granulada, suele utilizarse también para reparar revestimientos básicos en las zonas de desgaste. Normalmente, la dolomía se comporta muy bien durante el trabajo del horno, aunque le afectan de modo



importante -como ya se ha indicado- las paradas prolongadas a temperatura ambiente: por la higroscopicidad del  $\text{CaO}$ . Por otro lado, un inconveniente de la dolomía es que parte de  $\text{CaO}$  se combina durante la cocción, o bien en el horno, con algo de  $\text{SiO}_2$  para dar  $2\text{CaO-SiO}_2$ , que en el enfriamiento experimenta una gran dilatación al transformarse en otra variedad cristalina; esta dilatación tiende a desintegrar la masa de dolomía.

Los refractarios básicos de magnesita proporcionan mejor comportamiento que los de dolomía frente a las escorias básicas, si bien a costa de un precio muy superior. La magnesita ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ) calcinada a temperaturas superiores a  $1000^\circ\text{C}$  produce  $\text{MgO}$  no hidratable. Este  $\text{MgO}$  si es muy puro, no tiene ninguna tendencia a aglomerarse por cocción, como aglomerante suele emplearse  $\text{Fe}$  en forma de sulfato, fosfato u óxido que -por fusión a  $1600^\circ\text{C}$ - forma un constituyente matriz complejo del tipo de las espinelas. La cocción de los ladrillos de magnesita suele hacerse entre  $1600$  y  $1700^\circ\text{C}$ .

### **Refractarios neutros.**

Están constituidos por 40%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (cromita). 15%  $\text{MgO}$ , 20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 15% de óxidos de hierro. Se colocan en hornos que tienen ladrillos de sílice y de magnesita, entre ellos, para evitar un contacto que produciría su destrucción por reacción entre aquéllos. Son refractarios muy pesados - peso específico 3,1-, su resistencia bajo carga y su resistencia a los cambios térmicos son bajos.



## **Ladrillos.**

Entre los refractarios ácidos, se encuentran los ladrillos siliciosos, los ladrillos de chamota (o ladrillos silicoaluminosos) y los ladrillos aluminosos y de alúmina (a veces llamados neutros si son de alúmina pura).

Los ladrillos siliciosos son aquellos constituidos casi exclusivamente por  $\text{SiO}_2$ . Es preciso conferir a los gránulos de  $\text{SiO}_2$  una cierta compacidad, y por ello estos ladrillos suelen obtenerse por mezcla de  $\text{SiO}_2$  con una pequeña cantidad de  $\text{CaO}$  (1,5 a 2% de  $\text{CaO}$ ): que por cocción a  $1475^\circ\text{C}$  sinteriza los gránulos de  $\text{SiO}_2$  "dispersos". Debido a su composición empiezan a fundir -en servicio- por encima de  $1436^\circ\text{C}$ , pero dado que este deterioro afecta sólo a las zonas periféricas del ladrillo, el resto sigue con compacidad suficiente para aguantar temperaturas de trabajo.

Los ladrillos siliciosos presentan buena resistencia a compresión hasta temperaturas próximas a la de fusión, son más económicos que los básicos, y se utilizan principalmente como elementos arquitecturales para bóvedas de horno, cámaras de hornos de choque, salidas de gases, etcétera.

Se denominan ladrillos de chamota o silicoaluminosos, los constituidos por  $\text{SiO}_2$  y 25% a 45% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , es decir, formados a base de arcillas. El método de fabricación suele consistir en mezclar varias arcillas con agua y cocer el conjunto ya prensado a unos  $1300^\circ\text{C}$ .



Los ladrillos silicoaluminosos tienen buena resistencia al choque térmico, son los más baratos, y los de mayor consumo (75% del total). Pero no resisten bien la acción de escorias ni de metales fundidos. Se usan para hornos de recalentamiento, de laminación, de forja, etc.

Ladrillos aluminosos y de alúmina. Suelen denominarse aluminosos los que tienen más de 50% de alúmina, pero no mullita. Considerando el sistema  $\text{SiO}_2$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , los ladrillos con más de 90% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , obtenidos por electrofusión de alúmina, resisten en servicio hasta temperaturas más altas que los aluminosos y por eso se emplean en lugares del horno sometidos a muy alta temperatura. El diagrama de equilibrio muestra que la fusión de los contornos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no se inicia hasta alcanzar  $1840^\circ\text{C}$ .

## **Tipos De Polímeros**

*Un polímero (del griego poly, muchos; meros, parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son, por lo menos aproximadamente, múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de bajo peso molecular es el monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y estructura molecular, su grado de polimerización es indicado por un numeral griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámero, pentámero y sucesivos. El término polímero*



*designa una combinación de un número no especificado de unidades. De este modo, el trióximetileno, es el trímero del formaldehído, por ejemplo.*<sup>7</sup>

### Polímeros isómeros

Los polímeros isómeros son polímeros que tienen esencialmente la misma composición de porcentaje, pero difieren en la colocación de los átomos o grupos de átomos en las moléculas.

### Homopolímeros y Copolímeros

Los materiales como el polietileno, el PVC, el polipropileno, y otros que contienen una sola unidad estructural, son ejemplos de los polímeros homopolímeros. Estos contienen cantidades menores de irregularidades en los extremos de la cadena o en ramificaciones.

Los copolímeros contienen varias unidades estructurales, como es el caso de algunos muy importantes en los que participa el estireno.

Estas combinaciones de monómeros se realizan para modificar las propiedades de los polímeros y lograr nuevas aplicaciones. Lo que se busca es que

<sup>7</sup>

<http://www.monografias.com/trabajos5/plasti/plasti.shtml#cara>



cada monómero imparta una de sus propiedades al material final, ya sea para brindarle una resistencia, flexibilidad, textura u otra característica.

En otros casos, pequeñas cantidades de un polímero de alta calidad puede mejorar la del otro, al grado de permitir una nueva aplicación.

#### Copolímeros y Terpolímeros

Copolímero de estireno-acrilonitrilo en los que el contenido de estireno varía entre un 65 y 80%. Estos materiales tienen buena resistencia a los aceites lubricantes, a las grasas y a las gasolinas.

Y estos tienen mejores propiedades de impacto, tensión y flexión, que los homopolímeros del estireno. Los copolímeros son transparentes, pero con un ligero color amarillo que se vuelve más oscuro a medida que aumenta el contenido en acrilonitrilo.

Terpolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno. Son materiales heterogéneos formados por una fase homogénea rígida y una elastomérica.

#### Copolímeros estireno-butadieno

Éstos son los hules sintéticos que han sustituido al natural, en algunas aplicaciones como las llantas para automóviles.



Los hules sintéticos contienen un 25% de estireno y un 75% de butadieno; algunos ejemplos serian:

- Llantas
- Espumas
- Empaques
- Suelas para zapatos
- Aislamiento de alambres y cables eléctricos
- Mangueras

Los copolímeros de estireno-butadieno con mayor contenido de butadieno, hasta de 60%, se usan para hacer pinturas y recubrimientos ahulados. Para mejorar la adhesividad.



## Capítulo 3.

### ***“DISEÑO DEL DIAGRAMA DE FASES”***

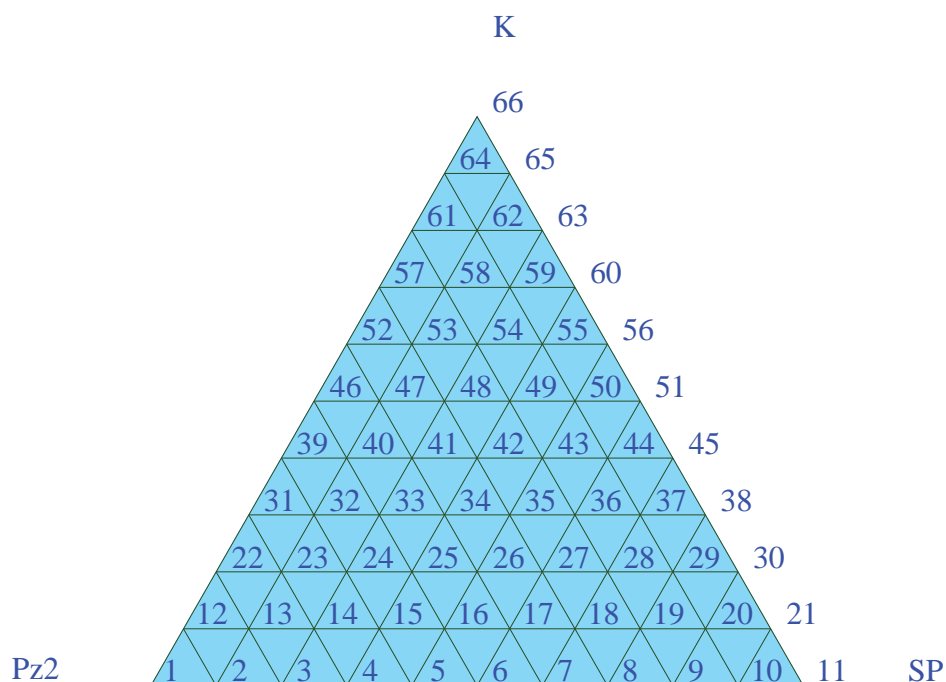
Para nuestro análisis del diagrama ternario utilizaremos tres sustancias. Utilizaremos una sustancia líquida “SP” y otras dos fases sólidas “K” y “Pz2”.

En este caso se analizarán estos puntos a temperatura ambiente, es decir que se mezclarán las distintas sustancias que se tienen a distintas cantidades y se observarán los resultados que presentan durante y después de su mezclado, nos enfocaremos a analizar si estos se comportan de una manera adecuada durante su fraguado y secado o endurecimiento de las mezclas.

Partiremos de la utilización de un triángulo equilátero como antes se había mencionado. Y colocaremos las sustancias mencionadas en los vértices de nuestro diagrama.

Posteriormente vamos a dividir nuestro diagrama en decimos de unidad y de aquí numeraremos algunos cruces de los puntos y analizaremos sus composiciones en porcentajes referenciados a sus pesos.





Con lo anterior observamos que para nuestro caso tendremos 66 puntos, en donde los puntos 1, 11 y 66 son el 100% de cada una de las sustancias que utilizaremos.

A continuación mencionaremos las distintas composiciones que tenemos con sus porcentajes de cada sustancia para obtener el 100% de cada punto.

Para el mezclado de los materiales que existen en nuestro diagrama se procederá a mezclarse hasta llegar a una pasta completamente homogénea y una vez que esta este lista la colocaremos en pastillas petra, segmentos de concreto, madera entre otros.



*Síntesis Y Caracterización Físico-Química De Cementos Híbridos:  
Orgánico-Inorgánico*



Punto	SP %	K %	Pz2 %	Punto	SP %	K %	Pz2 %
1	0	0	100	34	30	30	40
2	10	0	90	35	40	30	30
3	20	0	80	36	50	30	20
4	30	0	70	37	60	30	10
5	40	0	60	38	70	30	0
6	50	0	50	39	0	40	60
7	60	0	40	40	10	40	50
8	70	0	30	41	20	40	40
9	80	0	20	42	30	40	30
10	90	0	10	43	40	40	20
11	100	0	0	44	50	40	10
12	0	10	90	45	60	40	0
13	10	10	80	46	0	50	50
14	20	10	70	47	10	50	40
15	30	10	60	48	20	50	30
16	40	10	50	49	30	50	20
17	50	10	40	50	40	50	10
18	60	10	30	51	50	50	0
19	70	10	20	52	0	60	40
20	80	10	10	53	10	60	30
21	90	10	0	54	20	60	20
22	0	20	80	55	30	60	10
23	10	20	70	56	40	60	0
24	20	20	60	57	0	70	30
25	30	20	50	58	10	70	20
26	40	20	40	59	20	70	10
27	50	20	30	60	30	70	0
28	60	20	20	61	0	80	20
29	70	20	10	62	10	80	10
30	80	20	0	63	20	80	0
31	0	30	70	64	0	90	10
32	10	30	60	65	10	90	0
33	20	30	50	66	0	100	0



Los pasos que se seguirán para la preparación de nuestras mezclas se ara de la siguiente forma.

La forma de hacerlos puntos se hará en función de los pesos de los materiales.



En los puntos que se trate de 2 sustancias “SP” y “Pz2” se verterá en un recipiente el “SP” y se adicionara gradualmente la “Pz2” y se mezclaran hasta tener una pasta completamente homogénea.





En el caso de tener las tres sustancias se disolverá la sustancia “K” en el “SP” con ayuda de un agitador magnético para poder garantizar que se esta mezclando bien.



*En esta figura se muestra el modo de mezclado de los materiales “SP” y “K”.*



Una vez disuelto el material “K” en el “SP”, se le adicionara la “Pz2” y se mezclara hasta homogenizar la pasta.

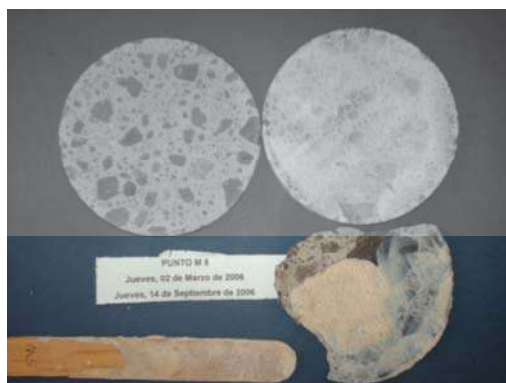


Una vez que el material se mezclo perfectamente, se procederá al vaciado que se crea mas conveniente, (cápsulas petra, vasos, segmentos de concretos...)



## Capítulo 4.

### **“ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL DIAGRAMA DE FASES TERNARIO SP-K-Pz2”**



Punto M5

Elaborado 2 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto que presenta una viscosidad muy baja, que presenta fractura muy pequeña solo en superficie, teniendo buena adherencia con superficies porosas como las del concreto.



Punto M5 + 1.5 fibra

Elaborado 20 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto que presenta una fractura muy controlada con la adición de la fibra.



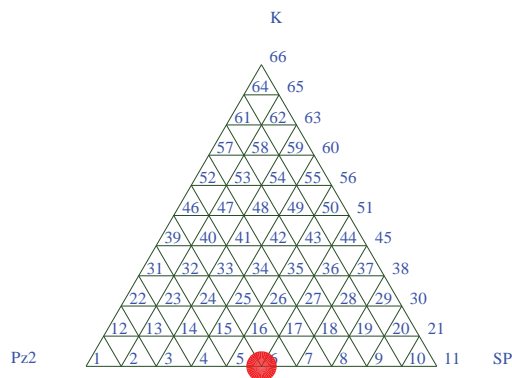
Punto M5 1:1 T

Elaborado 20 de marzo del 2006

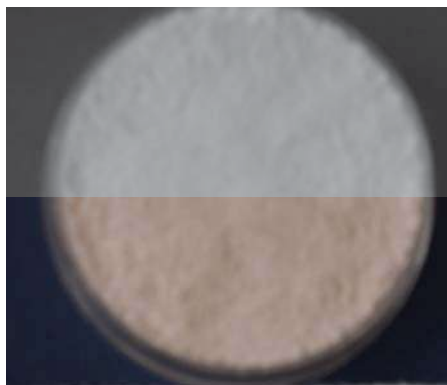
Foto 14 de septiembre del 2006



Este punto se fractura al agregar el material T fracturándose en superficie y en masa. Disminuye también su adherencia sobre las superficies.



SP – Pz2 – K: 50 – 50 – 0



Punto 6

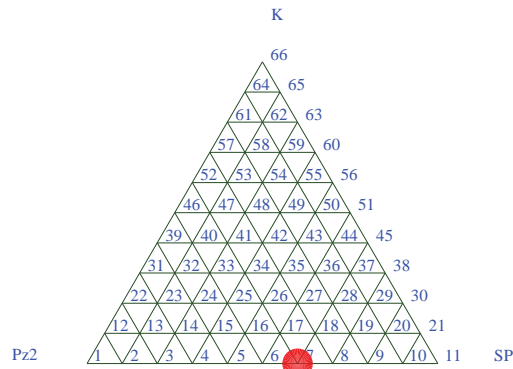
Elaborado 20 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

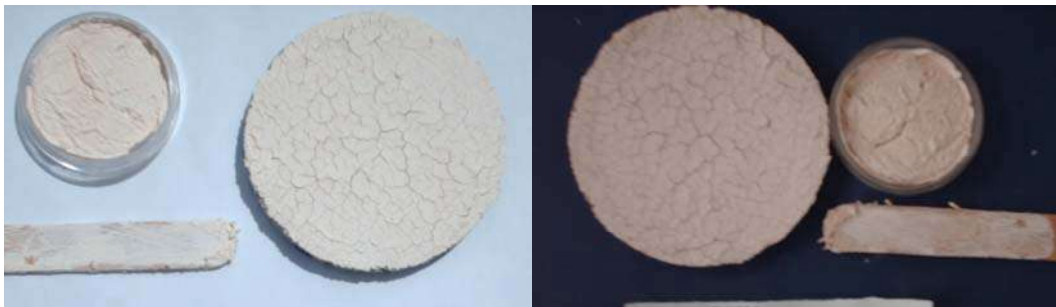




Punto frontera ya que la puzolana junto con el SP hace una mezcla muy seca y poco trabajable, además que su adherencia se ve bastante limitada debido a lo antes comentado.



SP – Pz2 – K: 60 – 40 – 0



Antes

Después

Punto 7

Elaborado 6 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Elaborado 6 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Es un punto en el que se logra una pasta muy trabajable, con una viscosidad y una adherencia bastante buena durante el fraguado inicial, pero tiene problemas durante el secado ya que este se fractura y se desprende de superficies como las de concreto.

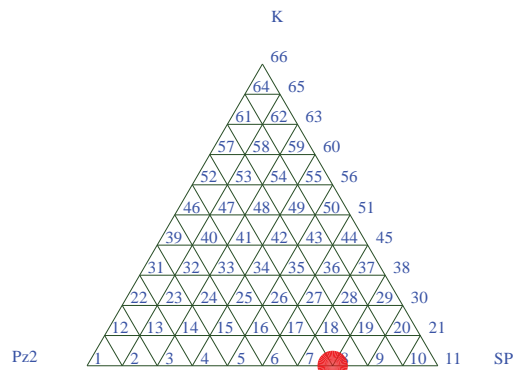


Punto 7 + 20% 1372

Elaborado 24 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Este punto al agregar el 1372 disminuye la viscosidad de la pasta con diferencia al anterior, y esta a su vez le brinda una mejor adherencia a la pasta durante el secado, y disminuye la fractura por fraguado, aunque no las elimina por completo.



SP – Pz2 – K: 70 – 30 - 0



Antes

Después

Punto 8

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Este punto presenta una viscosidad baja y una adherencia moderada, durante el periodo de secado se deforma con facilidad en espesores considerables, tiene un agrietado mínimo.



Para su aplicación se puede realizar con espátula o incluso con brocha para poder poner espesores delgados.



Punto 8 + 1% fibra

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

La adición de la fibra le ayuda a disminuir la fractura por deshidratación en el momento de secado, limitando la terminación (alisado) que se le puede dar con una espátula.





Punto 8 + 2% fibra

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Al incrementar el porcentaje de fibra se observa que la fractura disminuye considerablemente, y le proporciona además una resistencia adicional para poder manejarla en espesores considerables.



Punto 8 + 30% 1372

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

La adición del 1372 le proporciona a la mezcla una viscosidad menor lo que hace que el material pueda distribuirse con mayor facilidad para aplicarlo como un recubrimiento.



Punto 8 + 30% 1372 + 20% T

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

En este punto además de agregarle el látex se le agregara un agregado T el cual le proporciona un color blanco, además de agregarle un poco de cuerpo a la mezcla, pero presenta problemas de agrietamiento durante el secado.



Punto 8 + 30% 1372 + 20% T + 20% C

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Se observa que incrementa aun más la fractura en el secado cuando se le agrega un porcentaje de C, pero también obtenemos una menor contracción de volumen en la pastilla, lo cual nos indica que no se deformaría notablemente durante el secado.



Punto 8 + 50% 1372

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

La adición del 1372 proporciona una adherencia mayor y crea una capa plástica en la mezcla, la cual le ayudaría en el acabado de la muestra, ya que esta serviría como un material impermeable que impida el paso de líquidos.



Punto 8 + 50% 1372 + 20% T

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Al agregar el material T ayuda a que forme un cuerpo en la mezcla y ayuda a que la contracción por deshidratación disminuya notablemente y le proporciona un color blanco al terminado.



Punto 8 + 50% 1372 + 20% T + 20% C

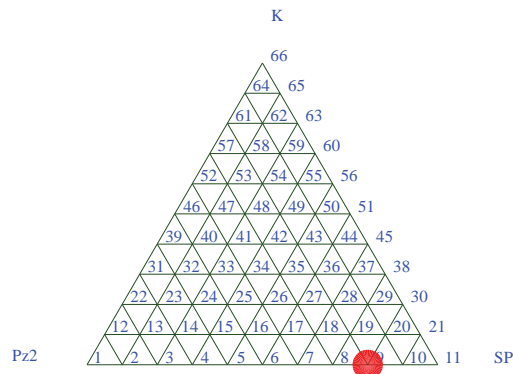
Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006





Al adicionar el agregado C le da una mayor plasticidad en el momento de estar trabajando la pasta pero presenta grietas de magnitud menor que se pudieran controlar por medio de curados o membranas.



SP – Pz2 – K: 80 – 20 - 0



Antes

Después

Punto 9

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Este punto tiene un mejor comportamiento que el anterior en superficies porosas como el concreto, pero debido a que este tiene un contenido mayor de humedad al momento de irse deshidratando provoca que se contraiga y se deforme con facilidad.



Punto 9

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Al curar este punto con alguna membrana se ve que se deshidrata muy lentamente y que después de varios días sigue sin terminar de deshidratarse.



Punto 9 + 30% 1372

Elaborado 25 marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Este punto tiene muy buenas características ya que presenta una adherencia muy buena en casi cualquier superficie. Además no se fractura por deshidratación, pero en el caso de espesores considerables y curados con membranas tarda mucha mas tiempo en secar, como en este caso que a los 173 días no terminaba de deshidratarse.





Punto 9 + 30% 1372 + 20% T

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Con la adición del agregado se disminuye la formación de grumos y presenta una fractura por secado menor que el punto anterior y una contracción mas controlada.



Punto 9 + 30% 1372 + 20% T + 20% C

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto que presenta una viscosidad baja y que tiene una adherencia buena, pero tiene problemas por secado, agrietándose en superficie.



Punto 9 + 50% 1372

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Con la adición del 1372 se observa que deja una superficie mas lisa. Durante la preparación se noto que el material tiende a formar grumos después de un periodo de agitado.



Punto 9 + 50% 1372 + 20% T

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Al igual que en casos anteriores el material T le proporciona un color blanco, pero en este caso por el incremento de SP tenemos un punto mas liquido.

Este punto tiene muy buena adherencia sobre superficies porosas, en capas delgadas la fractura disminuye notablemente casi desapareciendo por completo.



Punto 9 + 50% 1372 + 20% T + 20% C

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

En este punto y la adición de los materiales se logra un material con una viscosidad baja y un material con una adherencia adecuada en superficies porosas y sin que este tenga grandes problemas por deshidratación.



Punto 9 + 1% fibra

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Este punto con fibra, se comporta con sus características que el punto original, pero se adiciono con la finalidad de disminuir fracturas por deshidratación, pero al ser un punto bastante liquido la fractura es mínima ya que tarda bastante tiempo en secarse.



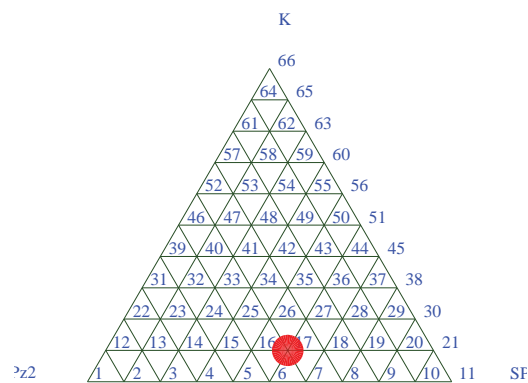


Punto 9 + 2% fibra

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Al incrementar el porcentaje de fibra y curar con una membrana se observa que esta tiende a separarse (flotar en la mezcla mientras se sedimentan sus componentes) y este tarda mas de 173 días.



SP – Pz2 – K: 50 – 40 – 10



Antes

Después

Punto 17



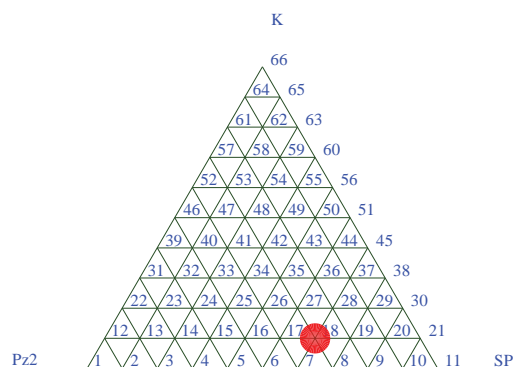


Elaborado 6 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

En este punto se logra tener una pasta de viscosidad media a baja, con una aplicación adecuada, pero esta presenta fractura por deshidratación, y además tiene poca adherencia con otros materiales, y ahí cambios volumétricos durante el proceso de deshidratación.



SP – Pz2 – K: 60 – 30 - 10





Antes

Después

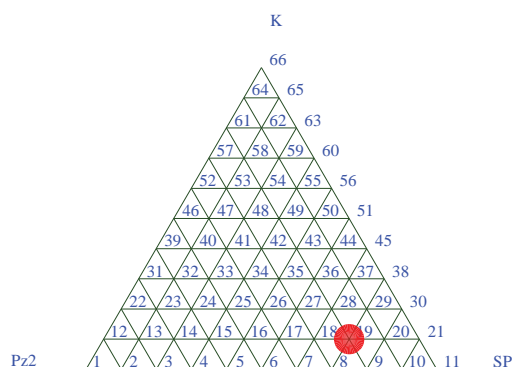
Punto 18

Elaborado 6 de marzo del 2006

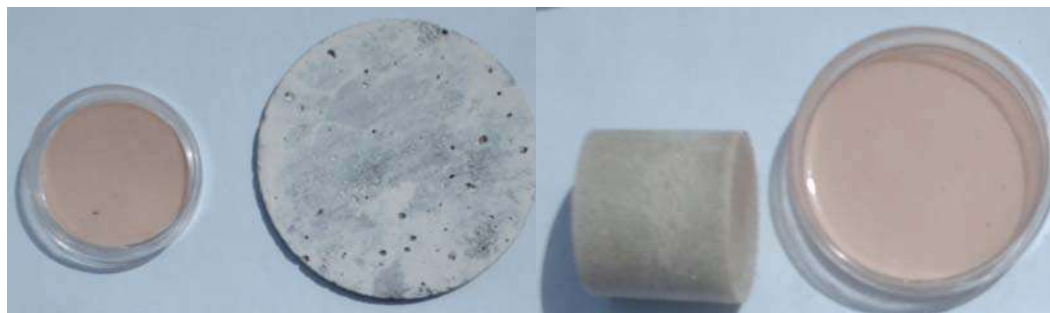
Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Punto con una viscosidad media, presentando agrietamiento severo, tiene problemas de adherencia y sus cambios volumétricos por deshidratación son considerables.



SP – Pz2 – K: 70 – 20 – 10



Punto 19

Elaborado 1 de marzo del 2006



Foto 17 de marzo del 2006

Es un punto con una viscosidad muy baja que presenta buenas características de adherencia, el agrietamiento en superficie por secado se pudiera controlar por medio de alguna forma de curado, y se observa que con la adición de algún agregado se podría tener una masa con buenas características, ya que en masa no se sedimenta el agregado de la mezcla.

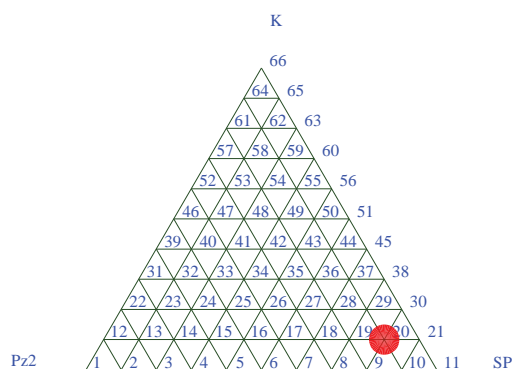


Punto 19

Elaborado 25 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Este punto por si solo tiene problemas por secado, ya que este tiene un gran contenido de material liquido, de aquí su viscosidad baja.



SP – Pz2 – K: 80 – 10 - 10

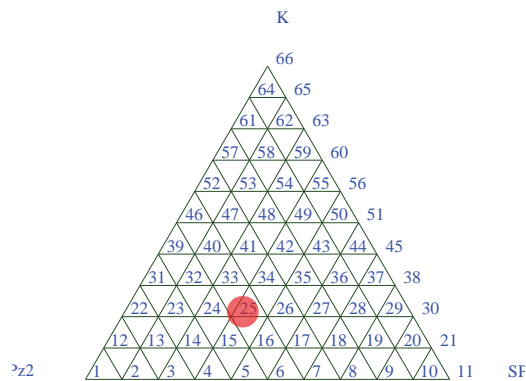


Punto 20

Elaborado 1 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Punto con viscosidad baja, presenta problemas por deshidratación, ya que este es un punto que tiene gran cantidad de material líquido y prolonga su tiempo de secado. Tiene buenas características de adherencia y penetra con facilidad en superficies porosas como las del concreto, madera entre otros.



SP – Pz2 – K: 32.39 – 46.02 – 21.59

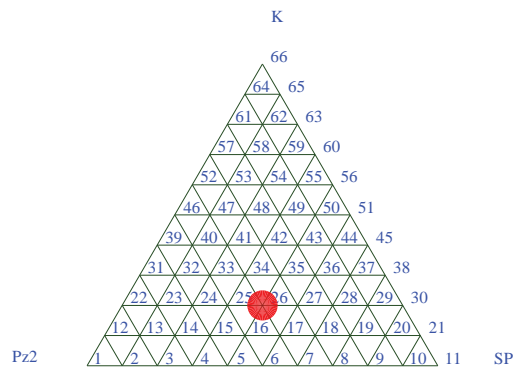


Punto 25´

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Es un punto en el que hay un calentamiento fuerte durante el mezclado de los materiales, y una viscosidad alta, ya que la adición de un material como de Pz2 sería difícil que alcanzara a diluirse. Debido a que tiene una viscosidad alta quedan atrapadas burbujas en la mezcla que son difíciles de expulsar, presenta problemas por deshidratación (fracturas superficiales).



SP – Pz2 – K: 40 – 40 - 20



Antes

Después

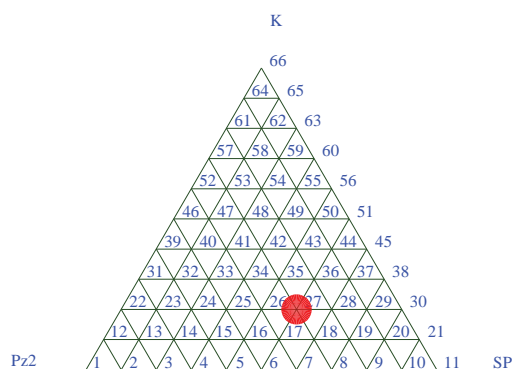
Punto 26

Elaborado 6 de marzo del 2006

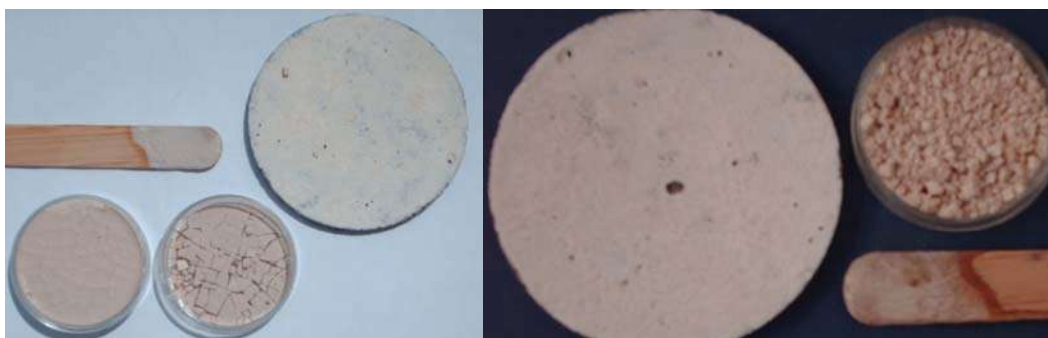
Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto que se fractura con facilidad y que tiene una baja viscosidad, tiene poca adherencia y presenta cambios de contracción.



SP – Pz2 – K: 50 – 30 - 20



Antes

Después

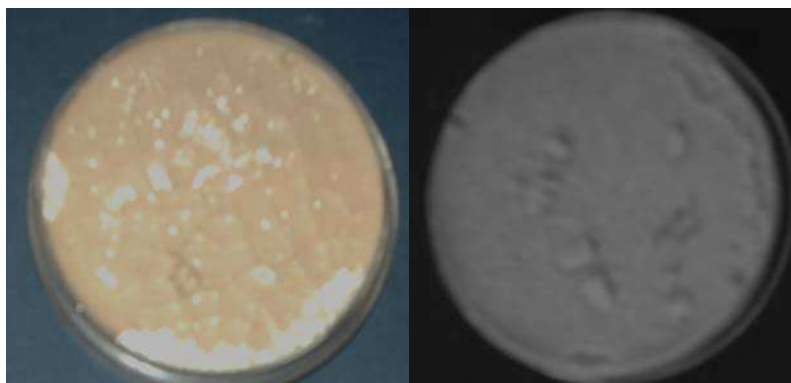
Punto 27

Elaborado 2 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Se tiene una pasta de viscosidad media, la cual es una mezcla muy trabajable, al aplicarla sobre superficies delgadas. Se presentan problemas por deshidratación, el material tiende a fracturarse.



Antes

Después

Punto 27 1:1 Agregado Mineral

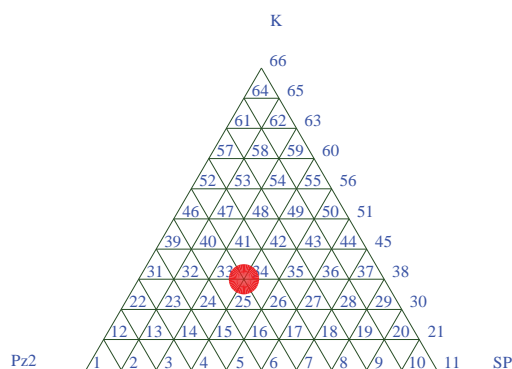
Elaborado 2 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Al adicionar el agregado en la pasta se eleva su viscosidad pero forma una pasta muy trabajable. Los problemas que sigue presentando son menores y se podrían evitar utilizando algún tipo de membranas.





SP – Pz2 – K: 30 – 40 - 30



Punto 34

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto con una viscosidad alta, comienza a tener problemas de solubilidad de Pz2 ya que este absorbe bastante agua del SP. Tiene problemas de agrietamiento en toda la masa por deshidratación. Su adherencia en superficies comienza a verse limitada.



Punto 34-A

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006



Punto 34-A 20% 1372

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Antes

Después

Punto 34 C

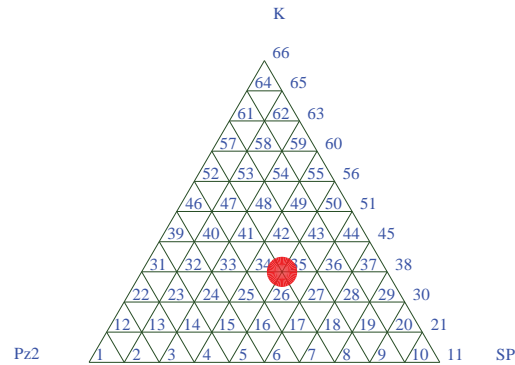
Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Al adicionarle el agregado se forma un material con una deformación mínima, además de tener una buena adherencia. Y su fractura permanece en superficie.



SP – Pz2 – K: 40 – 30 - 30



Antes

Después

Punto 35

Elaborado 7 de marzo del 2006

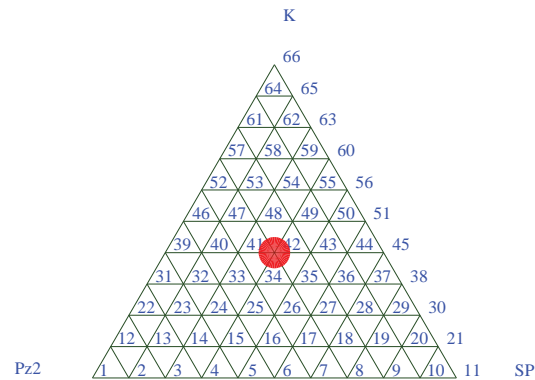
Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto con una viscosidad media, tiene un calentamiento considerable durante su preparación, presenta problemas durante el periodo de



secado, ya que este se agrieta, tiene poca adherencia con otros materiales y se fractura con facilidad.



SP – Pz2 – K: 30 – 30 - 40



Antes

Después

Punto 42

Elaborado 7 de marzo del 2006

Foto 17 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Es un punto con una viscosidad alta, presenta problemas por deshidratación con un agrietamiento severo. En el caso de utilizar una membrana el periodo de deshidratación se prolongara notablemente. Es una mezcla que se desprende de las superficies.



Antes

Después

Punto 42 + 1:2 Agregado Mineral

Elaborado 20 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

Es un punto que presenta problemas de cambios volumétricos (expansión) por lo cual se nota que el material se fractura en toda su masa.



Punto 42 +1% Fibra

Elaborado 20 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006

El problema de expansión sigue permaneciendo si no se tiene un curado adecuado. En el caso de utilizar membranas el proceso de deshidratación se ve detenido considerablemente.



Punto 42 2% fibra

Elaborado 20 de marzo del 2006





Foto 14 de septiembre del 2006

Presenta problemas de expansión, al cubrir con una membrana se disminuye este fenómeno, un punto con una viscosidad muy baja.



Punto 42 1:0.65 Arcilla

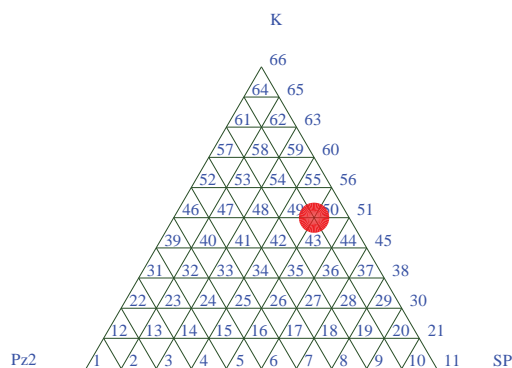
Elaborado 20 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006





El utilizar en este punto en la arcilla controla los cambios volumétricos.  
Funcionando como un posible estabilizador de arcillas.



SP – Pz2 – K: 40 – 10 - 50



Punto 50

Elaborado 20 de marzo del 2006

Foto 14 de septiembre del 2006



Es un punto con una viscosidad muy baja, es un punto en el que se comienza a tener problemas de solubilidad del material K en el SP. Durante el periodo de deshidratación la mezcla tiende a sedimentarse, y si este se cubre con alguna membrana prolonga su periodo de secado.



## Capítulo 5.

### “IDENTIFICACIÓN O SELECCIÓN DE LOS PUNTOS CLAVE”

En base a los puntos analizados se van a definir los puntos de acuerdo a la viscosidad que estos presentan y de esta forma poder comenzar e interpretar aquellos puntos que presenten características similares y así poder englobar zonas comunes.

Dentro de los puntos clave o que tuvieron un mejor comportamiento se pueden mencionar los siguientes:

El punto **9** es un punto que presenta características apropiadas para funcionar como un recubrimiento. Basándose en esto y por cuestiones de adherencia se utilizaron algunos materiales como el 1372 lo cual hace que nuestra mezcla presente una fractura muy controlada y deja una superficie mas cerrada (menos porosas) logrando que con esto se disminuya el paso de sustancias como el agua a través de estas.

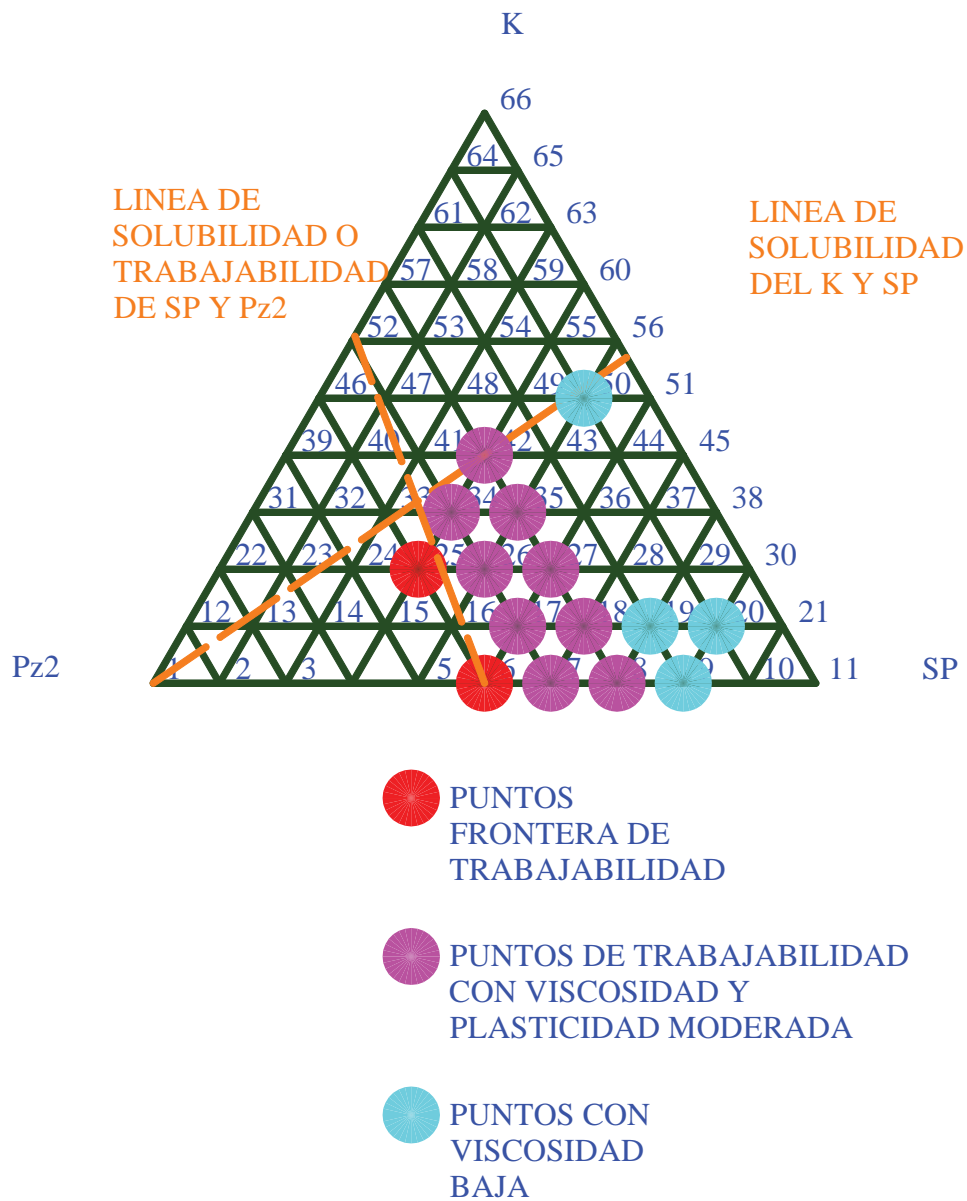
A partir de lo dicho en el punto anterior se obtiene el punto **M5** que es un punto que presenta muy buenas características tanto de adherencia como una fractura limitada casi inapreciable.

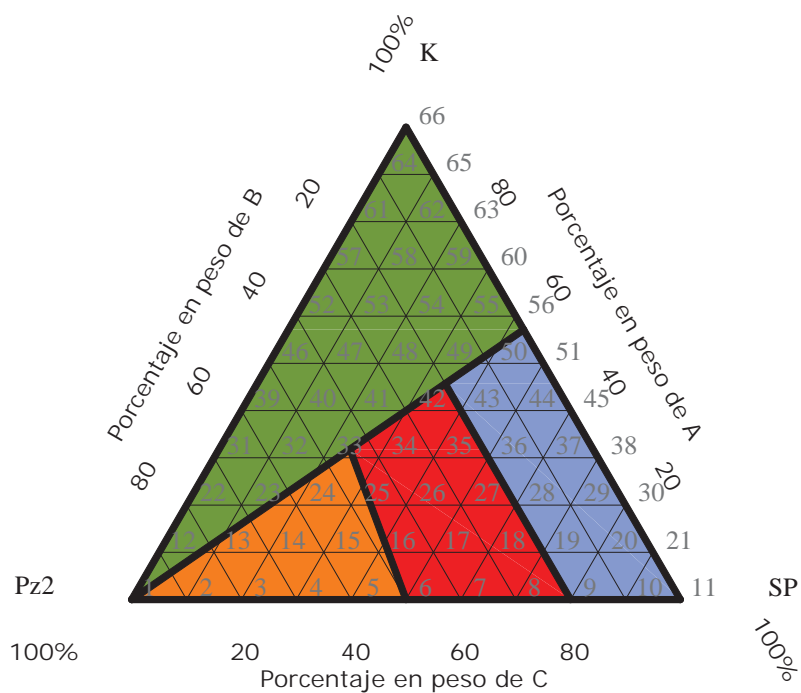






El punto **34** tiene buenas características como un material cerámico, ya que este tiene una consistencia adecuada y una viscosidad media. Este al mezclarlo con algunos agregados aumenta su resistencia y esta disminuye en parte su fractura. Además de esto le brinda a la mezcla un mejor cuerpo para que la pasta durante el periodo de deshidratación no disminuya o aumente su volumen (cambios volumétricos).

El punto **19** presenta una viscosidad baja, con una fractura superficial, pero a este si se le adiciona algún agregado forma materiales con buenas características capaces de formar algún cerámico, y debido a que su contenido de humedad es alto es capaz de soportar cantidades considerables de agregados.

El punto **42** que es una mezcla con una viscosidad media a baja, pero este presenta problemas de expansión, podría utilizarse como una sustancia que contrarrestara los problemas en arcillas, es decir que funcionara como un estabilizador de suelos.





-  Zona en donde el material "K" no es capaz de disolverse en el material "SP" por medio de una agitación a temperatura ambiente.
-  Zona en donde la "Pz2" no es capaz de disolverse en el material "SP".
-  Zona en la cual se logran mezclas con una viscosidad capaz de formar cerámicos.
-  Zona con una viscosidad muy baja y en los cuales se pueden utilizar para emplearlos como recubrimientos.



## Capítulo 6.

### **“CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS”**

- ✓ Se analizó el diagrama ternario y se observó que todos los puntos presentan fractura, aun cuando en algunos casos se curó con membranas y se trató de deshidratarse gradualmente.
- ✓ Se identificó una zona de recubrimientos, la cual presentó buenas características. Es decir, su fractura fue mínima y su adherencia fue buena.
- ✓ El material “K” disminuye la viscosidad en la mezcla, llegando a una relación de 1.33 con el “SP” en donde ya no se puede disolver y precipitan.
- ✓ La utilización del material “K” provoca un calentamiento durante su preparación.
- ✓ La utilización de materiales como el 1372 brinda a la mezcla una adherencia adecuada y disminuye notablemente fracturas.



- ✓ El material “T” brinda un color blanco a las mezclas, además de disminuir fracturas y reducir viscosidad.
- ✓ Con la utilización de fibras en las mezclas se disminuyen fracturas sin afectar su trabajabilidad.
- ✓ En la zona de los recubrimientos, se pueden hacer pruebas de adherencia y de permeabilidad, para de aquí seguir con trabajos futuros.
- ✓ Al utilizar agregados, se disminuyen fracturas en la masa de las mezclas, además de disminuir sus deformaciones.
- ✓ El punto 42, puede seguirse estudiando en el empleo de estabilización de arcillas.





## Capítulo 7.

### REFERENCIAS

#### Bibliografía

**A. FLIM, Richard.** *“Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”*. McGraw, México 1982.

**F. SMITH, William,** *“Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”*. Segunda Edición. Ed. McGraw-Hill, México, 1997. Págs. 449 a 498.

**GORDON, Paul.** *“Principles of phase diagrams in materials systems”*. McGraw Hill. New York, 1968. 232 p.

**PERO SANZ, José A.** *“Ciencia e Ingeniería de Materiales. Metalurgia física: estructura y propiedades”*. Ed. Dossat. Madrid, 1993.



## **Paginas de Internet consultadas**

<http://cipres.cec.uchile.cl/~cdolz/>

[http://cu-www.upr.clu.edu/%7Einievas/w\\_DIGRAMA-manual2.htm](http://cu-www.upr.clu.edu/%7Einievas/w_DIGRAMA-manual2.htm)

<http://www.cabierta.uchile.cl/revista/23/articulos/pdf/edu1.pdf>

<http://www.cenam.mx/dmmateriales.asp>

<http://www.mailxmail.com/curso/excelencia/cienciamateriales/capitulo6.htm>

<http://www.monografias.com/trabajos5/plasti/plasti.shtml#cara>

[http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo\\_formas.htm](http://www.uned.es/cristamine/cristal/morfo_formas.htm)

<http://www.unlu.edu.ar/~qui10192/qii06.pdf>

<http://www.pslc.ws/spanish/elas.htm>