

Instituto Tecnológico de Sonora  
P r e s e n t e.

El que suscribe **Jesús Trinidad Gutiérrez Ruiz**, por medio del presente manifiesto bajo protesta de decir verdad, que soy autor y titular de los derechos de propiedad intelectual tanto morales como patrimoniales, sobre la obra titulada: **“ESTUDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN MORTEROS DE CEMENTO-CAL-ARENA”**, en lo sucesivo “LA OBRA”, misma que constituye el trabajo de tesis que desarrolle para obtener el grado de **Ingeniero Civil** en ésta casa de estudios, y en tal carácter autorizo al Instituto Tecnológico de Sonora, en adelante “EL INSTITUTO”, para que efectúe la divulgación, publicación, comunicación pública, distribución y reproducción, así como la digitalización de la misma, con fines académicos o propios del objeto del Instituto, es decir, sin fines de lucro, por lo que la presente autorización la extiendo de forma gratuita.

Para efectos de lo anterior, EL INSTITUTO deberá reconocer en todo momento mi autoría y otorgarme el crédito correspondiente en todas las actividades mencionadas anteriormente de LA OBRA.

De igual forma, libero de toda responsabilidad a EL INSTITUTO por cualquier demanda o reclamación que se llegase a formular por cualquier persona, física o moral, que se considere con derechos sobre los resultados derivados de la presente autorización, o por cualquier violación a los derechos de autor y propiedad intelectual que cometa el suscrito frente a terceros con motivo de la presente autorización y del contenido mismo de la obra.



---

**Jesús Trinidad Gutiérrez Ruiz**

(Nombre y firma del autor)



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
Educar para Trascender

**“ESTUDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN MORTEROS DE  
CEMENTO-CAL-ARENA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA**

**JESÚS TRINIDAD GUTIÉRREZ RUIZ**

**CD. OBREGÓN, SON.**

**ABRIL DE 2013.**

## DEDICATORIA

Primeramente a mis padres, el Sr. Manuel de Jesús Gutiérrez Valenzuela y la Sra. María del Rosario Ruiz Álvarez, por ser mis principales columnas en mi vida, por guiarme con paciencia y sabiduría, hasta llegar a ser la persona que soy ahorita, por darme la confianza y la oportunidad de poder estudiar una carrera profesional.

A mi segunda madre, mi hermana Ana Gloria Gutiérrez Ruiz, ella que nunca me ha dejado de la mano, por siempre haber estado a mi lado apoyándome incondicionalmente hasta lograr cada uno de mis objetivos.

A mi madrina Margarita Gutiérrez Valenzuela y mi tío David por su apoyo económico y sobre todo moral, a mi tío David por siempre llenarme de ánimos y nunca permitirme flaquear.

A todos mis amigos y personas que ahí estuvieron a mi lado voluntariamente pero sobre todo involuntariamente.

## **AGRADECIMIENTO**

A dios por guiarme y siempre ponerme en el camino correcto a lo largo de mi vida.

A mi maestro asesor Dagoberto López López por permitirme realizar la tesis para poder titularme y por brindarme su conocimiento, su paciencia en la realización de la misma.

A todos mis maestros por todo el conocimiento dado día tras día durante estos 4 años de carrera, por su amistad brindada, a mis compañeros de carrera que con el paso del tiempo se fueron convirtiendo en grandes amigos gracias.

# ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Antecedentes .....	7
1.2 Planteamiento del problema.....	9
1.3 Objetivos .....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivo específicos.....	10
1.4 Justificación.....	10
1.5 Limitaciones del estudio.....	10
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	12
2.1 Mortero.....	12
2.1.1 Tipos de morteros .....	13
2.1.2 propiedades de los morteros.....	14
2.1.2.1 Resistencia .....	14
2.1.2.2 Adherencia.....	15
2.1.2.3 Factores que influyen en la adherencia .....	16
2.1.2.4 Soportes para aplanados.....	16
2.2 Conglomerantes.....	17
2.2.1 Cales.....	18
2.2.2 Cementos .....	19
2.2 Finura.....	23
2.3 Fraguado.....	23
2.4 Peso volumétrico.....	23
CAPÍTULO III. MÉTODOS Y MATERIALES .....	25
3.1 Metodología .....	26
3.1.1 Mezclas.....	26

3.1.2 Procedimiento para determinar la resistencia de las muestras.....	27
3.2 Probetas y moldes .....	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
.....	34
4.2 Gráficos.....	36
4.3 Pruebas finales .....	40
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	42
5.1 Conclusiones.....	42
5.2 Recomendaciones .....	43
LITERATURA CITADA .....	44

Figura 1. Vista de la prueba de compresión simple en prensa universal VERSA TESTER laboratorio de ingeniería civil área de concreto.....	28
Figura 2. Colado de muestras de mortero cemento-cal. ....	30
Figura 3. Muestras recién coladas, charola para preparación de mezcla y báscula para el peso de materiales. ....	30
Figura 4. Resistencia máxima en $\text{kg/cm}^2$ por cada muestra con su respectivo porcentaje de cemento y cal a los 28 días de fraguado. ....	36
Figura 5. Resistencia máxima en $\text{kg/cm}^2$ por cada muestra con su respectivo porcentaje de cemento y cal a los 90 días de fraguado. ....	37
Figura 6. Resistencia máxima en $\text{kg/cm}^2$ por familia con su respectivo porcentaje de cemento y cal contra el tiempo a 90 días. ....	38
Figura 7. Resistencia máxima en $\text{kg/cm}^2$ por familia contra el peso volumétrico $\text{kg/m}^3$ . ....	39
Figura 8. Resistencia máxima en $\text{kg/cm}^2$ por familia a los 90 días contra el peso volumétrico $\text{kg/m}^3$ . ....	40
<b>Tabla 1.</b> VARIABLES y proporciones.....	26
Tabla 2. Diseño de mezclas y resultados obtenidos .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 3. Familia seleccionada .....	41

## RESUMEN

Se estudió un tipo de mortero compuesto por cemento, cal y arena, todo con el propósito de comparar sus propiedades físicas y mecánicas, los componentes mencionados se mezclaron a diferentes proporciones para posteriormente someterlos a una prueba de compresión simple.

Esta prueba de compresión simple se aplicó a las muestras para observar la resistencia máxima que alcanzaban a diferentes edades con el objetivo de encontrar la combinación óptima de cemento-cal en el mortero.

Se realizaron 9 diferentes combinaciones con 2 ejemplares de cada una, los parámetros constantes fueron la arena y el agua, las variables fueron la concentración del cemento y de cal. Los cilindros fueron realizados bajo la norma Mexicana NMX-C-062-2004.

De manera gráfica y tabular se observaron los resultados obtenidos encontrando la proporción más adecuada de materiales para la elaboración de un mortero, esto garantiza una mezcla de calidad para la construcción.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

La utilización del mortero y del concreto por los romanos data desde principios del años 200 a.c. con la finalidad de dar forma a las piedras usadas en la construcción de edificios en esa época. Durante el reinado del emperador romano Calígula en el año 37-41 d.c., pequeños bloques de concreto prefabricados fueron usados como material de construcción en la región cerca de lo que hoy se conoce como Nápoles, Italia. Sin embargo, mucha de la tecnología desarrollada por los romanos se perdió tras la caída del imperio en el siglo V. No fue sino hasta el 1824 que el inglés Joseph Aspdin, desarrolló el cemento Portland, que llegó a ser un componente esencial del concreto moderno. El primer bloque de concreto fue diseñado en 1890 por Harmon



S. Palmer en los Estado Unidos de América. Después de 10 años de experimentación, Palmer patentó el diseño en 1900. Los bloques de Palmer fueron de 20.3x25.4x76.62. En 1905, aproximadamente 1500 compañías estadounidenses se encontraban manufacturando bloques de concreto. Estos bloques eran sólidos sumamente pesados en los que se utilizaba la cal como material cementante. La introducción del cemento Portland y su uso intensivo, abrió nuevos horizontes a este sector de la industria.

A principios del siglo XX aparecieron los primero bloques huecos para muros, la ligereza de esto nuevos bloques significaba, por sus múltiples ventajas, un gran adelanto.

Las primeras máquinas que se utilizaban en la entonces incipiente industria se limita a simples moldes metálicos, en los cuales se compactaba la mezcla manualmente; este método de producción se siguió utilizando hasta los años veinte, época en que apareciendo maquinas con martillos accionados mecánicamente, más tarde se descubrió la conveniencia de la compactación lograda basándose en vibración y compresión; actualmente, las más modernas y eficientes máquinas para la elaboración de bloques de concreto utilizaban el sistema de vibro compactación. Los bloques de concreto son principalmente usados como materiales para construcción de paredes. La mayoría de los bloques tienen una o más cavidades y sus lados pueden ser planos o con algún diseño.

La demanda del mortero en la industria de la construcción es cada día más importante, es por ello que las empresas productoras de mortero han seguido estudiando las características físicas y mecánicas de los agregados que los constituyen. Así mismo, hoy en día el consumidor en general exige a dichas empresas conocer más a detalle el tipo de productos que adquiere y usa, con el fin de seleccionar aquel que mejor les satisfaga sus necesidades en cuanto a la

construcción y economía. Es importante cuidar, una vez diseñada experimentalmente la mezcla de mortero, los procesos reglamentarios de elaboración, así como su manejo que ésta pueda llegar a la resistencia última para la cual fue diseñada.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El mortero es un material muy comúnmente utilizado en el área de la construcción empleado en aplanado de muros, de losas, pegue de ladrillo, esta investigación es para mejorar la calidad del mortero de cemento-cal-arena, la cual consiste en encontrar la combinación ideal de cemento y cal para que éste mejore su resistencia y sea más económico. Pero la continuidad de esta investigación dependerá de la aplicación de las normas de calidad al momento de llevar a cabo un proyecto arquitectónico, porque al momento de estar elaborando las mezclas, en obra, en campo es ahí donde si no se tiene un estricta supervisión de cómo se elaboran las mezclas, ésta pierde sus propiedades mecánicas, por lo tanto se pierde la validez de esta investigación.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Encontrar la combinación ideal y óptima de material (cemento-cal) para la fabricación de mortero, comparando los resultados de muestras sometidas a prueba de compresión simple con distintos porcentajes de sus agregados, para obtener un mortero resistente y económico.

### **1.3.2 Objetivo específicos**

Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas que constituyen estos materiales utilizados actualmente en la empresa Grupo Calidra.

Comparar el promedio de resistencia a la compresión de la muestras de mortero con diferentes porcentajes de cal y cemento.

### **1.4 Justificación**

Entregar calidad es una de las responsabilidades más importantes de toda empresa o ingeniero civil, esto se debe a que la calidad no es negociable, por lo tanto, tener materiales de buena calidad y un mejor desarrollo de propiedades mecánicas es ganar un lugar en el mercado de la construcción y en la venta de materiales.

Es por esta razón la importancia de la investigación, ya que a través de los resultados se obtiene la dosificación óptima para fabricación de un mortero resistente y económico, siendo los beneficiarios directos los integrantes de la empresa de venta de materiales GRUPO CALIDRA y clientes.

### **1.5 Limitaciones del estudio.**

La investigación sólo contempla morteros hechos a base de cemento-cal-arena en diferentes dosificaciones.

Sólo fueron realizadas pruebas de resistencia a la compresión.

El cemento utilizado para la fabricación fue de la marca comercial cemento gris Cemex Campana, la cal de la marca comercial CALIDRA y arena común utilizada para la construcción en el municipio de Cajeme, Sonora.

## **CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Mortero**

Los morteros se definen como mezclas de uno o más conglomerados inorgánicos, áridos finos (arena) y agua, a veces aditivos. Se entiende por mortero fresco el que se encuentra completamente mezclado y listo para su uso. Generalmente se utilizan para obras de albañilería como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.

Actualmente existen muchos tipos de morteros dependiendo el tipo de conglomerante que contenga. Entre los más comunes se encuentra el mortero cemento-arena, el cual tiene gran resistencia y la propiedad de secar rápidamente: otro mortero que se destaca es el de cal-arena, el cual a pesar de no ser tan resistente como el anterior, presenta una mayor plasticidad y es muy fácil su manejo. Esto llevó al mortero cemento-cal-arena, el cual es más fácil de utilizar, endurece rápido y tiene una mayor resistencia a las cuarteaduras.

### **2.1.1 Tipos de morteros**

#### Morteros de cal

Los morteros de cal tienen ventaja de ser más económicos que los de cemento, están compuestos por cal (hidráulica o aérea), arena y agua. Es un mortero con gran plasticidad, fácil de aplicar, flexible y untuoso, pero de menor resistencia e impermeabilidad que un mortero hecho a base de cemento.

#### Morteros de cemento

Están elaborados de cemento, arena y agua, poseen gran resistencia y así mismo rapidez para secarse y endurecerse. Sin embargo son escasamente flexibles y pueden agrietarse con facilidad.

#### Morteros de yeso

Se denomina mortero de yeso aquel elaborado a base de yeso, arena y agua. Es menos resistente que otros morteros pero endurece rápidamente, con el paso del tiempo este tipo de mortero pierde su capacidad de dureza, nunca debe aplicarse en lugares donde hallá presencia de humedad (cuartos de baño, aseos, sector de fregadero en las cocinas, etc.), ya que el yeso tiene una gran capacidad de absorción, por lo que puede almacenar una gran cantidad de agua.

## 2.1.2 propiedades de los morteros

### 2.1.2.1 Resistencia

Las Resistencias mecánicas de los morteros destinados a revestimiento deben atender fundamentalmente en su respuesta a las tensiones provocadas por pequeños movimientos diferenciales del soporte, tensiones generadas por cambios ambientales e impactos o agresiones externas.

La **resistencia a compresión** nos proporciona una idea de la cohesión interna del mortero. Indica, así, su capacidad de soportar presiones sin disgregarse. La cohesión también se relaciona con el grado de estanqueidad que será capaz de alcanzar una vez dispuesto.

Esta resistencia mecánica de los morteros de revestimiento no debe ser superior a la de los soportes. El mortero debe ser lo suficientemente flexible para acompañar leves movimientos del soporte por causas térmicas o estructurales. Una excesiva rigidez provocaría la aparición de fisuras o agrietamientos.

Los factores que influyen **beneficiosamente** en la resistencia del mortero son:

Una adecuada elección de los materiales, con una distribución granulométrica de la arena que permita la correcta cohesión de la masa del mortero.

Una utilización de aditivos que permiten disminuir la cantidad de agua necesaria y consiguientemente descender la relación A/C (agua/ cemento). Esto aporta un mayor valor de resistencia. No obstante, la cantidad de agua debe ser suficiente para conseguir una pasta homogénea y trabajable. Un exceso de agua disminuye la resistencia, pero, por contra, su falta deriva en una hidratación incompleta del cemento y lógicamente en una menor resistencia.

Un amasado homogéneo del mortero que permita distribuir correctamente toda el agua sin dejar partes secas por mezclar.

Una correcta preparación de la superficie del soporte donde se va aplicar el mortero: limpia y humedecida. Debe mantenerse un correcto curado mediante humectación del mortero hasta su fraguado.

### **2.1.2.2 Adherencia**

La adherencia es la capacidad del mortero de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie del soporte. Es, posiblemente, la principal propiedad que se debe exigir al aplanado pues de ella depende la estabilidad del recubrimiento. Una adherencia correcta impide que el mortero se despegue del soporte como consecuencia de sus variaciones dimensionales. Dichas variaciones son consecuencia de la acción de los agentes externos a que se encuentran sometidos (lluvia, hielo, frío, calor, etc.) y que dan lugar a contracciones, dilataciones y movimientos del soporte. Igualmente debe soportar los esfuerzos mecánicos y tensionales entre revestimiento y soporte.

La adherencia es una propiedad tanto del mortero fresco como del endurecido: En el mortero fresco la adherencia se basa en las propiedades reológicas de la pasta de cemento.

Para comprobarlo basta con aplicar una capa de mortero entre dos piezas a unir y separarlas al cabo de unos minutos. Una buena adherencia del mortero se manifiesta al permanecer adherida pasta del mismo a la superficie de las dos piezas una vez separadas.

En el mortero endurecido la adherencia depende fundamentalmente de la naturaleza de la superficie del soporte, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de la arena empleada.

Cuando se coloca mortero fresco sobre la superficie del soporte, parte del agua de amasado es absorbida por el mismo, penetrando en su interior a través de sus poros.



### 2.1.2.3 Factores que influyen en la adherencia

En la ejecución de enfoscados debe emplearse el mortero dentro del tiempo de utilización declarado por el fabricante. Incorporar agua para reamasar el mortero puede producir una merma importante de la adherencia.

En cualquier caso debe emplearse el mortero recomendado por el fabricante, respetando las condiciones de uso referentes a la consistencia del mortero.

### 2.1.2.4 Soportes para aplanados

Uno de los componentes fundamentales en cualquier revoco-enlucido es el soporte que es revestido por el mortero.

Estos soportes deben reunir una serie de características que permitan la perfecta adherencia con el mortero así como la durabilidad de dicha unión.

Las características principales que debe reunir un soporte son:

- **Compatibilidad** con los componentes del mortero en los aspectos:
  - químico (no debe reaccionar con ningún componente del mortero como ocurriría si el soporte incluyese yeso que podría reaccionar con el cemento).
  - mecánico (la resistencia del mortero y su coeficiente de dilatación no deben ser nunca superiores a los del soporte, especialmente si éste es antiguo, para evitar fenómenos de fisuración).
- **Estabilidad**, evitando que se degraden o deformen. Un suficiente curado garantiza que hayan experimentado la mayor parte de las retracciones. Se debe esperar el tiempo necesario para conseguir esta estabilidad del soporte.
- **Limpieza** para evitar la falta de contacto con el mortero, debida a la existencia en la superficie del soporte de restos de polvo, aceites, pinturas, etc.

Es imprescindible la limpieza previa de la superficie, ya sea por cepillado o empleando chorros de arena o agua a presión.

- **Rugosidad** suficiente para facilitar la adherencia del mortero fresco permitiendo el anclaje del mismo.

Si fuese necesario se recurriría al picado de la superficie con cuidado de no aumentar excesivamente las diferencias de relieve; o bien colocar mallas perfectamente ancladas.

- **Porosidad suficiente.** Si el soporte es poco poroso debe valorarse disponer un puente de adherencia que permita una buena adhesión del mortero.
- **Capacidad de absorción de agua limitada** para que no se produzca una desecación prematura de la pasta de mortero antes de su fraguado que podría originar fenómenos de generación de calor excesivo.
- **Un cierto grado de humedad** por lo que, de ser necesario, se deberá mojar previamente y esperar a que deje de estar saturado antes de aplicar el mortero.

## 2.2 Conglomerantes

Se entiende por conglomerantes, un material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efecto de sus transformaciones químicas en su masa, que origina nuevos compuestos.

### 2.2.1 Cales

Óxido de calcio alcalino y de color blanco, obtenido a partir de la calcinación de la piedra Caliza, se usa mezclándola con agua y pigmentos para preparar pinturas o bien mezclándola con arena para preparar morteros.

Las cuales utilizadas en los morteros pueden ser aéreas o hidráulicas

#### **Cal aérea**

La Cal Aérea es el producto resultante de la descomposición por el calor de las Rocas Calizas, que calentándose a temperaturas superiores a los 900°C, devienen en Cal Viva, compuesta fundamentalmente por óxido cálcico.

Echándole agua a la Cal Viva, ésta se transforma en hidróxido de calcio, a partir de lo cual recibe el nombre de Cal Apagada. Es la más utilizada en la construcción. Puede presentar un aspecto exterior polvoriento (Cal en Polvo) o bien pastoso (Cal en Pasta).

**Cal Aérea Grasa:** Pasta fina trabada y untuosa, blanca, que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos y fuera del contacto con el aire. En el agua termina por disolverse.

**Cal Magra o Dolomítica:** Al secarse en el aire se reducen a polvo, y en el agua se deslíen y disuelven. Por estas deficientes cualidades no se utilizan en construcción.

**Cal hidráulica:** las hidráulicas, amasadas con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes. El proceso es más rápido que en el de la cal aérea y da lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como en el agua. En general, la cual se usa para mejorar la plasticidad del mortero y aclarar su color.

### **2.2.2 Cementos**

Son los conglomerantes hidráulicos más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son materiales muy abundantes en la naturaleza. Su precio es relativamente bajos en comparación con otros materiales y tienen unas propiedades muy adecuadas para las especificaciones que deben alcanzar.

#### **Cemento portland**

El Cemento Portland, uno de los componentes básicos para la elaboración del concreto, debe su nombre a Joseph Aspdin, un albañil inglés quién en 1824 obtuvo la patente para este producto.

Debido a su semejanza con una caliza natural que se explotaba en la Isla de Portland, Inglaterra, lo denominó Cemento Portland.

Los cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando le son agregadas arena y grava triturada, se forma lo que se conoce como el material más versátil utilizado para la construcción.

## **Cementos expansivos**

Los cementos expansivos son los que durante su endurecimiento o secado se expanden durante los primeros días de vida. Entre los cementos de este tipo están: cementos expansivos, cementos expansivos de alta energía y un descubrimiento más reciente es el cemento expansivo conocido como Tipo K, dentro de la clasificación ASTM, elaborado en California, hay también un cemento Tipo S que tiene alto contenido de  $C_3A$  (aluminato tricálcico).

## **Cementos de alta alúmina**

Jules Bied creó un cemento de alta alúmina, este cemento cambia mucho en composición y también en algunas propiedades de los cementos Portland, pero las técnicas para fabricar concreto son similares. Estos cementos fueron creados como una solución al ataque de aguas portadoras de yeso a estructuras de concreto de cemento Portland en Francia.

Al conocer información de cada uno de los tipos de cementos existentes, agregamos que la fabricación del cemento requiere un riguroso control; por lo tanto, se realizan diversas pruebas en los laboratorios de las fábricas de cemento para asegurarse de que éste posea la calidad deseada y de que está dentro de todos los requisitos de las normas de cada país. Sin embargo, se descarta que pueda convenir a un comprador o cualquier laboratorio independiente hacer pruebas de aceptación o lo que es más común, examinar las propiedades del cemento que se va a utilizar para alguna aplicación especial. Las cantidades efectivas de los diferentes tipos de compuestos varían de manera considerable de un cemento a otro y realmente es

posible obtener distintos tipos de cemento agregando en forma proporcional los materiales correspondientes.

La reacción mediante la cual el cemento se transforma en un agente de enlace, se produce en una pasta de cemento y agua. En otras palabras los componentes que conforman un cemento en presencia del agua forman productos de hidratación que con el paso del tiempo da como resultado una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento endurecida. Los componentes de los diferentes tipos de cementos pueden reaccionar con el agua de dos formas distintas: hidratación real, en la que se produce una adición directa de algunas moléculas de agua y la hidrólisis, reacción ácido-base entre una sustancia, típicamente una sal, y el agua.

### **Cementos naturales**

Una mezcla homogénea natural o artificial de caliza o arcilla, ésta con un proporción del 22 al 26%, es calcinada a una temperatura comprendida entre los 1280°C y 1350°C a cuya temperatura se obtiene una fase líquida en mayor o menor grado. En presencia de este líquido se obtiene una mayor calidad de silicatos y aluminatos y disminuye considerablemente el contenido CaO libre. Se obtiene así un producto aglomerado, llamado Clinker de cemento natural, porque incluye una fase líquida cristalizada por enfriamiento. El producto así obtenido es molturado a la finura adecuada para su empleo.

### **Aplicaciones**

Resumiendo, la pasta de cemento es el resultado de la mezcla del cemento con el agua y eventual incorporación de aditivos. Mediante la variación de las proporciones en que se combinan estos componentes y por el uso de diferentes cementos y

aditivos, es posible ejercer influencia controlada sobre las características de la pasta de cemento en los siguientes tres aspectos: 1) sus características como fluido viscoso, al ser mezclada, 2) su tiempo de fraguado, durante el cual se rigidiza, 3) sus diferentes propiedades, como material endurecido.

Los 2 materiales estructurales más usados son el concreto y el acero. A veces desempeñan papeles complementarios uno respecto al otro y a veces compiten entre sí, pues algunas estructuras pueden ser construidas con uno solo de estos materiales.

El concreto, conocido también como hormigón, es la mezcla de 4 elementos básicos: agua, cemento, arena y grava. Esta mezcla es utilizada para la fabricación de diferentes elementos en construcción siendo los más comunes:

Pilotes

Trabes

Cimentaciones

Losas

Dallas y castillos

Pisos y firmes

La aplicación y las características del concreto, se determinan según el elemento en el cual será aplicado y su resistencia está sujeta a la relación agua-cemento que se aplique en el mismo. Los miembros estructurales suelen producirse en la obra y su calidad depende en forma casi exclusiva de la calidad de la mano de obra en los procesos de elaboración y colocación del concreto.

## **2.2 Finura**

La finura del cemento es una propiedad vital de este mismo y tiene que someterse a un control cuidadoso. Debe recordarse que la hidratación del cemento comienza sobre la superficie de las partículas, de este modo, la velocidad de hidratación depende de la finura de las partículas de cemento, por lo tanto, para un desarrollo rápido de la resistencia se precisa un alto grado de finura. Por otro lado, la molienda de partículas de cemento, para obtener mayor finura, representa un costo considerable; además, cuanto más fino sea el cemento, se deteriorara más rápido por la atmosfera.

## **2.3 Fraguado**

El fraguado de una pasta de cemento es el término utilizado para describir la dureza o rigidez de la pasta, aún cuando la definición de rigidez de la pasta puede considerarse un poco arbitraria. En otras palabras el cambio del estado fluido al estado rígido de la pasta se refiere al fraguado, por otro lado, el fraguado del endurecimiento se refiere al incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada. En la práctica se utilizan los términos fraguado inicial y fraguado final, el método para determinar estos tiempos de fraguado se conoce como: tiempo de fraguado. El proceso de fraguado va acompañado de cambios de temperatura en la pasta del cemento: el fraguado inicial corresponde a un rápido aumento en temperatura y el final, al máximo de temperatura.

## **2.4 Peso volumétrico**

En los agregados se conoce como peso volumétrico al peso de agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario. Un peso volumétrico alto señala que



quedan muy pocos huecos por llenar, del recipiente, entre cada una de las partículas. Está claro que el peso volumétrico depende de qué tan bien se ha comprimido el agregado, por lo tanto, el peso volumétrico depende del tamaño, distribución y forma de las partículas de este mismo agregado, las partículas de un mismo tamaño se pueden comprimir hasta cierto límite, pero las pequeñas se pueden acomodar entre los huecos de las más grandes, aumentando así el peso volumétrico del material agregado.

### **CAPÍTULO III. MÉTODOS Y MATERIALES**

Este capítulo muestra la metodología y los materiales implementados para realizar la investigación, así poder la recopilar información y poder llegar a un resultado concreto, las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de ingeniería civil, área de concreto en el Instituto Tecnológico de Sonora, campus Nainari. Las pruebas que se llevaron a cabo son determinación de la resistencia a la compresión, peso volumétrico en morteros cemento-cal-arena.

### 3.1 Metodología

- 1.- Dosificación óptima de los componentes de cada mezcla.
- 2.- Elaboración, curado y ensaye de muestras cilíndricas con un altura de 2 in y 2 in de diámetro, para un ensayo a 3, 4, 14, 21, 28, 60, 90 días para una muestra de compresión simple.
- 3.- Reportar los resultados obtenidos en las prueba de laboratorio.
- 4.- Con los resultados obtenidos en la investigación, se realizan las conclusiones y recomendaciones.

#### 3.1.1 Mezclas

Se realizaron 9 tipos de mortero donde este se conformaba por cemento, cal, arena y agua. Donde los parámetros constantes son la arena y el agua, las variables son el cemento y la cal, en la tabla 1 muestra como está compuesta cada una de las familias de morteros.

**Tabla 1.** VARIABLES y proporciones

VARIABLES	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
% Cal/Cemento	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/70	10/90
<b>CAL (gr)</b>	351	312	273	234	195	156	117	78	39
<b>CEMENTO (gr)</b>	39	78	117	156	195	234	273	312	351
<b>ARENA (gr)</b>	1949.35	1949.35	1949.35	1949.35	1949.35	1949.35	1949.35	1949.35	1949.35
<b>AGUA (gr)</b>	425	425	425	425	425	425	425	425	425

### 3.1.2 Procedimiento para determinar la resistencia de las muestras

Este apartado muestra el procedimiento a seguir para realizar la prueba de compresión simple en el laboratorio de ingeniería civil, área de concreto.

- Se hacen los ajustes necesarios, acoplando placas cilíndricas en la máquina para soportar y comprimir las muestras uniformemente.
- Se enciende la máquina hidráulica y se verifican las unidades en las que se trabajará.
- Se limpia y coloca una almohadilla de neopreno en la parte inferior y superior de la muestra para una compresión uniforme.
- Se aplica la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 137 kPa/s a 343kPa/s (84kgf/cm<sup>2</sup>/min a 210 kgf/cm<sup>2</sup>/min). Se permite una velocidad mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada, siempre y cuando durante la segunda mitad se mantenga la velocidad especificada; pueden utilizarse máquinas operadas manualmente o motorizadas que permitan cumplir con lo anterior, teniendo en cuenta que solo se harán los ajustes necesarios en los controles de la máquina de prueba para mantener la velocidad aplicación de carga, hasta que ocurra la falla. Es recomendable colocar en la máquina, dispositivos para cumplir con los requisitos de seguridad para los operadores durante el ensaye del espécimen.

Para realizar los cálculos de la resistencia a la compresión se utiliza la expresión siguiente:

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

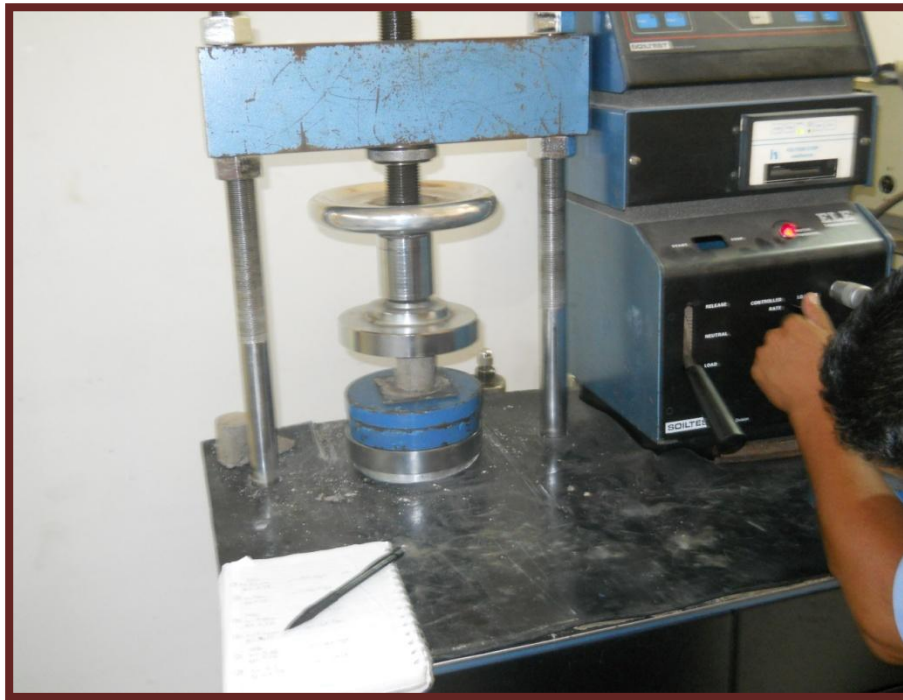
$\sigma$  = Resistencia a compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

N= fuerza axial (kgf)

A= arena (cm<sup>2</sup>)

El registro de los resultados debe incluir los siguientes datos.

- Clave de identificación del espécimen.
- Edad de la muestra.
- Diámetro y altura (cm).
- Área de la sección transversal en cm<sup>2</sup>.
- Masa de la muestra (kg)
- Carga máxima en N (kgf)
- Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)



**Figura 1.** Vista de la prueba de compresión simple en prensa universal VERSA TESTER, laboratorio de ingeniería civil, área de concreto.

### 3.2 Probetas y moldes

La elaboración de los moldes que se utilizaron en la investigación fue en el laboratorio de Ingeniería civil, Campus Náinari, Cd. Obregón, el material usado para molde fue policloruro de vinilo o también llamada por sus siglas PVC, se elaboraron 126 moldes lo cuales se lubricaron con aceite para facilitar el retiro del molde.

Características del molde:

- Figura: cilíndrica
- Altura: 2 pulgadas (in)
- Diámetro: 2 pulgadas (in)

En la preparación de las mezclas se utiliza una charola para evitar contaminar el material y evitar desperdicios, se utiliza una pesa de precisión para el peso de cada uno de los materiales a utilizar, una cuchara para realizar la incorporación de los materiales y finalmente, un pisón de mano para la compactación de la mezcla una vez depositada en el molde.



**Figura 2.** Colado de muestras de mortero cemento-cal.



**Figura 3.** Muestras recién coladas, charola para preparación de mezcla y bascula para el peso de materiales.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Este capítulo muestra los resultados de la investigación, presentados en tablas, estas tablas muestran las nueve familias de morteros realizados, en donde se presenta la variación de cemento y cal, la edad de las muestras, peso, propiedades geométricas, peso volumétrico y resistencia promedio que alcanzaron cada una de las muestras en columnas.

Los resultados registrados en las tablas fueron gráficamente interpretados, todo para un mejor entendimiento de los resultados.



## 4.1 Tablas y resultados

Tabla 2.- Diseño de mezclas y resultados

FAMILIA 1	CAL		CEMENTO 10% (gr)	ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	F' C (kg/cm <sup>2</sup> )	F' C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
	90% (gr)	351															
M501-1	312	39	1949.35	425	3												
M501-2	312	39	1949.35	425	3												
M501-3	312	39	1949.35	425	7												
M501-4	312	39	1949.35	425	7												
M501-5	312	39	1949.35	425	14												
M501-6	312	39	1949.35	425	14												
M501-7	312	39	1949.35	425	21												
M501-8	312	39	1949.35	425	21												
M501-9	312	39	1949.35	425	28												
M501-10	312	39	1949.35	425	28												
M501-11	312	39	1949.35	425	60												
M501-12	312	39	1949.35	425	60												
M501-13	312	39	1949.35	425	90												
M501-14	312	39	1949.35	425	90												
FAMILIA 2	CAL		CEMENTO 20% (gr)	ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	F' C (kg/cm <sup>2</sup> )	F' C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
80% (gr)	312																
M502-1	312	78	1949.35	425	3	161.2	4.55	4.8	16.26	78.05	2065.43	45	20.41	1.26	1.33	2024.43	
M502-2	312	78	1949.35	425	3	167.7	4.55	5.2	16.26	84.55	1983.43	50	22.68	1.39			
M502-3	312	78	1949.35	425	7	153	4.55	5.1	16.26	82.92	1845.05	65	29.48	1.81	2.07	1919.12	
M502-4	312	78	1949.35	425	7	159	4.6	4.8	16.62	79.77	1993.19	85	38.56	2.32			
M502-5	312	78	1949.35	425	14	162.6	4.6	4.9	16.62	81.43	1996.72	85	38.56	2.32	2.39	1942.69	
M502-6	312	78	1949.35	425	14	153.8	4.6	4.9	16.62	81.43	1888.66	90	40.82	2.46			
M502-7	312	78	1949.35	425	21	162	4.6	4.85	16.62	80.60	2009.86	90	40.82	2.46	2.73	1993.02	
M502-8	312	78	1949.35	425	21	156	4.6	4.75	16.62	78.94	1976.17	110	49.90	3.00			
M502-9	312	78	1949.35	425	28	159	4.6	4.8	16.62	79.77	1993.19	120	54.43	3.28	3.44	1979.72	
M502-10	312	78	1949.35	425	28	153.6	4.65	4.6	16.98	78.12	1966.24	135	61.23	3.61			
M502-11	312	78	1949.35	425	60	169.6	4.6	5.1	16.62	84.76	2001.01	270	122.47	7.37	5.49	1973.62	
M502-12	312	78	1949.35	425	60	160.3	4.65	4.85	16.98	82.36	1946.23	135	61.23	3.61			
M502-13	312	78	1949.35	425	90	154.7	4.55	4.7	16.26	76.42	2024.32	315	142.88	8.79	7.87	1984.83	
M502-14	312	78	1949.35	425	90	147.1	4.6	4.55	16.62	75.62	1945.34	255	115.67	6.96			

Tabla 2.- Continuación

FAMILIAS	CAL 50% (gr)	CEMENTO 50% (gr)	ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	F' C (kg/cm <sup>2</sup> )	F' C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
M505-1	195	1197	1949.35	425	3	167.1	4.55	5.05	16.26	87.11	2098.83	375	151.95	9.35	9.02	2090.38
M505-2	195	1197	1949.35	425	3	167.4	4.55	5.9	16.26	82.67	2088.84	375	144.62	8.65		
M505-3	195	1197	1949.35	425	7	169	4.6	5.9	16.62	84.78	2087.63	405	201.83	12.37	13.86	2016.82
M505-4	195	1197	1949.35	425	7	168	4.6	4.8	16.62	83.07	2088.16	505	281.05	13.71		
M505-5	195	1197	1949.35	425	14	169.6	4.65	4.9	16.82	83.10	2092.39	505	283.62	15.75	15.95	20910.16
M505-6	195	1197	1949.35	425	14	166.7	4.6	5	16.62	83.10	2088.28	535	281.75	13.11		
M505-7	195	1197	1949.35	425	21	169	4.65	5.85	16.82	82.96	2076.67	575	260.82	15.30	16.66	20923.35
M505-8	195	1197	1949.35	425	21	168	4.65	4.95	16.82	84.06	1998.54	775	328.87	19.37	19.21	20925.62
M505-9	195	1197	1949.35	425	28	166.8	4.05	5.95	17.88	87.61	2087.92	825	328.85	18.94		
M505-10	195	1197	1949.35	425	28	168.8	4.65	5.95	16.68	85.76	2082.40	815	324.72	19.58		
M505-11	195	1197	1949.35	425	60	178.5	4.65	5.15	16.98	86.61	1987.76	900	481.06	26.88	25.71	20281.66
M505-12	195	1197	1949.35	425	60	169.6	4.65	5.05	16.68	83.92	2088.62	905	488.28	23.68		
M505-13	195	1197	1949.35	425	90	176.2	4.6	4.85	16.62	80.66	2086.89	1425	652.78	39.80	39.98	20285.62
M505-14	195	1197	1949.35	425	90	169.9	4.65	4.75	16.98	87.23	2039.39	1300	586.68	34.77		
FAMILIA 6	40%	CEMENTO 60%	ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	F' C (kg/cm <sup>2</sup> )	F' C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
M506-1	156	1284	1949.35	425	3	167.36	4.55	5.9	16.26	82.67	2086.25	485	193.58	11.25	16.39	2181.76
M506-2	156	1284	1949.35	425	3	169.55	4.55	5.08	16.26	88.09	2074.17	305	136.72	8.58		
M506-3	156	1284	1949.35	425	7	162.4	4.55	5.1	16.62	82.90	2082.61	840	198.66	11.74	17.28	20951.04
M506-4	156	1284	1949.35	425	7	168	4.65	5.5	16.68	84.90	2037.98	785	351.85	29.81	28.67	20842.39
M506-5	156	1284	1949.35	425	14	168.14	4.6	5	16.62	83.10	2088.89	740	346.26	26.25		
M506-6	156	1284	1949.35	425	14	167.7	4.55	4.95	16.62	86.99	2094.96	695	319.17	19.38	20.67	20842.39
M506-7	156	1284	1949.35	425	21	175	4.65	5.1	16.62	86.60	2080.95	780	358.88	21.21	21.97	20807.28
M506-8	156	1284	1949.35	425	21	169.4	4.6	4.9	16.62	83.46	2088.62	815	368.68	22.28		
M506-9	156	1284	1949.35	425	28	178.8	4.6	5	16.62	89.10	2064.35	960	408.65	24.55	25.71	20668.90
M506-10	156	1284	1949.35	425	28	171.4	4.7	5	16.62	86.76	1975.92	985	476.76	26.88		
M506-11	156	1284	1949.35	425	60	173.8	4.65	5	16.98	84.91	2088.99	1685	778.92	46.15	47.09	20807.66
M506-12	156	1284	1949.35	425	60	161.8	4.6	4.9	16.62	83.46	2086.92	1675	785.17	43.67		
M506-13	156	1284	1949.35	425	90	171.2	4.6	5.1	16.62	84.76	2086.97	1695	760.61	43.79	42.76	20917.25
M506-14	156	1284	1949.35	425	90	164.3	4.6	4.8	16.62	89.70	2099.18	1885	797.06	44.92		

Tabla 2.- Continuación

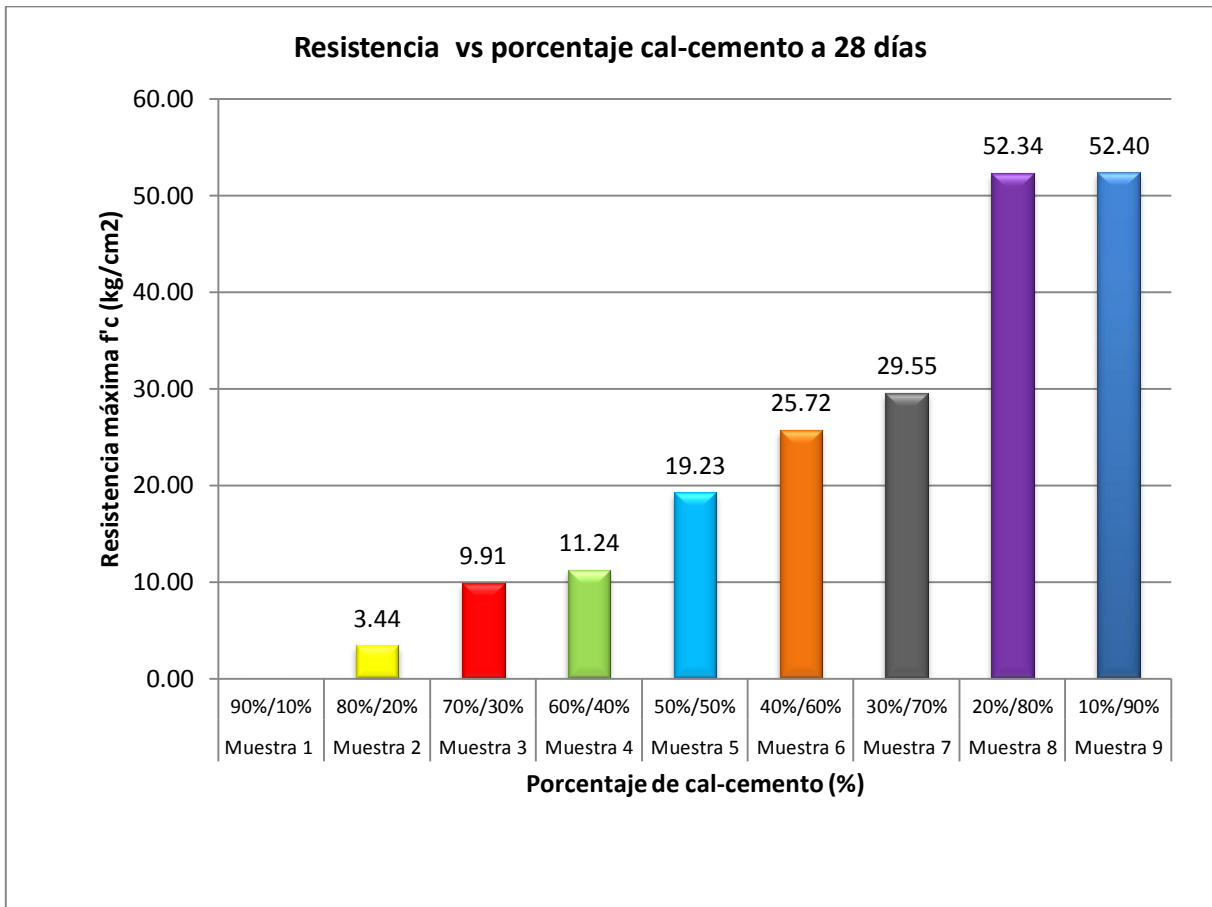
FAMILIA 7	CAL CEMENTO		ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	F' C (kg/cm <sup>2</sup> )	F' C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
	30% (gr)	70% (gr)														
M507-1	117	273	1949.35	425	3	172	4.55	5.1	16.26	82.92	2074.17	465	210.92	12.97	13.99	2047.74
M507-2	117	273	1949.35	425	3	173	4.6	5.15	16.62	85.59	2021.31	550	249.48	15.01		
M507-3	117	273	1949.35	425	7	172.1	4.6	5.05	16.62	83.93	2050.61	725	328.85	19.79	18.90	2063.27
M507-4	117	273	1949.35	425	7	172.5	4.6	5	16.62	83.10	2075.93	660	299.37	18.01		
M507-5	117	273	1949.35	425	14	172	4.6	5.05	16.62	83.93	2049.42	795	360.61	21.70	21.33	2039.16
M507-6	117	273	1949.35	425	14	174	4.65	5.05	16.98	85.76	2028.90	785	356.07	20.97		
M507-7	117	273	1949.35	425	21	159	4.55	4.6	16.26	74.79	2125.82	805	365.14	22.46	22.69	2081.02
M507-8	117	273	1949.35	425	21	169.2	4.6	5	16.62	83.10	2036.22	840	381.02	22.93		
M507-9	117	273	1949.35	425	28	168.8	4.6	4.9	16.62	81.43	2072.86	1315	596.47	35.89	29.55	2075.87
M507-10	117	273	1949.35	425	28	176.2	4.6	5.1	16.62	84.76	2078.88	850	385.55	23.20		
M507-11	117	273	1949.35	425	60	170.6	4.6	5	16.62	83.10	2053.06	1420	644.10	38.76	44.49	2065.10
M507-12	117	273	1949.35	425	60	172.6	4.6	5	16.62	83.10	2077.13	1840	834.61	50.22		
M507-13	117	273	1949.35	425	90	166.2	4.6	4.9	16.62	81.43	2040.93	1825	827.81	49.81	47.01	2039.78
M507-14	117	273	1949.35	425	90	169.4	4.6	5	16.62	83.10	2038.62	1620	734.82	44.22		
FAMILIA 8	CAL CEMENTO		ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	F' C (kg/cm <sup>2</sup> )	F' C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
	20% (gr)	80% (gr)														
M508-1	78	312	1949.35	425	3	171	4.55	5	16.26	81.30	2103.35	715	324.32	19.95	19.81	2139.43
M508-2	78	312	1949.35	425	3	173	4.5	5	15.90	79.52	2175.51	690	312.98	19.68		
M508-3	78	312	1949.35	425	7	171.1	4.6	4.95	16.62	82.26	2079.88	820	371.95	22.38	24.15	2064.08
M508-4	78	312	1949.35	425	7	168.5	4.6	4.95	16.62	82.26	2048.27	950	430.91	25.93		
M508-5	78	312	1949.35	425	14	175	4.6	4.95	16.62	82.26	2127.29	1245	564.72	33.98	35.62	2122.92
M508-6	78	312	1949.35	425	14	169	4.6	4.8	16.62	79.77	2118.55	1365	619.15	37.26		
M508-7	78	312	1949.35	425	21	168.1	4.6	4.85	16.62	80.60	2085.54	1310	594.21	35.75	44.52	2047.94
M508-8	78	312	1949.35	425	21	170.7	4.65	5	16.98	84.91	2010.33	1995	904.92	53.29		
M508-9	78	312	1949.35	425	28	179.3	4.6	5.15	16.62	85.59	2094.92	1965	891.31	53.63	52.34	2089.85
M508-10	78	312	1949.35	425	28	176.7	4.6	5.1	16.62	84.76	2084.78	1870	848.22	51.04		
M508-11	78	312	1949.35	425	60	169.3	4.6	4.8	16.62	79.77	2122.31	2610	1,183.88	71.24	67.28	2101.10
M508-12	78	312	1949.35	425	60	171.1	4.6	4.95	16.62	82.26	2079.88	2320	1,052.33	63.32		
M508-13	78	312	1949.35	425	90	170.7	4.6	4.9	16.62	81.43	2096.19	2080	943.47	56.77	72.33	2115.10
M508-14	78	312	1949.35	425	90	179.1	4.6	5.05	16.62	83.93	2134.02	3220	1,460.57	87.88		

Tabla 2.- Continuación

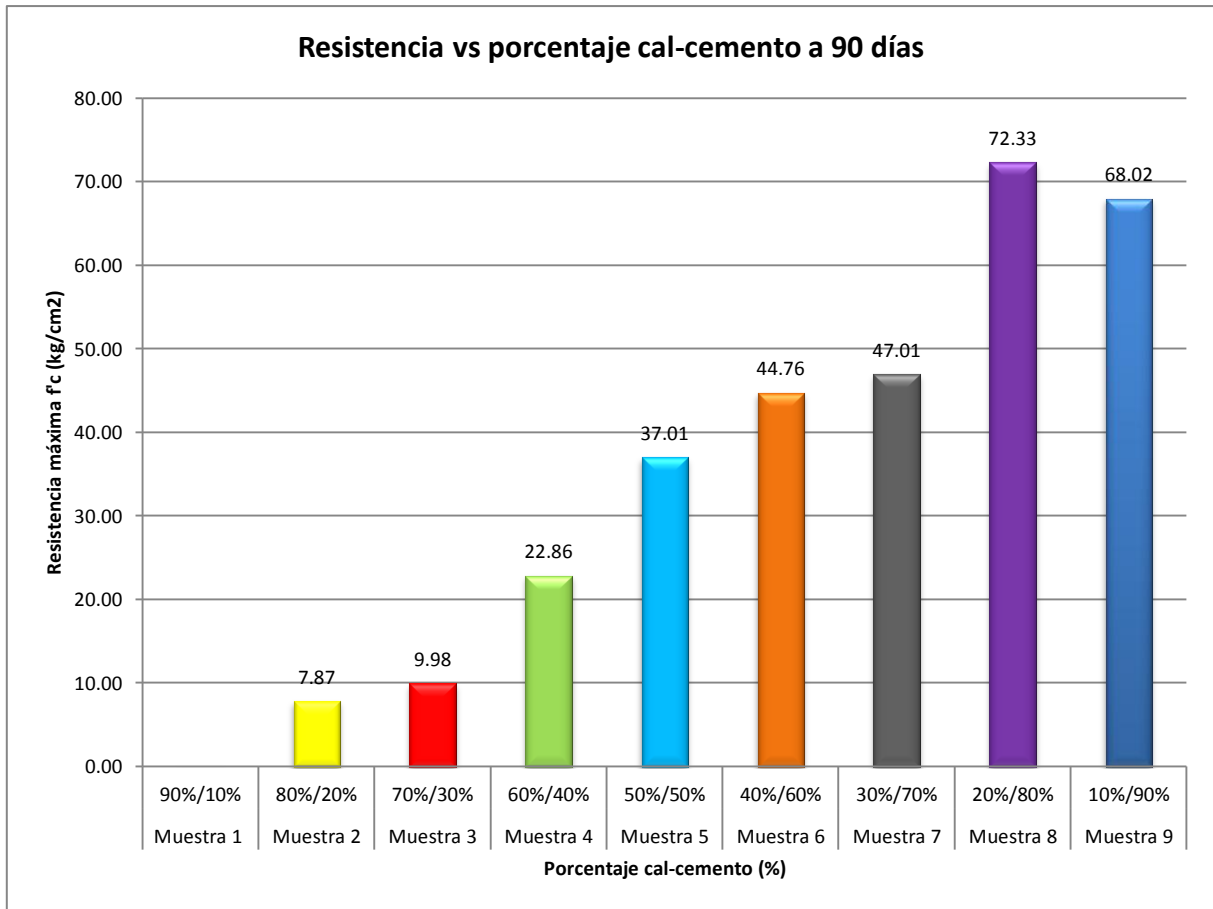
FAMILIA 9	CAL 10% (gr)	CEMENTO 90% (gr)	ARENA (gr)	AGUA (gr)	EDAD DE ENSAYE (días)	PESO (gr)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	Peso Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA MAX (lb)	CARGA MAX (kg)	FC (kg/cm <sup>2</sup> )	F'C (PROMEDIO) (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (PROMEDIO) (kg/m <sup>3</sup> )
M509-1	39	351	1949.35	425	3	169	4.55	5	16.26	81.30	2078.75	850	385.55	23.71	23.83	2127.13
M509-2	39	351	1949.35	425	3	173	4.5	5	15.90	79.52	2175.51	840	381.02	23.96		
M509-3	39	351	1949.35	425	7	168.8	4.6	4.95	16.62	82.26	2051.92	890	403.70	24.29	24.15	2063.47
M509-4	39	351	1949.35	425	7	170.7	4.6	4.95	16.62	82.26	2075.02	880	399.16	24.02		
M509-5	39	351	1949.35	425	14	168	4.6	4.95	16.62	82.26	2042.20	1115	505.76	30.43	32.34	2074.11
M509-6	39	351	1949.35	425	14	168	4.6	4.8	16.62	79.77	2106.02	1255	569.26	34.25		
M509-7	39	351	1949.35	425	21	167	4.6	4.85	16.62	80.60	2071.90	1380	625.96	37.66	36.73	2053.48
M509-8	39	351	1949.35	425	21	172.8	4.65	5	16.98	84.91	2035.06	1340	607.81	35.79		
M509-9	39	351	1949.35	425	28	177.1	4.6	5	16.62	83.10	2131.29	2010	911.72	54.86	52.40	2030.77
M509-10	39	351	1949.35	425	28	163.9	4.65	5	16.98	84.91	1930.24	1870	848.22	49.95		
M509-11	39	351	1949.35	425	60	177.1	4.6	5.1	16.62	84.76	2089.50	2725	1,236.04	74.37	71.78	2095.95
M509-12	39	351	1949.35	425	60	174.7	4.6	5	16.62	83.10	2102.40	2535	1,149.86	69.19		
M509-13	39	351	1949.35	425	90	169.2	4.6	4.8	16.62	79.77	2121.06	2395	1,086.35	65.37	68.02	2096.09
M509-14	39	351	1949.35	425	90	172.1	4.6	5	16.62	83.10	2071.12	2589	1,174.35	70.66		

## 4.2 Gráficos

En este apartado se muestran los resultados gráficamente de la tabla de resultados número 2.



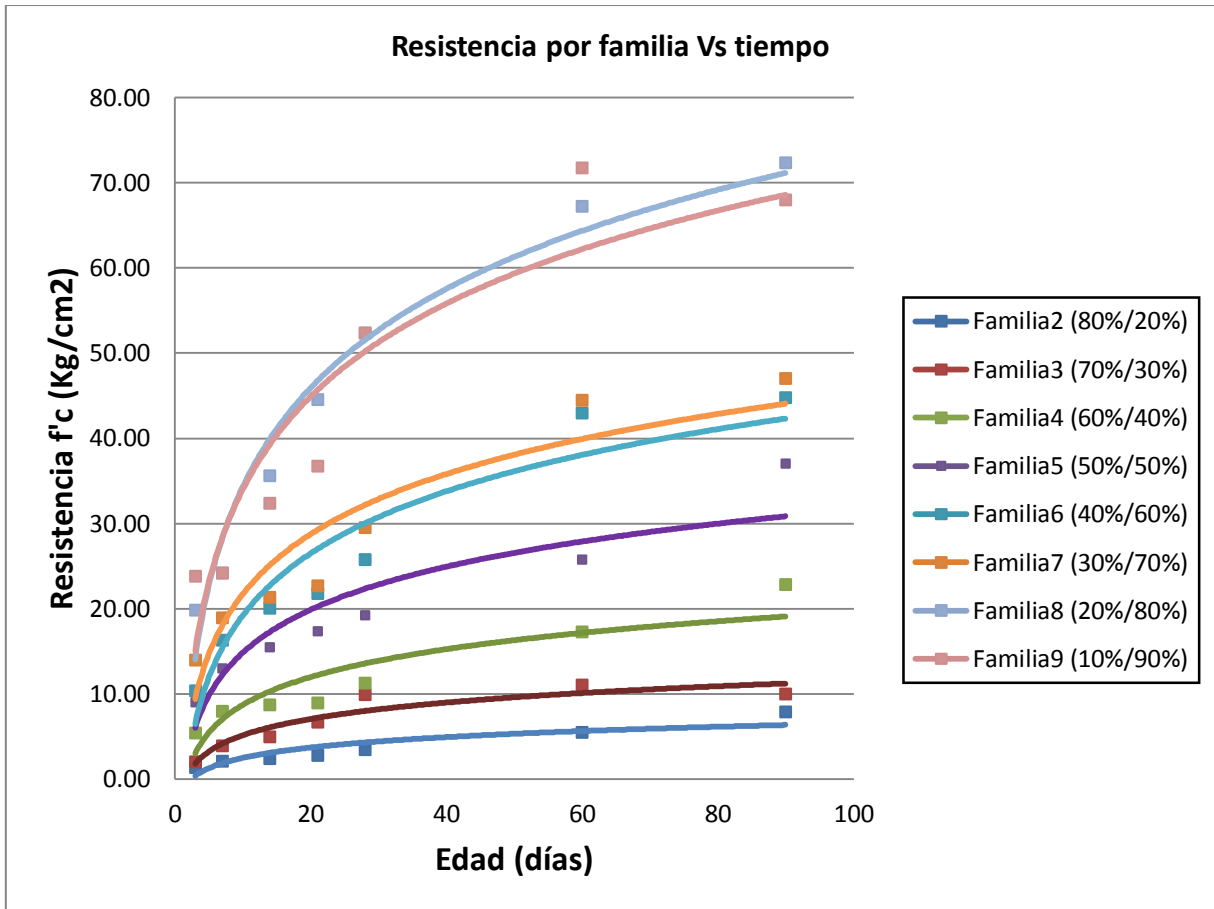
**Figura 4.** Resistencia vs porcentaje cal-cemento a 28 días.



**Figura 5.** Resistencia vs porcentaje cal-cemento a 90 días.

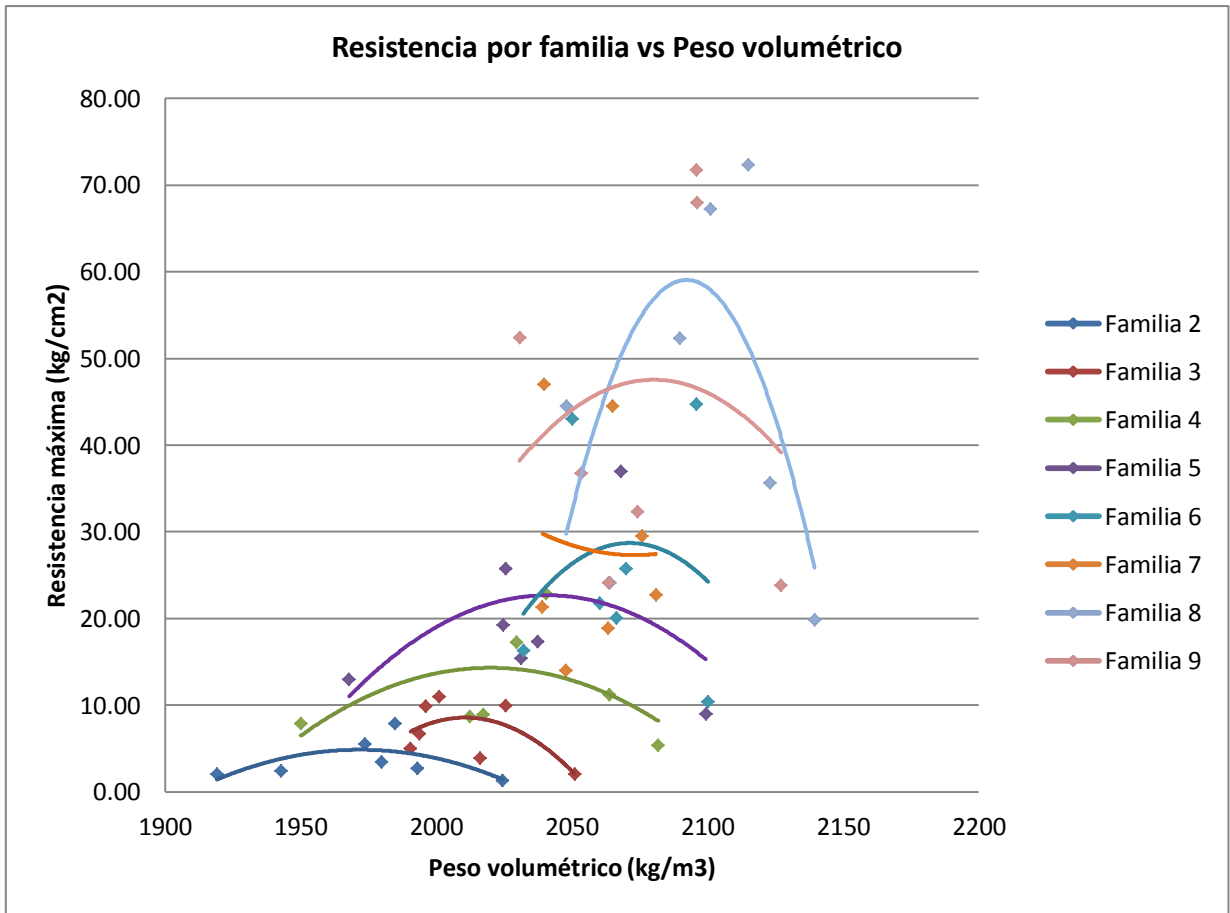
En la figura 4 y 5 se muestran las nueve familias de mortero fabricadas quedando descartada la familia 1, esto porque este mortero contiene un 90% de cal y un 10% de cemento, al ser sometido a fraguado, debido a la falta de permeabilidad de la cal, se deshizo.

Mientras que a partir de la familia 2 a la 9 no se tuvo problema con los días de fraguado, y se alcanzó una resistencia de 3.44 kg/cm<sup>2</sup> a 52.40 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y 7.87 kg/cm<sup>2</sup> a 72.33kg/cm<sup>2</sup> a 90 días, esto se debió a que el porcentaje de cemento fue aumentando de 10% en 10% y el porcentaje de la cal fue disminuyendo de 10% en 10%, por lo tanto su resistencia fue aumentando.



**Figura 6.** Resistencia por familia Vs tiempo.

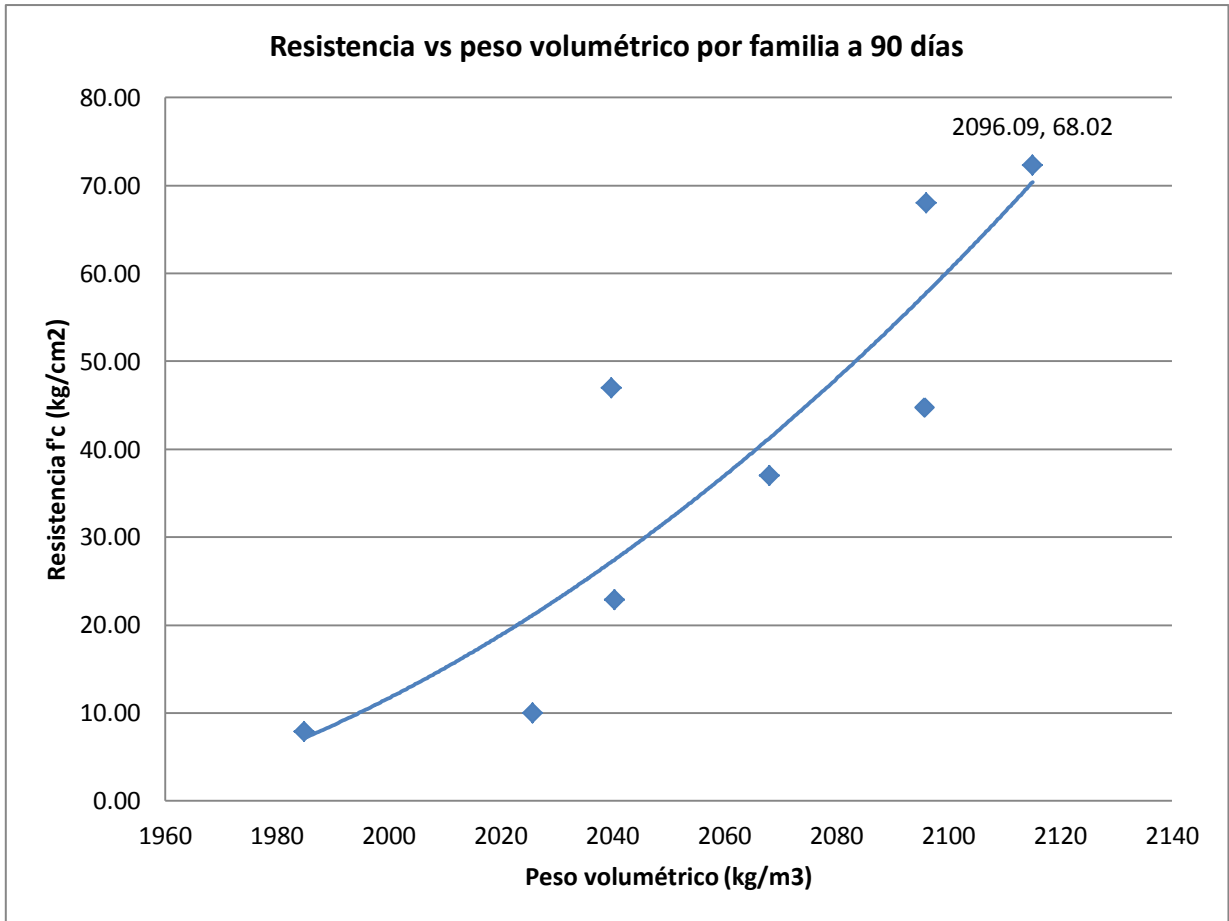
En la figura 6 muestra el incremento de la resistencia de cada familia de mortero conforme va pasando el tiempo de fraguado. Esta nos facilita la elección de la combinación óptima de cal-cemento en el mortero.



**Figura 7.** Resistencia máxima en  $\text{kg/cm}^2$  por familia contra el peso volumétrico  $\text{kg/m}^3$ .

La figura 7 muestra en el eje horizontal el peso volumétrico, y podemos observar que entre más alto el peso volumétrico es mayor el incremento de la resistencia





**Figura 8.** Resistencia máxima en  $\text{kg/cm}^2$  por familia a los 90 días contra el peso volumétrico  $\text{kg/m}^3$ .

### 4.3 Pruebas finales

Por siguiente, se muestra la tabla de resultados individualizada para mejor apreciación de los resultados, esta fue decisión tomada basándose en los distintos gráficos, donde la proporción 80% de cemento y 20% de cal fue la óptima, la cual nos arrojó una resistencia más alta que las otras 8 familias de morteros fabricadas en el laboratorio de ingeniería civil.

Se puede ver que la resistencia máxima alcanzada por las muestras de cemento-cal a los 90 días fue 72.33kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 2.** Familia seleccionada

FAMILIA 8	CAL	CEMENTO	ARENA	AGUA	EDAD DE	DIAMETRO	ALTURA	AREA	CARGA	CARGA	F'C	F'C
	20%	80%			ENSAYE				MAX	MAX	F'C	(PROMEDIO)
	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(días)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(lb)	(kg)	(kg/cm2)	(kg/cm2)
	78	312	1949.35	425	3	4.55	5	16.26	715	324.32	19.95	19.81
	78	312	1949.35	425	3	4.5	5	15.90	690	312.98	19.68	
	78	312	1949.35	425	7	4.6	4.95	16.62	820	371.95	22.38	24.15
	78	312	1949.35	425	7	4.6	4.95	16.62	950	430.91	25.93	
	78	312	1949.35	425	14	4.6	4.95	16.62	1245	564.72	33.98	35.62
	78	312	1949.35	425	14	4.6	4.8	16.62	1365	619.15	37.26	
	78	312	1949.35	425	21	4.6	4.85	16.62	1310	594.21	35.75	44.52
	78	312	1949.35	425	21	4.65	5	16.98	1995	904.92	53.29	
	78	312	1949.35	425	28	4.6	5.15	16.62	1965	891.31	53.63	52.34
	78	312	1949.35	425	28	4.6	5.1	16.62	1870	848.22	51.04	
	78	312	1949.35	425	60	4.6	4.8	16.62	2610	1,183.88	71.24	67.28
	78	312	1949.35	425	60	4.6	4.95	16.62	2320	1,052.33	63.32	
	78	312	1949.35	425	90	4.6	4.9	16.62	2080	943.47	56.77	72.33
	78	312	1949.35	425	90	4.6	5.05	16.62	3220	1,460.57	87.88	

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

De manera breve se presenta la conclusión en este capítulo 5 de la investigación realizada en el Instituto Tecnológico de Sonora en el laboratorio de Ingeniería civil área de concreto.

Se realizaron distintos tipos de gráficos para encontrar la combinación ideal de cal-cemento, en la figura 4 y 5 se graficó resistencia vs porcentaje de cal-cemento y se puede observar que a partir de la familia 2 a la 7 se notó un incremento en la

resistencia en un intervalo del 40 al 50% de los 28 a los 90 días de vida de las muestras, pero no superando los  $50\text{kg/cm}^2$ , mientras que en la familia 8 y 9 a los 28 días de vida hubo un disparo en el incremento de la resistencia comparado con las otras familias de  $52.40\text{kg/cm}^2$  a la máxima alcanzada de  $72.33\text{kg/cm}^2$  a los 90 días.

En la figura 6 se observa de manera más clara el comportamiento que tiene cada familia de mortero, donde se ve el incremento de la resistencia conforme pasa el tiempo de fraguado quedando claro que a medida que el porcentaje de cementante aumenta la resistencia.

De acuerdo a la revisión de la bibliografía citada los morteros de familia 2 y 3 se pueden utilizar para junte de ladrillo en la fabricación de muros ya que la resistencia de esos dos morteros no excede los  $15\text{ kg/cm}^2$  del soporte o ladrillo, mientras que a partir de la familia 4 a la 9 se pueden utilizar para aplanados de muros y losas, ya que alcanzan una resistencia de  $22.86\text{ kg/cm}^2$  a  $72.33\text{ kg/cm}^2$ .

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda ampliamente la supervisión de la fabricación de la mezcla, para que la mezcla siga siendo de calidad y concuerde con los resultados obtenidos en el laboratorio.

Realizar por segunda vez esta investigación para corroborar los resultados obtenidos y también realizar pruebas con distintos materiales para seguir con una continua mejora en los morteros.

## LITERATURA CITADA

- **Afam**, MORTEROS Guía general, Asociación nacional de fabricantes de mortero,
- **Alejandro Sánchez Francisco Javier**, Historia, caracterización y restauración de morteros, Sevilla España 2002, editorial Pedro Cid.
- **CFE**, Manual de tecnología del concreto, tomo 1, 2 y 3, Comisión Federal de Electricidad, 2000.
- (Construmatica, 2013), <http://www.construmatica.com/construpedia/Cal>
- **Crespo Escobar Santiago**, Materiales de construcción para edificación y obra civil, Editorial Club Universitario.
- **F. Gomá**, El cemento portland y otros aglomerantes, Editores técnicos Asociados, S. A., Barcelona España, 1979.
- (Imcyc, 2013) Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdfs/problemas41.pdf>

- **Rezola Izaguirre Julián**, Características y correcta aplicación de los diversos tipos de cemento, Editores técnicos asociados S. A., Barcelona España, 1976.