

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

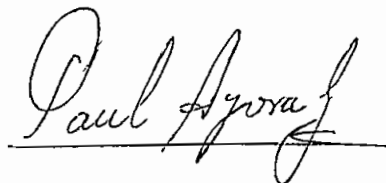
ESTUDIO DEL CEMENTO COMO DIELECTRICO

Tesis previa la obtención del Título de Ingeniero
Eléctrico, Especialización Sistemas de Potencia

HERNAN GUILLERMO VIVERO RAMOS

Quito, Marzo de 1989

CERTIFICO QUE EL PRESENTE
TRABAJO DE TESIS HA SIDO
REALIZADO POR EL SEÑOR
HERNAN GUILLERMO VIVERO
RAMOS.

A handwritten signature in cursive script, reading "Paul Ayora G.", written over a horizontal line.

ING. PAUL AYORA G.
DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

- Al laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.
- Al Instituto de Investigaciones Atómicas de la Escuela Politécnica Nacional.
- Al Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.
- Al Departamento de Operación y Mantenimiento del Sistema Nacional Interconectado del INECEL - S/E SANTA ROSA.
- Al Ingeniero Paúl Ayora G., Director de Tesis.
- Al Ingeniero Marco Ramos B., y Arquitecto Miguel Chavez N.

HERNAN GUILLERMO VIVERO R.

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto determinar las características mecánicas y eléctricas que ofrece el cemento blanco para ser utilizado como base de la fabricación de dieléctricos.

En primer lugar se determina las características de resistencia a la compresión que presentan diversas dosificaciones de mortero de cemento blanco. A través de cada una de las dosificaciones experimentadas se determina la dosificación óptima de trabajo, siendo esta la que presenta el mayor valor de resistencia a la compresión.

Conocida la dosificación óptima, se procede a la impregnación de los morteros con resina Poliéster-Esterino con el objeto de mejorar tanto las características mecánicas como las eléctricas del mortero. Conocidos los resultados de esta experimentación, se procede a elaborar morteros con mezcla de fibra de vidrio y con lana de vidrio, también con la finalidad de mejorar las propiedades electromecánicas del mortero.

En forma paralela se experimenta con la construcción de morteros con presión de compactación, tomando como parámetros de experimentación el tiempo y la presión de compactación.

Los morteros construídos en la forma descrita, son sometidos a varias pruebas eléctricas. Se presentan los resultados de estas pruebas, para que con ellos se pueda delinear las posibles utilizaciones del mortero de cemento blanco en el campo de los dieléctricos.

ESTUDIO DEL CEMENTO COMO DIELECTRICO

CONTENIDO

		<u>PAGINA</u>
CAPITULO 1	GENERALIDADES	
1.1	Introducción	1
1.2	Estudios Preliminares	2
1.3	Objetivos y Alcance	3
CAPITULO 2	LOS DIELECTRICOS SOLIDOS	
2.1	Introducción	4
2.2	Polarización	6
2.2.1	Tipos de Polarización	6
2.3	Conductancia	12
2.4	Pérdidas Dieléctricas	14
2.5	Perforación	15
CAPITULO 3	FABRICACION DE LOS MDRTEROS DE CEMENTO	
3.1	Introducción	16
3.2	Características de los Componentes	16
3.2.1	Cemento Blanco	16
3.2.1.1	Finura	19
3.2.1.2	Firmeza o Estabilidad Dimensional	19
3.2.1.3	Tiempo de Fraguado	20
3.2.1.4	Falso Fraguado	19
3.2.1.5	Resistencia a la Compresión y Tracción	20
3.2.1.6	Calor de Hidratación	20
3.2.1.7	Pérdida por Ignición	20
3.2.2	Cemento Portland Blanco	21
3.2.3	Arena	21

		<u>PAGINA</u>
3.2.3.1	Granulometría	23 ¹
3.2.3.2	Arena Misahuallí	23
3.2.4	Agua	24
3.3	Dosificación de los Morteros	25
3.3.1	Dosificación en Volumen	25
3.3.2	Dosificación en peso	26
3.3.3	Fabricación de los Morteros de Cemento	27
3.3.3.1	Cilindros Standard	28
3.3.3.2	Cilindros Vibrados	28
3.3.3.3	Cilindros con Arena Reclasificada	29
3.3.4	Dosificación Optima	29
CAPITULO 4	MORTEROS IMPREGNADOS	
4.1	Introducción	35
4.1.1	Tipos de Polimerización	35
4.1.2	Polimerización Radical en Cadena	36
4.1.2.1	Polimerización Catalítica-Promovida	36
4.1.2.2	Polimerización por Radiación	36
4.1.2.3	Polimerización Termo-Catalítica	37
4.1.3	Polimerización de los Morteros de Cemento Blanco	37
4.2	Parámetros Considerados en la Polimerización	38
4.2.1	Porcentaje de la Mezcla Poliester-Esterino	38
4.2.2	Tiempo de Polimerización	38
4.3	Proceso de Impregnación	39
4.3.1	Introducción	39
4.3.2	Parámetros Considerados en la Impregnación	39
4.3.2.1	Tiempo de Presión de Vacío	39
4.3.2.2	Presión de Impregnación	39
4.3.2.3	Tiempo de Impregnación	40
4.4	Experiencias y Resultados	40

PAGINA

CAPITULO 5	MORTEROS CON CARGA	4
5.1	Introducción	48
5.2	Vidrio	48
5.2.1	Propiedades de los Vidrios	48
5.2.1.1	Propiedades Eléctricas	49
5.3	Fibra y Tela de Vidrio	52
5.4	Parámetros Estudiados	54
5.4.1	Presión de Elaboración	54
5.4.2	Tiempo de Presión	55
5.4.3	Porcentaje de Carga	55
5.5	Experiencias y Resultados	55
5.5.1	Lana de Vidrio	56
5.5.2	Fibra de Vidrio	57
5.5.2.1	Porcentaje de Carga	57
5.5.2.2	Tiempo y Presión de Compactación	57
5.5.3	Pruebas Mecánicas	58
5.6	Pruebas Eléctricas	68
5.6.1	Resistividad	68
5.6.2	Microdescargas	69
5.6.3	Tangente Delta o Factor de Potencia	69
5.6.4	Permitividad	71
5.6.5	Rigidez Dieléctrica	72
5.6.6	Efecto Corona	72
CAPITULO 6	ANALISIS DE RESULTADOS	
6.1	Conclusiones	81
6.1.1	Características Físicas y Mecánicas	81
6.1.2	Impregnación	81
6.1.3	Morteros con Carga	82
6.1.4	Características Eléctricas	82
6.1.4.1	Resistividad	82

PAGINA

6.1.4.2	Microdescargas y Factor de Potencia	83
6.1.4.3	Permitividad Relativa	84
6.2	Recomendaciones	90
	Bibliografía	92

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción:

La búsqueda de materiales sustitutivos, de aquellos tradicionalmente utilizados en los diversos campos de la técnica, ha sido por mucho tiempo causa de variadas investigaciones, las cuales han pretendido encontrar materiales con características técnico-económicas similares a las que presentan los materiales utilizados en el diseño y producción de productos técnicos.

En ciertas facultades de la Escuela Politécnica Nacional, se han desarrollado varios trabajos, cuyo objetivo ha sido determinar las características técnicas que ofrecen determinados elementos, para la fabricación de materiales específicos.

En todos los trabajos, se ha dado prioridad a la utilización de materia prima de producción nacional, o a la utilización de elementos fáciles de conseguir en nuestro país; con el objeto de que el producto final del estudio, o el nuevo material, tengan un costo económico conveniente y facilidad de producción.

En el presente trabajo se estudian las características que ofrece el cemento Portland combinado con diversos elementos, para ser utilizado como base en la fabricación de dieléctricos.

El nuevo material a ser estudiado, deberá satisfacer los requerimientos técnicos indispensables para la elaboración de dieléctricos.

Determinadas las características eléctricas y mecánicas del nuevo material, se delinearán sus posibilidades específicas de utilización.

1.2 Estudios Preliminares

Desde hace algunos años, en las facultades de Ingeniería Civil e Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional, se efectúan una serie de investigaciones con polímeros y su combinación con diversos materiales, encaminadas a mejorar las propiedades de los materiales en aplicaciones propias de las áreas en que se desarrollaron los estudios.

Concretamente se han efectuado investigaciones sobre madera impregnada con metilmetacrilato (1), aglomerados de cemento hidráulico impregnado con metilmetacrilato (2), mortero y hormigón de cemento Portland impregnado con resina poliéster-estireno (4), entre otros.

En base a las experiencias obtenidas en los trabajos antes mencionados, se decidió incursionar en el campo de la ingeniería eléctrica, tratando de obtener un nuevo material que reemplace con cierta eficiencia a aquellos usados en la construcción de dieléctricos.

En primer lugar se estudió la posibilidad de utilizar la madera tratada, tanto con metilmetacrilato como con poliéster-estireno, impregnados a presión, a fin de que el nuevo material adquiriera mejores características eléctricas y mecánicas.

Para ésto, se analizó dentro de las diversas clases de maderas, disponibles en el país, cuál de ellas ofrece las mayores ventajas, en el desarrollo del trabajo descrito. Realizando el análisis, se decidió trabajar con el sande y el moral fino, maderas que se consideraron como óptimas tanto por su constitución física, como por la localización de la zona de mayor producción de las mismas.

Sin embargo, se decidió eliminar el proceso de tratamiento de la madera, debido al alto costo que implica su impregnación, pues debido a la constitución física de la madera, la cantidad de polímero necesario para lograr una impregnación total, es demasiado alta y su costo honeroso.

Eliminada la alternativa de trabajar con madera, se optó por estudiar las posibilidades que ofrece el cemento Portland impregnado y polimerizado, para su utilización como dieléctrico.

1.3 Objetivos y alcance

La tesis que se desarrolla a continuación tiene como objetivo primordial, determinar las características mecánicas y eléctricas ζ óptimas que se puedan lograr del cemento Portland tanto impregnado con resina poliéster-estireno, como en combinación con fibra y lana de vidrio.

Para esto, en primer lugar se determina la mezcla cemento-arena-agua que ofresca la mayor resistencia a la compresión mecánica, encontrada la correcta proporción se procede a mejorar las propiedades eléctricas de la mezcla, buscando siempre crear un material nuevo con las mejores cualidades dieléctricas y mecánicas posibles.

El presente trabajo no pretende llegar al diseño final de una cierta clase de aislador, sea éste para alta o baja tensión, sino más bien determinar el campo de utilización del material estudiado, en base a las propiedades dieléctricas que presente el mismo.

Conocidas las propiedades mecánicas y eléctricas del ^znuevo material, será objeto de un nuevo estudio, el determinar la forma de alcanzar el mismo material de manera más económica, y dotarlo de el acabado final requerido por las normas técnicas de la construcción de aisladores.

Σ

C A P I T U L O

2

z

LOS DIELECTRICOS SOLIDOS

2. LOS DIELECTRICOS SOLIDOS

2.1 Introducción:

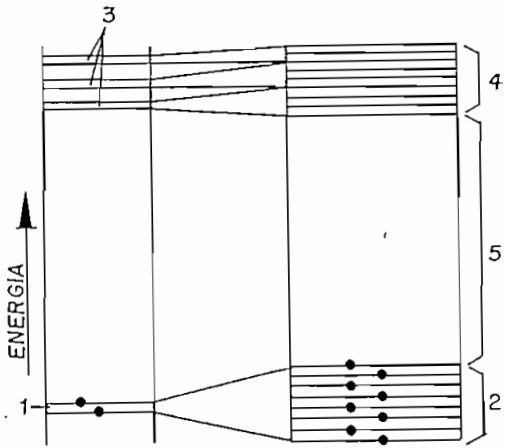
Todas las sustancias, según sus propiedades físicas, pueden ser dieléctricas, conductoras o semiconductoras. La forma más clara de apreciar la diferencia entre conductores semiconductores y dieléctricos, es a través de los diagramas energéticos usados en la teoría de las bandas en los sólidos.

2

El análisis de los espectros de radiación de las diversas sustancias en estado gaseoso, cuando los átomos están a grandes distancias unos de otros, demuestra que los átomos de cada sustancia tienen líneas espectrales características perfectamente definidas. Esto indica que existen determinados niveles de energía para los distintos átomos.

Una parte de estos niveles está ocupada por los electrones cuando el átomo se encuentra en estado normal, es decir, no excitado; en otros niveles sólo pueden estar los electrones después de que el átomo haya sufrido una acción energética externa, o sea, cuando esté excitado. El átomo tiende a estar en su estado estable y en el instante en que los electrones retornan a los niveles en los cuales la energía del átomo es mínima, éste emite la energía sobrante (fig. 2.1).

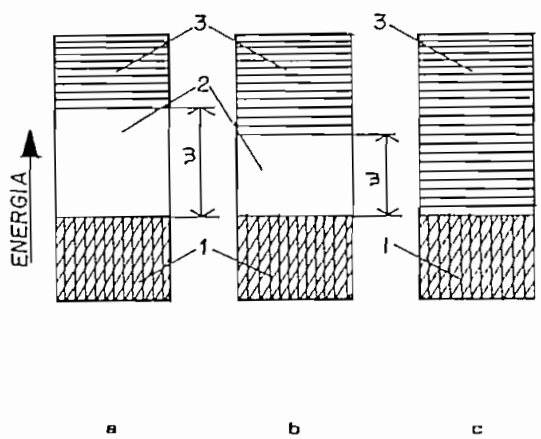
Cuando la sustancia gaseosa pasa al estado líquido y luego se forma la red cristalina del sólido, todos los niveles electrónicos que hay en los átomos dados, se desplazan un poco a consecuencia de la acción de los átomos vecinos. De este modo, de los distintos niveles de energía que hay en los átomos aislados, se forma en el sólido toda una banda de niveles de energía (fig. 2.2).



- 1. Nivel normal de energía
- 2. Banda saturada
- 3. Nivel excitado de energía
- 4. Banda libre
- 5. Banda prohibida

Fig. 2.1 Distribución de niveles de energía en un átomo independiente [izq.] y de un sólido no metálico [der.]. [5].

Σ



- 1. Banda libre
- 2. Banda prohibida
- 3. Banda saturada

Fig. 2.2 Diagrama energético de los sólidos [5].

- a. Conductores
- b. Semiconductores
- c. Dieléctricos

Z

"Un material dieléctrico es aquel que separa dos cuerpos cargados. Para que una substancia sea un buen material dieléctrico, debe ser aislante; por lo tanto, cualquier aislante puede llamarse también dieléctrico". (6). De acuerdo a lo indicado en la figura 2.2, los dieléctricos son los materiales en los cuales la banda prohibida es tan grande, que la conductividad por electrones no se observa en condiciones normales.

Las propiedades eléctricas están determinadas por las condiciones de interacción de los átomos de la substancia y no son una peculiaridad permanente de un átomo dado. Las impurezas y los defectos de la red cristalina influyen mucho en las propiedades de los sólidos.

2.2 Polarización:

Bajo la influencia de un campo eléctrico, las cargas eléctricas ligadas del dieléctrico se desplazan o se orientan en la dirección de las fuerzas que actúan sobre ellas y este desplazamiento es tanto más grande, cuanto mayor es la intensidad del campo. Cuando se elimina el campo eléctrico, las cargas vuelven a su estado anterior. En los dieléctricos polares, que contienen moléculas dipolares, la acción del campo eléctrico provoca además la orientación de los dipolos en la dirección del campo; en ausencia del campo se desorientan los dipolos en virtud del movimiento térmico.

La mayoría de los dieléctricos se caracteriza por que en ellos el desplazamiento eléctrico es función de la intensidad del campo eléctrico aplicado; siendo un grupo especial aquellos dieléctricos en que, al variar la intensidad del campo, el desplazamiento no es lineal, siendo evidente la saturación cuando la intensidad del campo tiene un valor determinado. Este grupo de dieléctricos es conocido como ferroeléctricos.

2

2.2.1 Tipos de Polarización:

Dependiendo del estado de agregación y de la estructura de los dieléctricos, existen dos tipos fundamentales de polarización. Al primer

tipo pertenecen las polarizaciones electrónica e iónica, las mismas que se producen bajo la acción del campo eléctrico, de manera instantánea, totalmente elástica y sin disipación de energía. Al segundo tipo, pertenece la llamada polarización de relajación, la cual no es instantánea, sino que crece y decrece lentamente y va acompañada de disipación de energía en el dieléctrico.

Polarización electrónica C_e , Q_e

Este tipo de polarización se observa en todos los tipos de dieléctricos y consiste en el desplazamiento elástico y en la formación de las capas electrónicas de los átomos e iones. Se establece de manera instantánea, alrededor de $10E-15$ s. z

El desplazamiento y la deformación de las órbitas electrónicas, no depende de la temperatura, sin embargo, la polarización electrónica de la substancia disminuye al aumentar la temperatura, debido a que el dieléctrico se dilata y el número de partículas por unidad de volumen disminuye.

Polarización iónica C_i , Q_i

Este tipo de polarización es característico de los sólidos de estructura iónica y se debe al desplazamiento de los iones, que están ligados elásticamente. El tiempo de establecimiento de este tipo de polarización es del orden de los $10E-13$ s.

Al elevarse la temperatura, se acentúa esta polarización, ya que se debilitan las fuerzas elásticas interiónicas debido a que aumentan las distancias entre los iones.

Polarización dipolar de relajación C_{dr} , Q_{dr}

Este tipo de polarización llamada simplemente dipolar está relacionada con el movimiento térmico de las partículas. Las moléculas dipolares, que se encuentran en movimiento térmico caótico, se orientan parcialmente por la acción del campo, lo cual es la causa de la polarización.

La polarización dipolar se presenta cuando las fuerzas moleculares no impiden que los dipolos se orienten con el campo, en un medio viscoso los dipolos tienen que vencer cierta resistencia (R_{dr}) para poder girar en dirección al campo por lo cual este tipo de polarización va ligada a pérdidas de energía.

La polarización dipolar es propia de los gases y líquidos polares, pero se observa también en sustancias orgánicas sólidas polares, debiéndose en este caso la polarización al giro de los radicales que hay en ella con respecto a la molécula, y no al giro de la molécula misma. Este tipo de polarización se llama dipolar de radicales; siendo la celulosa un ejemplo de sustancia que presenta este tipo de polarización, debido a la existencia en ella de grupos hidróxidos OH.

Polarización iónica de relajación C_{ir} , Q_{ir}

Se observa en cristales inorgánicos y en algunas sustancias iónicas cristalinas con empaquetamiento no denso de iones. En este caso los iones débilmente ligados de la sustancia, reciben por la acción del campo eléctrico, en medio de los impulsos térmicos caóticos otros adicionales en la dirección del campo.

Este tipo de polarización se intensifica notablemente con el aumento de la temperatura.

Polarización electrónica de relajación C_{er} , Q_{er} , R_{er}

Se produce a expensas de los electrones en exceso o huecos excitados por la energía térmica, esta polarización es característica de los dieléctricos con alto índice de refracción y conductividad eléctrica por electrones, como el bióxido de titanio con impurezas de calcio y bario.

Polarización por migración C_m , Q_m , R_m

Σ

Se concibe como un mecanismo de polarización adicional que se

manifiesta en los sólidos de estructura no homogénea cuando las heterogeneidades son macroscópicas y existen impurezas. Esta polarización se produce con frecuencias bajas e implica una dispersión considerable de energía eléctrica. Son causantes de esta polarización las inclusiones conductoras y semiconductoras que hay en los dieléctricos técnicos, las capas con distinta conductibilidad, etc.

Cuando en un campo eléctrico se introduce materiales no homogéneos, los electrones libres y los iones de las inclusiones conductoras y semiconductoras se desplazan dentro de los límites de cada inclusión formando grandes zonas polarizadas. En los materiales laminares o estratificados en los límites de separación de las capas y en las capas anexas a los electrodos, puede producirse una acumulación de cargas de los iones que se mueven lentamente.

En la fig. 2-3 todas las capacidades del circuito equivalente, están puestas en paralelo con la resistencia R_{aisl} , que representa la resistencia del aislamiento a la corriente de fuga a través del dieléctrico.

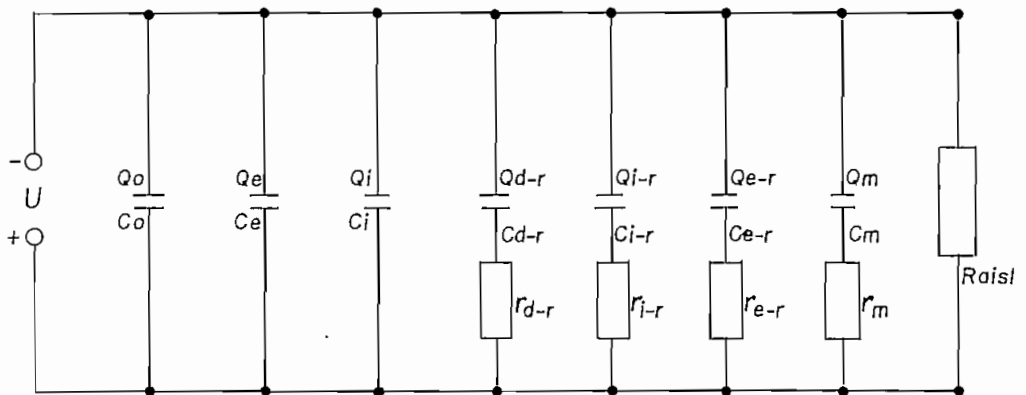


Fig. 2.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN DIELECTRICO COMPLEJO CON DIVERSOS MECANISMOS DE POLARIZACION. (5)

U. Fuente de tensión; C_0 y Q_0 , capacidad y carga en el vacío; las demás C y Q son respectivamente las capacidades y cargas correspondientes a las polarizaciones electrónica, dipolar de relajación, iónica de relajación, electrónica de relajación y por migración; R_{aisl} , resistencia del aislamiento a la corriente de fuga.

CONSTANTE DIELECTRICA

Todo dieléctrico provisto de electrodos e intercalado en un circuito puede considerarse como un condensador de capacidad determinada. [Figura 2-3]

Como se sabe, la carga de un condensador es:

$$Q = CV \quad (1)$$

donde C es la capacidad del condensador, y V la tensión que se le aplica. La cantidad de electricidad Q, para un valor dado de la tensión aplicada, es la suma de dos componentes: Q₀, que es la carga que existiría en los electrodos si estuvieran separados por el vacío, y Q_d, que es la debida a la polarización del dieléctrico que en realidad separa dichos electrodos.

$$Q = Q_0 + Q_d \quad (2)$$

Una de las características más importantes de un dieléctrico, y que tiene gran valor para la técnica, es su permitividad relativa o constante dieléctrica.

Esta magnitud es la razón de la carga Q, obtenida con una tensión determinada en el condensador que contiene el dieléctrico dado, a la carga Q₀ que podría obtenerse en un condensador de las mismas dimensiones y con la misma tensión, si entre sus electrodos se encontrara el vacío:

$$\epsilon_r = \frac{Q}{Q_0} = \frac{Q_0 + Q_d}{Q_0} = 1 + \frac{Q_d}{Q_0} \quad (3)$$

De esta expresión se deduce que la permitividad relativa de cualquier substancia dieléctrica es mayor que la unidad, siendo igual a ésta, únicamente en el caso del vacío.

El valor de la constante dieléctrica o permitividad relativa de una

substancia cualquiera no depende del sistema de unidades que se elija.

De [1] se puede concluir que:

$$Q = Q_0 \epsilon = CV = C_0 V \epsilon \quad [4]$$

donde C_0 es la capacidad que tendría el condensador dado si sus electrodos estuvieran separados por el vacío.

En [4] se ve que la constante dieléctrica de una substancia puede determinarse como la razón de la capacidad de un condensador con el dieléctrico dado a la capacidad de otro condensador de las mismas dimensiones cuyo dieléctrico sea el vacío.

"La constante dieléctrica de los sólidos puede tomar los valores numéricos más diversos, de acuerdo con la diversidad de peculiaridades estructurales del dieléctrico sólido. En los sólidos son posibles todos los tipos de polarización". [5]

La constante dieléctrica, es una medida cuantitativa del desplazamiento o el efecto de la carga del material, por lo cual tiene un valor característico para cada material.

El desplazamiento eléctrico o densidad de flujo, D , del material dieléctrico es proporcional a la intensidad del campo eléctrico E , y la constante de proporcionalidad es la permisividad eléctrica o constante dieléctrica ϵ .

$$D = \epsilon \cdot E = K \cdot \epsilon_0 E \quad [5]$$

Cuando $K = \epsilon / \epsilon_0$

El desplazamiento eléctrico en el material dieléctrico también se puede representar mediante la siguiente relación:

$$D = \epsilon_0 \cdot E + P \quad [6]$$

En la cual P es el momento dipolar total inducido, por unidad de volúmen, conocido como polarización del material. Sustituyendo D en la ecuación [5] y despejando P , se obtiene:

$$P = K \epsilon_0 E - \epsilon_0 E = \epsilon_0 E (K-1) \quad (7)$$

El término $(K-1) = \chi_e$ se conoce como susceptibilidad dieléctrica, y se puede expresar así:

$$P = \epsilon_0 E \chi_e \quad (8)$$

En vista de que P , la polarización total, es el producto del efecto combinado de momentos dipolares pequeños μ , producidos por el desplazamiento de la carga en los átomos o moléculas, se obtiene:

$$P = N \mu \quad (9)$$

En donde N es el número de moléculas por unidad de volumen.

De las ecuaciones (8) y (9) se obtiene:

$$\mu = \frac{P}{N} = \frac{\epsilon_0 \chi_e E}{N} \quad (10)$$

El término: $\frac{\epsilon_0 \chi_e}{N} = \alpha$

Se conoce como polarizabilidad, y la ecuación (10) se convierte en:

$$P = N \alpha E$$

2.3 Conductancia

Los procesos de polarización por desplazamiento de las cargas ligadas, que tienen lugar en la substancia hasta el instante en que se establece el estado de equilibrio, transcurren en cierto tiempo, creando

corrientes de polarización o de desplazamiento en los dieléctricos. Las corrientes de desplazamiento de las cargas ligadas elásticamente durante las polarizaciones electrónicas e iónicas duran tan poco, que por lo general no las registran los instrumentos, las corrientes de desplazamiento de los diversos tipos de polarización retardada que se observan en un gran número de dieléctricos técnicos, se llaman corrientes de absorción. Cuando el campo eléctrico es constante, las corrientes de absorción solo pasan, invirtiendo su dirección, en los instantes en que se conecta y desconecta el campo; cuando el campo eléctrico es variable, se producen durante todo el tiempo que permanece el material en tal campo eléctrico.

La existencia de un pequeño número de cargas libres en los dieléctricos técnicos ocasiona corrientes de fuga. Por lo tanto, la densidad total de la corriente en un dieléctrico será igual a la suma de las densidades de las corrientes de fuga y de desplazamiento.

La densidad de la corriente de desplazamiento se determina por la velocidad con la que varía el vector de inducción, que depende de los desplazamientos instantáneos (electrónico e iónico) y retardados de las cargas.

Las corrientes de polarización deben tenerse en cuenta al medir la conductancia de los dieléctricos, porque si la probeta del dieléctrico se mantiene poco tiempo bajo tensión, se registra, por lo general, no sólo la corriente de fuga, sino también la de absorción que la acompaña, con lo cual parece erróneamente que su conductancia es grande. La conductancia del dieléctrico cuando la tensión es constante, está determinada por la corriente de fuga, seguida del desprendimiento y la neutralización de las cargas en los electrodos. Cuando la tensión es variable, la conductancia no solo está determinada por la corriente de fuga, sino también por las corrientes de polarización.

En la mayoría de los casos la peculiaridad de la conductancia de los dieléctricos consiste en que su carácter no es electrónico.

La resistencia verdadera de un dieléctrico R_{aisl} , que determina la magnitud de la corriente de fuga está en relación directa de la tensión aplicada y de la corriente medida.

"Como las corrientes de polarización, incluídas las de las formas retardadas, suelen ser difíciles de determinar, la resistencia del dieléctrico se calcula como el cociente de dividir la tensión por la corriente, medida al cabo de un minuto de haber sido conectada la tensión, la cual se toma como corriente de fuga". (5)

En los materiales aislantes sólidos hay que distinguir la conductancia volumétrica o transversal de la superficial; para dar el valor relativo de cada material en cuanto a su conductancia se utilizan los valores de la resistividad volumétrica ρ_v y de la resistividad superficial ρ_s .

Por la resistividad volumétrica puede determinarse la conductividad volumétrica; lo mismo puede hacerse para la conductividad superficial.

2.4 Pérdidas Dieléctricas

Se entiende por pérdidas dieléctricas, la energía que se disipa en el dieléctrico en la unidad de tiempo, cuando actúa sobre él un campo eléctrico que provoca su calentamiento.

Las pérdidas de energía en los dieléctricos se observan tanto si la tensión es alterna, como si es contínua, ya que en el material se pone de manifiesto la corriente de fuga debida a la conductancia. Cuando la tensión es continua y no existe polarización periódica, la calidad del material se caracteriza, como se indicó antes, por los valores de las resistividades volumétrica y superficial. Si la tensión es alterna hay que utilizar alguna otra característica de la calidad del material, porque en este caso, además de la corriente de fuga, aparece, una serie de causas adicionales que ocasionan pérdidas de energía en el dieléctrico.

Las pérdidas dieléctricas en un material aislante pueden caracterizarse

por la potencia disipada referida a la unidad de volumen o pérdidas específicas; como característica de la aptitud del dieléctrico para disipar energía en un campo eléctrico se utiliza con frecuencia el ángulo de pérdidas dieléctricas y la tangente de este ángulo.

Se llama ángulo de pérdidas dieléctricas al complementario del ángulo de desfase, entre la corriente y la tensión en el circuito de capacidad. En el caso de un dieléctrico perfecto, el vector corriente adelantará al vector tensión en 90° y el ángulo será nulo. Cuando mayor sea la potencia que se disipa en el dieléctrico (convirtiéndose en calor), tanto menor será el ángulo de desfase y tanto mayor el ángulo de pérdidas dieléctricas .

Si las pérdidas dieléctricas en el material aislante son excesivamente grandes, provocan un calentamiento intenso de las piezas fabricadas con él y pueden ocasionar su destrucción térmica.

2.5 Perforación

Un dieléctrico situado en un campo eléctrico pierde sus propiedades de material aislante si la tensión del campo supera cierto valor crítico. Este fenómeno recibe el nombre de perforación o ruptura del dieléctrico o de la alteración de su rigidez eléctrica. La tensión a que se produce la perforación del dieléctrico, se llama tensión disruptiva y el valor respectivo de la intensidad del campo, rigidez del dieléctrico.

La rigidez dieléctrica de los materiales aislantes conviene obtenerlos expresando la tensión disruptiva en kilovoltios y el espesor del dieléctrico en milímetros.

La perforación térmica es consecuencia de la disminución de la resistencia óhmica del dieléctrico debida a la influencia de su calentamiento por el campo eléctrico, que hace que aumente la corriente activa y que continúe calentándose el dieléctrico hasta producir su rotura térmica o una combinación de efectos térmicos y eléctricos.

C A P I T U L O

3

FABRICACION DE LOS MORTEROS

DE CEMENTO

CAPITULO 3

FABRICACION DE LOS MORTEROS DE CEMENTO

3.1 Introducción

Se conoce como mortero a la mezcla obtenida de la combinación de arena, agua y material ligante. El nombre del mortero dependerá del tipo de material ligante utilizado, pudiendo ser este la cal, el yeso, el cemento, etc. En el presente trabajo el mortero se denominará de cemento blanco.

Los morteros se clasifican en aéreos e hidráulicos, los primeros son aquellos que se endurecen en el aire y además no son resistentes al agua, a este grupo pertenecen los morteros de cal y yeso. Los morteros hidráulicos son aquellos que endurecen tanto en el aire como en el agua, pertenecen a esta clasificación los morteros de cemento y los de cales hidráulicas; se incluyen también los formados por puzolanas, las que al mezclarse con cales producen materiales hidráulicos resistentes [4].

El mortero de cemento está conformado por cemento blanco, agua y arena en proporciones determinadas, la composición de la mezcla determinará las características del mortero.

3.2 Características de los Componentes

3.2.1 Cemento Blanco

Es una mezcla de materiales que contienen cal y arcilla, que se calcinan hasta formar una escoria que consiste fundamentalmente de silicato de calcio hidratado, luego es pulverizado hasta obtener

una finura que permita que casi la totalidad de las partículas pasen a través de una malla con 40000 aberturas por pulgada cuadrada; al producto pulverizado y horneado como "clinker" se le adiciona yeso para retardar el tiempo de fraguado, ya que sin éste se produciría el endurecimiento inmediato. [7]

Al cemento blanco se lo considera como un cemento hidráulico ya que fragua y endurece con el agua, a esta reacción se la denomina hidratación, la misma que es una reacción química en la que se combinan el cemento y el agua para formar una masa resistente de características pétreas.

- Tipos de cemento: el cemento Portland se fabrica en diferentes tipos, para satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas. La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM, especifica cinco tipos básicos de cemento Portland, estos son los tipos I, II, III, IV, V.

Las propiedades que cada uno debe tener se detallan en la norma C-150 del manual de normas No. 14. La Asociación Canadiense de Normas CSA menciona también cinco tipos que son: Normal, Moderado, de rápido fraguado, de bajo calor de hidratación y resistente a los sulfatos, las propiedades de cada uno se especifican en la norma A-5 del manual de la CSA. En forma similar la organización que agrupa a los fabricantes de cemento, el CEMBUREAU, especifica seis tipos de cemento Portland designados como: OC, RHC, HSC, LHC, SRC y AEC. [7]

Composición General En forma general se puede decir que los cementos Portland están formados por cuatro compuestos principales:

<u>COMPUESTOS</u>	<u>ABREVIATURA</u>	<u>FORMULA</u>
Silicato tricálcico	C3S	3 CaO. SiO ₂
Silicato dicálcico	C2S	2 CaO. SiO ₂
Aluminato tricálcico	C3A	3 CaO. Al ₂ O ₃
Aluminato ferrita tetracálcico	C4AF	4 CaO. Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃

El contenido y porcentaje de cada elemento puede determinarse a través del análisis químico del cemento, el mismo que se detalla en la norma C-114 de la ASTM, y los requerimientos químicos se especifican en la norma ASTM C-150 o CSA A-5.

En el cuadro se da la composición usual de los principales tipos de cemento Portland: [7]

<u>TIPO DE CEMENTO</u>			<u>COMPOSICION EN PORCENTAJE</u>			
ASTM	CSA	CEMBUREAU	C3S	C2S	C3A	C4AF
I	Normal	OC	50	24	11	8
II	Moderado	SRC/LHC	42	33	5	13
III	Endurecimiento rápido	RHC	60	13	9	8
IV	Bajo calor de hidratación	LHC	26	50	5	12
V	Resistente a los sulfatos	SRC	40	40	4	9

Propiedades del Cemento Portland

La composición química y algunas propiedades físicas del cemento son limitados por parte de las especificaciones que éste debe cumplir. El significado de algunas de estas propiedades es importante para conocer las características del mortero fabricado con cemento.

3.2.1.1 Finura

Se refiere al tamaño de los granos molidos, mientras más pequeños son estos, presentan una mayor superficie. Con el aumento de la finura se aumenta la rapidez de hidratación y la adquisición de resistencia.

Al presentar una mayor superficie, el cemento puede recubrir en mejor forma el objeto a aglomerar y el agua reaccionará más profundamente.

3.2.1.2 Firmeza o estabilidad dimensional

Es la cualidad de la pasta de cemento endurecida de conservar su volumen luego de fraguar. La variación de volumen se produce por cantidades excesivas de magnesia o por la presencia de cal libre después del fraguado inicial.

3.2.1.3 Tiempo de fraguado

La pasta de cemento debe permanecer en estado plástico un tiempo suficiente para permitir su colado.

Se definen los tiempos de fraguado, el inicial que es el tiempo transcurrido desde la adición del agua hasta la pérdida parcial de la plasticidad, y el final que es el tiempo hasta que el cemento adquiera una buena resistencia y permita una cierta presión.

3.2.1.4 Falso fraguado

Es la pérdida inmediata de plasticidad sin mucha generación de calor. La plasticidad no se pierde si después del falso fraguado se sigue amasando la mezcla, pero no debe añadirse agua, además esta no produce dificultades en el manejo y trabajabilidad de los materiales fabricados con cemento.

3.2.1.5 Resistencia a la compresión y tracción

La calidad del cemento es estimada mediante la resistencia que desarrolla una vez endurecido. La resistencia relativa a las diferentes edades está influenciada por la composición química y por la finura.

Se especifica también un esfuerzo mínimo de tracción aunque este valor es de menor significación que el esfuerzo de compresión debido a las condiciones de trabajo a las que son impuestos los materiales fabricados con cemento.

3.2.1.6 Calor de hidratación

La reacción del cemento con el agua tiene carácter exotérmico, al calor producido se lo denomina de hidratación. En estructuras que requieren grandes volúmenes, la rapidez y la cantidad de calor generado son importantes, ya que la dilatación térmica y luego la contracción producida por el enfriamiento posterior, puede crear esfuerzos perjudiciales.

3.2.1.7 Pérdida por ignición

La pérdida de peso por el sometimiento del cemento a altas temperaturas, puede ser de importancia cuando éste se utilice en estructuras de tipo industrial que generen calor y fuego. En forma normal la pérdida no debe ser mayor al dos por ciento.

Los métodos para la determinación de estas propiedades se detallan en los manuales de normas de la ASTM, CSA, BS, (8), (9), (10).

3.2.2.Cemento Portland Blanco

La mayoría de los cementos del tipo I, o normal, tiene una composición de óxidos dentro de las siguientes variaciones: (7)

OXIDOS	VARIACION
Cal, C_2O	60 - 66
Sílice, SiO_2	19 - 25
Aluminio, Al_2O_3	3 - 8
Hierro, Fe_2O_3	1 - 5 /
Magnesio, MgO	0 - 5
Trióxido de Azufre, SO_3	1 - 3

El cemento blanco es un verdadero cemento Portland y se fabrica de acuerdo a las especificaciones de la ASTM C-150 y C-175. la elaboración del cemento Portland blanco se hace con materias primas seleccionadas, que contienen cantidades insignificantes de óxidos de hierro y manganeso. El proceso de fabricación está controlado de manera que el producto terminado sea blanco, en lugar de gris (7).

Puesto que el objetivo primordial del presente trabajo, es el formar un material con características de dieléctricos, se escoge el cemento Portland blanco para la fabricación de los morteros, debido a las mejores características de su materia prima de elaboración.

En adelante, al hablar del mortero de cemento Portland, nos referimos al mortero elaborado con cemento blanco.

3.2.3 Arena

A este componente se lo denomina en la composición de la mezcla del mortero como el agregado o árido fino.

GRANULOMETRIA ARENA MISAHUALLI

TAMIZ	(gr.)	(gr.)	%	%
	Peso retenido PARCIAL	Peso retenido ACUMULADO		
# 4	0,0	0,0	0	0
# 8	0,0	0,0	0	0
# 16	4,14	4,14	0,41	99,59
#30	8,94	13,08	1,30	98,70
# 50	437,04	450,12	44,87	55,13
#100	449,84	899,96	89,68	10,32
#200	80,94	980,90	97,78	2,22
PASA	22,24	1003,14	100,00	0,00
TOTAL	1003,14			

MODULO DE FINURA 1,36

CURVA GRANULOMETRICA

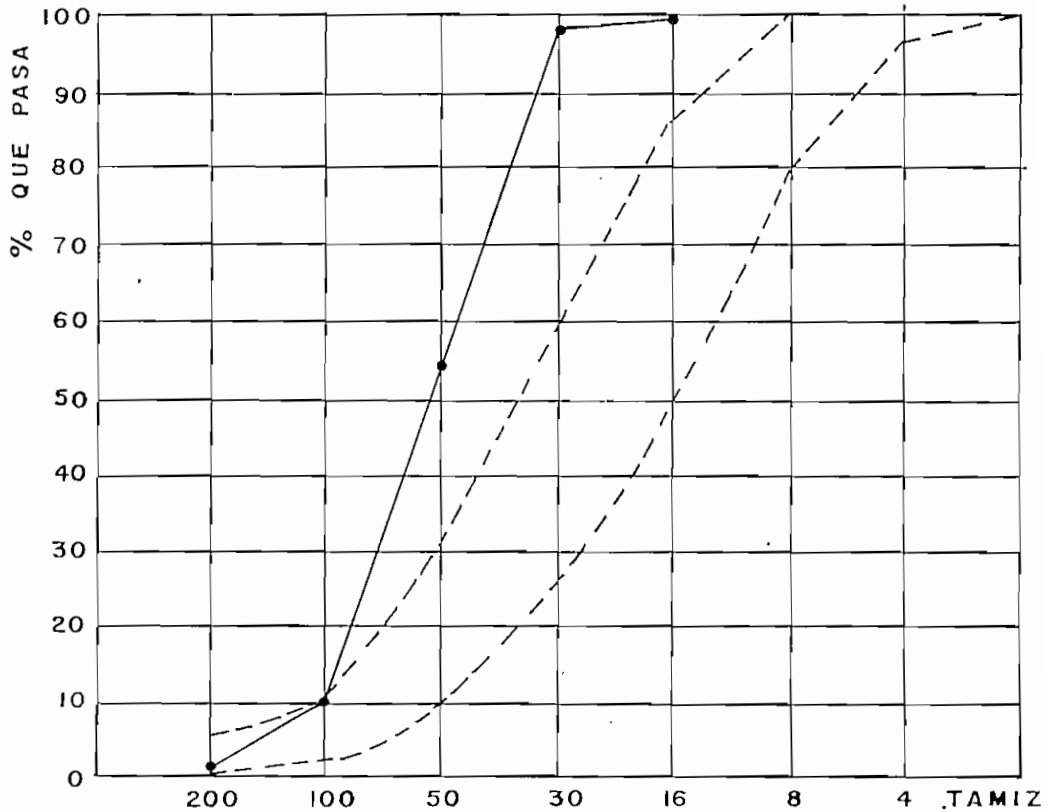


FIGURA 3.1

Los agregados ocupan generalmente del 60 al 80 por ciento del volumen del mortero. Por tanto sus características influyen en las propiedades del mismo. Los agregados también influyen en las proporciones de la mezcla para el mortero y en el costo.

Deben satisfacer ciertos requisitos: consistir en partículas limpias, duras, resistentes y durables, libres de sustancias químicas, recubrimientos de arcilla, o de otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. [7]

3.2.3.1 Granulometría

La granulometría, o distribución del agregado según su tamaño se determina con un análisis granulométrico. Las cribas standard usadas para determinar la gradación de los agregados finos son las Nos. 4, 8, 16, 30, 50 y 100, y están basadas de acuerdo a sus perforaciones cuadradales. [4]

Los diagramas de granulometría muestran la distribución en tamaño y generalmente tienen líneas que representan las cribas standard sucesivas colocadas a intervalos iguales.

3.2.3.2 Arena Misahuallí

En el presente trabajo, el agregado fino utilizado es la "Arena Misahuallí" cuyo nombre se debe a su lugar de origen; el río Misahuallí. Por tanto es una arena de origen natural, y por su procedencia posee un alto contenido de cuarzo lo cual ubica como un agregado de alta calidad. [7]

La curva granulométrica de la arena utilizada se muestra en el gráfico 3.1, el cual nos indica además los límites dictados por las normas, para los agregados finos.

Con el fin de evitar impurezas en la arena se la sometió al siguiente

tratamiento, previo a la formación de la mezcla del mortero:

1. Lavado en agua potable
2. Secado en horno (80C° - 24 horas)
3. Tamizado en criba No. 2

También se experimentó con un lavado en ebullición (1/2 hora), sin que los resultados obtenidos justifiquen el trabajo requerido.

El procedimiento descrito será utilizado en la preparación de la arena requerida para la fabricación de todos los morteros de cemento.

3.2.4 Agua

Es muy importante para obtener un mortero de buenas condiciones, usar en lo posible agua potable o aquella que no tenga sabor y olor notable.

- Tipos de agua

Existen varios tipos de agua, algunos de los cuales pueden ser usados en la fabricación de morteros.

AGUA POTABLE, es la más aconsejable para el uso en morteros, debe cumplir con los requisitos y propiedades tanto físicas y químicas para el consumo humano.

AGUA NATURAL, se la puede utilizar si la misma no presenta ni un mal olor ni sabor.

AGUA DE MAR, en este tipo se debe controlar el contenido de sal, se la puede utilizar en morteros que tengan refuerzo de acero.

AGUAS NEGRAS E INDUSTRIALES, para su uso se debe realizar un análisis, debido a que contienen materia orgánica que puede influir en la resistencia final. Mediante tratamientos adecuados se puede mejorar sus propiedades y disminuir la concentración de materia

orgánica. (7)

NOTA: En el desarrollo del presente trabajo, para la elaboración de todos los morteros se utilizó agua potable.

3.3 Dosificación de los Morteros

Los porcentajes de los agregados difieren de acuerdo al tipo de mortero requerido.

El cemento mezclado con agua constituye la llamada pasta, que es el material aglutinante y tiene la función de cubrir las partículas de arena y de rellenar los vacíos existentes. La arena tiene la función de material de relleno.

Los porcentajes o cantidades de cada elemento componente del mortero, se los puede calcular por dosificación en volumen y peso.

3.3.1 Dosificación en Volumen

Se lo realiza utilizando las siguientes relaciones:

a) Volumen ocupado por cada uno de los componentes.

$$V_c : V_A : V_a$$

Donde:

V_C = Volumen de cemento

V_A = Volumen de arena

V_a = Volumen de agua

b) Volumen ocupado por cada componente tomando como unidad el volumen de cemento.

$$1 : V_A : V_a$$

c) Volumen de cada componente, relacionado al volumen total de la mezcla.

$$\frac{V_c}{V} : \frac{V_A}{V} : \frac{V_a}{V}$$

Donde:

$$V = V_c + V_A + V_a$$

Las cantidades requeridas son afectadas por características como:

- Gradación de la arena
- Forma de las partículas
- Humedad
- Densidad aparente

El volumen de los componentes varía con el manipuleo, por lo tanto es preferible expresar los porcentajes en peso.

3.3.2 Dosificación en Peso

Este tipo de dosificación es mucho más exacto, para realizarla se necesita conocer la densidad o peso volumétrico del mortero en condición fresca.

Existen las siguientes relaciones:

a) Peso de cada uno de componentes:

$$P_c : P_A : P_a$$

Donde:

P_c = Peso de cemento

P_A = Peso de arena

P_a = Peso de agua

b) Peso de cada componente, tomando como unidad al peso del cemento:

$$1 : P_A : P_a$$

c) Peso de cada componente, relacionado al peso total de la mezcla:

$$\frac{P_c}{P} : \frac{P_A}{P} : \frac{P_a}{P}$$

Donde:

P = peso total de la mezcla

3.3.3. Fabricación de los Morteros de Cemento

Con el fin de determinar las características que presenta el mortero de cemento a la compresión mecánica, se decide elaborar probetas en forma de cilindro.

Los cilindros fueron fabricados en todos los casos siguiendo un procedimiento standard y normalizado, a fin de que las probetas obtenidas posean similares propiedades físicas y mecánicas.

La pasta de mortero fue preparada en todos los casos de acuerdo al procedimiento dictado por la Norma C-305 de la ASTM.

La dosificación de la pasta de mortero se la realizó en peso, tomando siempre como unidad el peso del cemento.

Las probetas elaboradas con cada una de las dosificaciones, prueba de compresión a los 7, 14 y 28 días sobre 3 cilindros en cada prueba. Con los resultados de estas pruebas se determina la dosificación óptima, la misma que debe satisfacer dos requisitos básicos:

- La resistencia a la compresión debe ser la mayor posible
- La cantidad de agua de la pasta de mortero debe ser mínima.

3.3.3.1 Cilindros Standard

Para la construcción de los cilindros se utilizó moldes metálicos de 2 pulgadas de diámetro x 4 pulgadas de altura. La preparación de la pasta del mortero se la efectuó en una mezcladora eléctrica apropiada para el caso.

La compactación de la mezcla se la realizó en 3 capas con 15 golpes en cada capa mediante un compactador metálico, a fin de que cada uno de los golpes produzca el mismo efecto sobre la mezcla se deja caer el compactador en todos los casos, desde una altura de 35 cms. sobre la superficie del cilindro metálico.

A las 24 horas de la elaboración de los morteros, se procede a retirarlos del molde y a colocarlos en una cuba de agua en la cual permanecerán 28 días para su curado o fraguado.

Mediante el proceso descrito y experimentado, se construyeron cilindros tanto de cemento blanco como de cemento gris, a fin de establecer un parámetro de comparación.

Con cada una de las dosificaciones experimentadas se elaboraron 9 cilindros, los mismos que fueron sometidos a la prueba de compresión.

Los resultados se presentan en la tabla 3-1.

3.3.3.2 Cilindros Vibrados

Como alternativa a la compactación mediante golpes, se experimentó construir probetas cilíndricas vibradas, para lo cual se construyó un vibrador eléctrico.

La pasta del mortero se formó de igual manera que para los cilindros

standard e incluso se experimentó con las mismas dosificaciones, sin embargo los resultados alcanzados no fueron satisfactorios debido a que los cilindros resultan mal conformados.

Los resultados se presentan en la tabla 3-2.

3.3.3.3. Cilindros con Arena Reclasificada

A fin de determinar la incidencia de la granulometría de la arena, en la porosidad de los morteros y con miras a optimizar el proceso de impregnación, se procedió a reclasificar la arena.

Para esto se tamizó la arena, separando el contenido retenido en cada una de las cribas. Luego se procedió a redosificar la arena, tomando para cada una de las combinaciones, distintos porcentajes en peso, de cada criba.

Con la "Nueva Arena" se construyeron los cilindros de mortero utilizando igual procedimiento que para la construcción de los cilindros standard y con la dosificación óptima lograda de las pruebas realizadas sobre los mismos.

Las combinaciones experimentadas a la compresión, se exponen en la tabla 3-3.

Los valores tabulados de resistencia a la compresión son los promedios de la prueba realizada sobre 6 probetas para cada combinación.

3.3.4 Dosificación óptima

Del análisis de los resultados obtenidos de la prueba de compresión al que fueron sometidos los cilindros standard, se determina que la mezcla que brinda mejores resultados, es la dosificación en peso:

CEMENTO - ARENA - AGUA		
1	2.75	0.50

Con esta dosificación se elaboró los morteros que fueron sometidos a los procesos de impregnación y polimerización.

También se utilizó la misma dosificación para la experimentación en los morteros con arena reclasificada, los resultados obtenidos se exponen en la tabla 3.3 y cabe anotar lo siguiente:

Existe variación en la resistencia a la compresión que presentan los morteros con arena reclasificada, en comparación con los morteros con arena natural. Esta variación se halla dentro de un -10% a un +17%.

Sin embargo, el objeto de reclasificar la arena es el de encontrar un mortero con mayor porosidad y por tanto que presente mayor facilidad a la impregnación de la resina. Los resultados de estos experimentos se exponen en el siguiente capítulo.

TABLA 3-1

N°	DOSIFICACION CEM-ARE-AGUA	EDAD DIAS	RESIST.COMPRESION Kg./cm ²	OBSERVACIONES
1	1:3.753:0.82	7	102.90	Exceso de agua en la mezcla la misma que se escurre durante la compactación.
		14	140.99	
		28	211.5	
2	1:3.753:0.75	7	102.5	Idem
		14	133.16	
		28	136.51	
3	1:2.75:0.485	7	135.95	Muestra uniforme, bien con- formada.
		14	141.55	
		28	143.79	
4	1:2.75:0.4	7	69.94	Muestra uniforme, bien con- formada.
		14	108.54	
		28	109.10	
5	1:2.75:0.5	7	161.69	Mejores características a la compresión (Ver muestra #3 y #4)
		14	184.63	
		28	228.27	
6	1:4.0:0.5	7	49.68	Comportamiento irregular, disminuye la resistencia a la compresión. Exceso de arena.
		14	68.26	
		28	51.47	
7	1:4.0:0.4	7	34.69	Exceso de arena
		14	49.79	
		28	52.03	
8	1:4.0:0.6	7	44.76	Exceso de arena
		14	66.02	
		28	100.70	
9	1:2.75:0.45	7	78.32	No existe uniformidad en la mezcla
		14		
		28		
10	1:2.8:0.44	7	53.71	Muestra irregular, no uni- forme
		14		
		28		

Nº	DOSIFICACION CEM-ARE-AGUA	EDAD DIAS	RESIST.COMPRESION Kg./cm ²	OBSERVACIONES
11	1:2.6:0.42	7	66.02	Existen partículas de cemento puro, sin reaccionar
		14		
		28		
12	1:3.753:0.82	7	53.71	Muestra con cemento gris, exceso de arena
		14	87.84	
		28	118.05	
13	1:3.753:0.15:0.95	7	74.97	Muestra con cemento gris y 0.15% peso del silice
		14	97.35	
		28		
14	1:2.75:0.45	7	29.65	Cemento gris, muestras mal fundidas
		14		
		28		
15	1:2.75:0.5	7	101.27	Muestras con cemento gris (Comparar con #4 y #5)
		14	102.90	
		28	109.10	
16	1:2.75:0.485	7	111.90	Cemento gris, buenas características (Ver #5)
		14	135.95	
		28		

NOTA: La dosificación de las probetas se realizó con arena al natural (No reconstituida) y tamizada en la criba No. 2

TABLA 3-2

DOSIFICACION CEM-ARE-AGUA	EDAD DIAS	REGIS. COMPRESION Kg./cm ²	OBSERVACIONES
1:2.75:0.45	7	---	Muestras mal constituidas
	14	---	
	28	---	
1:2.75:0.6	7	---	Muestras mal constituidas
	14	---	
	28	---	
1:2.75:0.8	7	---	Muestras mal constituidas
	14	---	
	28	---	
1:2.75:0.485	7	---	Muestras mal constituidas
	14	---	
	28	---	
1:2.75:0.8	7	---	Muestras con cemento gris mal constituidas
	14	---	
	28	---	
1:2.75:1.0	7	---	Muestras mal constituidas excesivo contenido de agua
	14	---	
	28	---	

NOTA: La dosificación de las probetas se realizó con arena al natural (no reconstituida) y tamizada en la criba No. 2.
En todas las muestras se utilizó cemento blanco

TABLA N° 3-3

DOSIFICACION: CEM: 1 ARENA: 2.75 AG: 0.5

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
% Malla 50	100	---	80	35	20	---
% Malla 80	---	100	20	15	80	---
% Malla 100	---	---	---	---	---	---
% Malla 100	---	---	---	---	---	100
GRUESOS	---	---	---	50	---	---
RESISTENCIA A COMPRESION [Kg./cm ²]	210.36	224.06	55.95	247.56	186.08	257.20

NOTA: La dosificación utilizada es la misma de la muestra #5, Tabla 3.1 cuyo valor de resistencia a la compresión es: 228.27 Kg./cm².

C A P I T U L O

4

MORTEROS IMPREGNADOS

C A P I T U L O 4

POLIMERIZACIÓN

4.1 Introducción

Un polímero consiste en la repetición de unidades moleculares que se derivan de uno o varios monómeros que se juntan por medio de enlaces químicos. El proceso químico a través del cual se produce esta unión es conocido como polimerización. Si el proceso se produce con la utilización de una sola sustancia o monómero el proceso se denomina homopolimerización, si se utiliza más de una sustancia o monómero, el proceso se llama copolimerización.

Las propiedades del polímero resultante dependen de la estructura química y molecular de las cadenas poliméricas y estas a su vez dependen de las características del monómero utilizado. Los polímeros llamados termoplásticos son aquellos que cambian sus propiedades con la temperatura en forma reversible, los polímeros que forman estructuras rígidas y cuyas propiedades no representan cambios reversibles con la temperatura se denominan termoestables. (4)

4.1.1 Tipos de polimerización

Los procesos de polimerización pueden realizarse de diversas formas, en forma general existen dos procesos que son el de adición y el de condensación. La polimerización por adición es la reacción entre moléculas del mismo tipo de estructuras para formar macromoléculas sin cambio en la composición química, los polímeros de adición resultan de ordinario por reacción en cadena. La polimerización por condensación es la reacción entre dos o más compuestos en los que la cadena polimérica resulta alterada en su composición por la eliminación de algunos átomos presentes en el monómero del que está formado. (3)

4.1.2 Polimerización radical en cadena

Es el tipo de polimerización por adición. Los monómeros insaturados y los sistemas de resina poliéster - monómero (estireno) puede implicar corrientemente una reacción en cadena.

Este tipo de polimerización hace necesaria la presencia de un centro activador responsable del crecimiento, entre las formas de este mecanismo tenemos la polimerización iniciada por radicales libres.

Existen tres métodos para realizar la polimerización iniciada por radicales libres.

4.1.2.1 Polimerización catalítica - promovida

La descomposición de los catalizadores, como los peróxidos orgánicos, puede ser iniciada por medio de promotores o aceleradores como alternativa a la temperatura. Estos compuestos son agentes reductores los cuales inducen la descomposición de los peróxidos y la reacción de polimerización puede llevarse a cabo a temperatura ambiente y temperaturas tan bajas como 5°C o menores. Entre las sustancias más utilizadas están la dimetil-anilina y el neftanato de cobalto. [4]

Este método de polimerización no es aconsejable para la fabricación de materiales impregnados con polímero, debido a que la reacción comienza inmediatamente y su uso podría ser restringido a impregnaciones superficiales.

4.1.2.2 Polimerización por radiación

La producción de radicales libres puede ser llevada a cabo por el uso de radiación, tal como la ionización producida por los rayos gama emitidos por el cobalto-60. La tasa de polimerización varía con los diferentes monómeros bajo condiciones similares de la radiación y la temperatura. Una de sus ventajas es que el proceso

se puede llevar a cabo a temperatura ambiente. En este proceso no se requiere catalizadores y promotores y los monómeros que necesitan inhibidor pueden ser utilizados directamente. Este método tiene la desventaja de requerir de un recurso de radiación complejo y costoso. [4]

4.1.2.3 Polimerización termo-catalítica

El método más simple de polimerización es a través de la adición de pequeñas cantidades de una sustancia generadora de radicales libres, a estos compuestos se los denomina catalizadores o iniciadores. Entre los compuestos más utilizados y comercialmente disponibles están el peróxido de benzoílo y el peróxido de Metil-Etil-Cetona.

Estas sustancias se descomponen a diferentes ratas de acuerdo a la temperatura. La selección del tipo y concentración del catalizador, así como la temperatura de polimerización es de vital importancia en la producción de un buen material impregnado.

El peróxido de benzoílo es de difícil manejo, ya que es sensible al choque, altamente reactivo y puede descomponerse explosivamente, por lo tanto se deben tomar muchas precauciones en su uso.

Con el uso de peróxido de Metil-Etil-Cetona como catalizador y el uso de energía térmica se puede obtener una adecuada polimerización de los sistemas de resina poliéster-esterino. [4]

4.1.3 Polimerización de los morteros de cemento blanco

En el desarrollo del presente trabajo, la polimerización de todas las probetas de mortero, se la efectuó por el método de radiación por rayos gama emitidos por el cobalto 60.

4.2 Parámetros considerados en la polimerización

Durante el proceso de polimerización se consideraron dos parámetros:

- Porcentaje de la mezcla Poliéster-Esterino
- Tiempo de polimerización

4.2.1 Porcentaje de la mezcla poliéster-esterino

De acuerdo a las especificaciones proporcionadas por los fabricantes [11] la mezcla original de la resina Poliéster-Esterino tiene una composición de 24% de Esterino y 76% de Poliéster.

Por esta razón y tomando la experiencia de trabajos anteriores [4] [5], se realiza el proceso con una mezcla del 65% de Poliéster y 35% de Estireno, la cual brinda facilidad de maniobra y debido a su baja viscosidad, la penetración en los poros del mortero será favorecida.

Un porcentaje mayor de Estireno tendrá como efecto, el producir un plástico frágil y quebradizo. [4]

4.2.2 Tiempo de polimerización

El tiempo requerido para lograr una polimerización completa, es función de la intensidad de radiación a la que se exponen las distintas muestras.

El proceso de polimerización se lo realizó en la "Casa Mata" de la Escuela Politécnica Nacional, bajo la dirección y supervisión del personal de la misma, con quienes se determinó que el tiempo suficiente para lograr la polimerización es de 24 horas de exposición a la radiación. Este tiempo se lo determinó en base a múltiples trabajos desarrollados en el sitio.

4.3 Proceso de impregnación

4.3.1 Introducción

El proceso de impregnación, consiste en el llenado de los poros del mortero de cemento con la resina poliéster.

Este proceso se representa mediante el diagrama de bloques de la figura 4.1.

4.3.2 Parámetros considerados en la impregnación

En el proceso de impregnación tienen suma importancia los siguientes factores:

- Tiempo y presión de vacío
- Presión de impregnación
- Tiempo de impregnación

Existe una relación directa entre la cantidad de polímero impregnado en la probeta de mortero y los valores de cada uno de los parámetros mencionados.

4.3.2.1 Tiempo de presión de vacío

El tiempo de vacío tiene menor influencia en los resultados de la impregnación [4], en tanto que tiene mucha influencia la presión de vacío lograda durante el proceso de impregnación, pues de el valor alcanzado dependerá la cantidad de poros que puedan ser impregnados con la resina poliéster-esterino.

4.3.2.2 Presión de impregnación

Es el parámetro de mayor influencia en el proceso de impregnación. En base a experiencias previas [5], se determina como valor apropiado de presión de impregnación 4.12 Kg/cm².

4.3.2.3 Tiempo de impregnación

Este parámetro, en combinación con la presión de impregnación determinará la carga de polímero que pueda ser impregnada en las probetas. El tiempo de impregnación determinado como apropiado es de 30 minutos. [5]

4.4 Experiencias y resultados

En el presente trabajo se dio especial importancia a la presión de vacío a la que se someten a las probetas.

Por esta razón, se procedió a realizar todas las uniones y acoples entre la Cámara de Impregnación, la bomba de vacío, los manómetros y las válvulas de acceso a la Cámara de Impregnación, con sumo cuidado, a fin de que el sistema de impregnación quede totalmente aislado del ambiente exterior, y lograr una presión de vacío ideal.

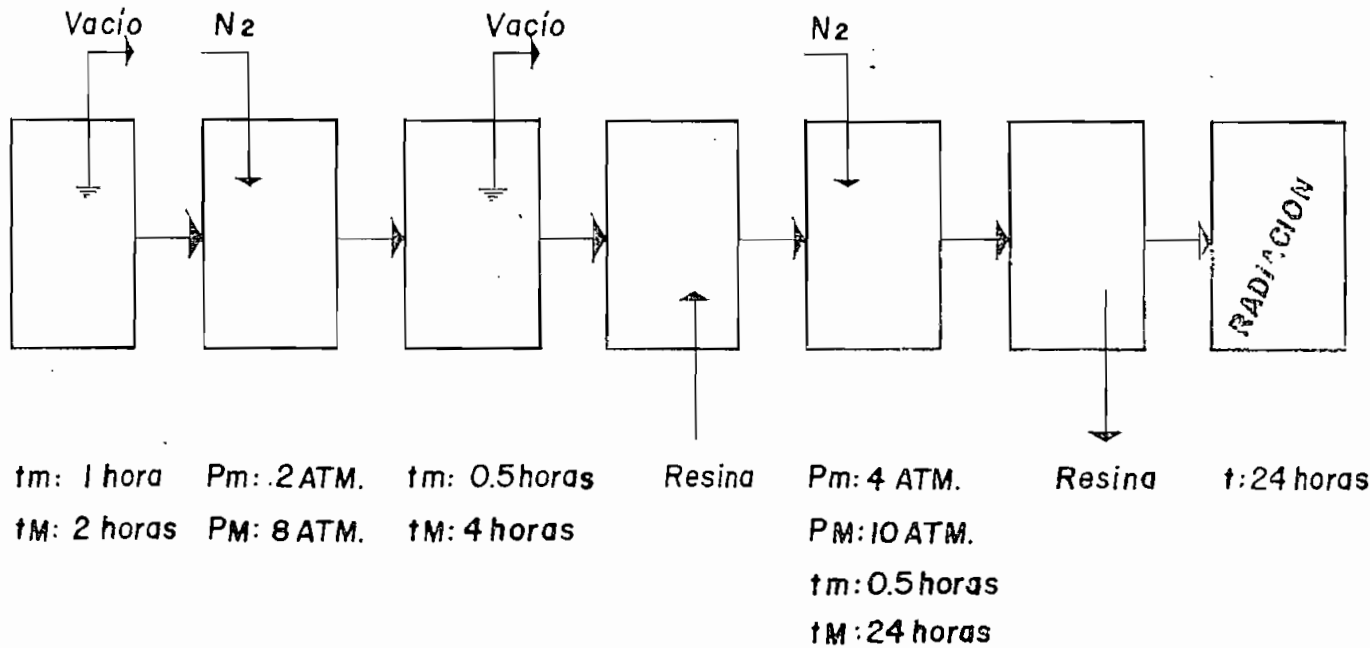
Tomadas las precauciones indicadas y sobre todo debido a que la bomba de vacío utilizada posee excelentes características se pudo lograr una presión de vacío no detectable por el manómetro.

En forma adicional, se somete a las muestras a un proceso de "lavado" con nitrógeno a presión, con el objeto de que de existir alguna burbuja de aire en la muestra, sea removida por el gas nitrógeno.

Luego de ser lavadas las muestras a impregnar, nuevamente son sometidas al proceso de vacío.

En un primer paso, se procedió a la impregnación y polimerización de 30 cilindros de mortero bajo las siguientes condiciones y de acuerdo al proceso indicado en la figura 4.1

PROCESO DE IMPREGNACION



t_m: Tiempo mínimo
t_M: Tiempo máximo

P_m: Presión mínima
P_M: Presión máxima

FIG. 4.1

- Tiempo de vacío: 1 hora
- Presión de lavado con nitrógeno: 2 Atm
- Tiempo de vacío: 0.5 horas
- Presión de impregnación: 4 Atm
- Tiempo de impregnación: 0.5 horas
- Tiempo de Polimerización: 24 horas

Terminado el proceso, se procedió a la ruptura de los cilindros, observándose que la impregnación lograda es meramente superficial, razón por la cual se desechó estas muestras, puesto que desde el punto de vista eléctrico se necesita que la impregnación sea total y uniforme.

Con el resultado obtenido, se procedió a variar en forma paulatina los parámetros considerados en la impregnación, sin que los resultados varíen en forma considerable.

También se procedió a impregnar muestras de mortero más pequeñas (fichas), con el objeto de conocer la incidencia del tamaño de la muestra, en el grado de impregnación.

La impregnación de las nuevas muestras se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Tiempo de vacío: 2 horas
- Presión de lavado con nitrógeno: 8 Atm
- Tiempo de vacío: 4 horas
- Presión de impregnación: 10Atm
- Tiempo de impregnación: 24 horas
- Tiempo de polimerización: 24 horas

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla No. 3. En todos los casos, la impregnación resulta irregular e insuficiente, pues la penetración de la resina en las muestras varía entre 2mm y 5mm.

Varias de las muestras impregnadas y polimerizadas fueron sometidas a la prueba de compresión, observándose que la resistencia a la compresión aumenta aproximadamente 8 veces en relación a la resistencia de los morteros no impregnados.

Estos resultados no fueron tabulados debido a que eléctricamente las muestras fueron desechadas.

En una segunda etapa, se decidió analizar la incidencia de la granulometría, en el proceso de impregnación.

Para esto y como se explicó en el capítulo No. 3, se construye cilindros de mortero con arena recompuesta y se procede a la impregnación y polimerización de acuerdo al procedimiento graficado en la figura 4.1.

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla No. 4. En forma posterior se procede a la ruptura de las muestras en las que se puede observar similares dificultades en el proceso de impregnación, esto es impregnación irregular y prácticamente superficial.

TABLA #3

MORTEROS IMPREGNADOS

	PESO MUESTRA SECA [Gm.]	- PESO IMPREGNADO [Gm.]	CARGA [Gm.]	% CARGA	OBSERVACIONES
1	407.5	451.6	44.1	10.82	Cilindro CB
2	408.7	461.4	52.7	12.89	Cilindro CB
3	355.7	435.6	79.9	22.46	Cilindro CB
4	380.3	438.4	58.1	15.27	Cilindro CB
5	383.4	418.5	35.1	9.15	Cilindro CB
6	407.5	417.5	10.0	2.45	Cilindro CB
7	385.6	417.2	31.6	8.19	Cilindro CB
8	393.2	417.6	24.4	6.2	Cilindro CB
9	412.3	423.6	11.3	2.74	Cilindro CB
10	408.0	419.8	11.8	2.9	Cilindro CB
11	410.0	430.4	20.4	4.97	Cilindro CB
12	411.1	433.3	22.2	5.4	Cilindro CB
13	408.7	459.5	50.8	12.42	Cilindro CB
14	410.3	422.3	12.0	2.92	Cilindro CB
15	411.0	422.9	11.9	2.90	Cilindro CB
16	101.6	103.3	1.7	1.67	Ficha CB
17	52.7	57.7	5.0	9.487	Semi Luna CB
18	43.3	47.1	3.8	7.87	Ficha CB
19	33.8	39.0	5.2	15.38	Ficha CB
20	20.8	23.8	3.0	14.42	Ficha CB

Sigue...

MORTEROS IMPREGNADOS

	PESO MUESTRA SECA [Gm.]	PESO IMPREGNADO [Gm.]	CARGA [Gm.]	% CARGA	OBSERVACIONES
21	17.7	19.9	2.2	12.43	Ficha CB
23	31.5	34.3	2.8	8.88	Ficha CB
23	23.0	25.5	2.5	10.87	Ficha CB
24	30.9	33.4	2.5	8.09	Ficha CB
25	19.4	22.6	3.2	16.50	Ficha CB
26	53.7	62.8	9.1	16.94	Ficha CB
27	35.9	38.7	2.8	7.80	Ficha CB
28	34.0	38.25	4.25	12.50	Ficha CB
29	29.6	33.8	4.2	14.19	Ficha CB
30	29.7	32.3	2.6	8.75	Ficha CB
31	15.1	17.0	2.9	19.20	Ficha CB
32	36.6	40.6	4.0	10.92	Ficha CB
33	25.9	29.5	3.6	13.90	Ficha CB
34	404.3	427.2	22.9	5.66	Cilindro CB
35	424.6	458.0	33.4	7.86	Cilindro CB
36	424.9	435.3	10.5	2.53	Cilindro CB
37	361.3	433.1	71.8	19.88	Cilindro CG
38	408.9	414.4	5.5	1.35	Cilindro CB
39	400.3	412.0	11.7	4.42	Cilindro CB
40	27.5	29.8	2.3	8.36	Ficha CB

Sigue...

MORTEROS IMPREGNADOS

	PESO MUESTRA SECA [Gm.]	PESO IMPREGNADO [Gm.]	CARGA [Gm.]	% CARGA	OBSERVACIONES
41	21.3	23.5	41.3	2.3	Ficha CB
42	39.4	40.8	3.55	2.2	Ficha CB
43	43.2	45.8	6.01	1.4	Ficha CB
44	34.2	39.6	15.78	2.6	Ficha CB
45	27.3	28.5	4.39	1.2	Ficha CB
46	20.7	21.1	1.93	0.4	Ficha CB
47	28.4	28.5	3.52	0.1	Ficha CB
48	23.9	24.1	0.2	0.84	Ficha CB
49	13.3	15.6	2.3	17.29	Ficha CG
50	12.5	14.3	1.8	14.4	Ficha CG

NOTA: Obsérvese que el porcentaje en las muestras de cemento gris (CG) es más alto que el logrado en las muestras de cemento blanco (CB).

TABLA #4

DOSIFICACION: CEM-ARE-AGUA SIMILAR A MUESTRA # 5, TABLA 3-1
1-2.75:0.5

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
+ Malla 50	100%	80%	35%	20%	---	---
+ Malla 80	---	20%	15%	80%	100%	---
+ Malla 100	---	---	---	---	---	---
Plato	---	---	---	---	---	100%
Gruesos	---	---	50%	---	---	---
Peso mortero	405.36g.	407.50g.	418.10g.	409.35g.	412.42g.	403.10g.
Mortero Impreg.	411.05g.	413.65g.	425.25g.	415.65g.	417.65g.	413.50g.
Carga Polímero	5.75g.	6.15g.	7.15g.	6.30g.	5.20g.	5.40g.
% Carga	1.42	1.51	1.71	1.54	1.26	1.32

NOTAS: -Presión Impregnación: 10ATM

-Tiempo Impregnación: 24 horas

+Malla 50: Material retenido en la malla 50

C A P I T U L O

5

MORTEROS CON CARGA

CAPITULO 5

5.1 Introducción

Debido a la imposibilidad de obtener una impregnación adecuada y uniforme de la resina poliéster-esterino en el mortero de cemento blanco por medio de la impregnación a presión, conforme a lo expuesto en el capítulo anterior, se opta por analizar las propiedades eléctricas y mecánicas que presenta el mortero de cemento blanco construído con un elemento adicional a sus componentes básicas (cemento-arena-agua).

Al constituyente adicional del mortero se lo denomina "CARGA".

Partiendo de las propiedades físicas y eléctricas que presenta el vidrio, se decide utilizar como carga del mortero, dos derivados del vidrio: la fibra de vidrio y la lana de vidrio.

5.2 Vidrio

Los vidrios son sustancias inorgánicas amorfas constituidas por sistemas complejos de diversos óxidos. Además de los óxidos virtrificantes, es decir, aquellos que de por sí son capaces, en estado puro, de formar vidrio (SiO_2 , B_2O_3), en la composición de los vidrios se introducen otros óxidos: alcalinos (Na_2O , K_2O), alcalinoterreos (CaO , BaO) y también PbO , Al_2O_3 y otros. La base de la mayoría de los vidrios es el SiO_2 ; estos vidrios se llaman de sílice o silícicos.

[5]

5.2.1 Propiedades de los Vidrios

Las propiedades de los vidrios varían dentro de amplios límites en dependencia de su composición y del régimen de tratamiento térmico.

La densidad de los vidrios oscila entre 2 y 8,1 Mg/m³. A los vidrios

pesados pertenecen los que tienen un gran contenido de plomo. Los vidrios de sílice ordinarios (usados en las ventanas), tienen una densidad aproximada de 2.5 Mg./m³. (5)

La resistencia de los vidrios a la compresión es mucho mayor que su resistencia a la rotura por tracción: la resistencia a la rotura por compresión oscila entre 6000 y 21000 MPa, y la resistencia a la rotura por tracción entre 100-300 MPa. (5)

5.2.1.1 Propiedades eléctricas

Las propiedades eléctricas de los vidrios dependen en alto grado de la composición de estos. Para distintos vidrios /técnicos a temperatura normal tenemos:

- Resistividad volumétrica = $10^6 - 10^{15}$ Ohm.m
- Constante Dieléctrica = 3.8 - 16.2
- Tangente Delta = 0.0002-0.01

Los vidrios con gran contenido de óxidos alcalinos en ausencia o con poco contenido de óxido de metales pesados, tienen un valor de tangente delta considerable el cual aumenta sensiblemente al elevar la temperatura (fig. 5.1).

La presencia simultánea de dos óxidos alcalinos distintos en la composición del vidrio ocasionan un aumento de resistividad y una disminución de la tangente delta, en comparación con el vidrio que solo contiene un óxido alcalino; este fenómeno se conoce con el nombre de efecto neutralizante o polialcalino.

Los vidrios que contienen grandes cantidades de óxido de metales pesados (PbO, BaO) tienen valores bajos de tangente delta aunque en su composición haya óxido alcalino.

El contenido de óxidos alcalinos (Na₂O en mayor grado que en K₂O) eleva el valor de la constante dieléctrica en los vidrios silícicos (fig. 5.2).

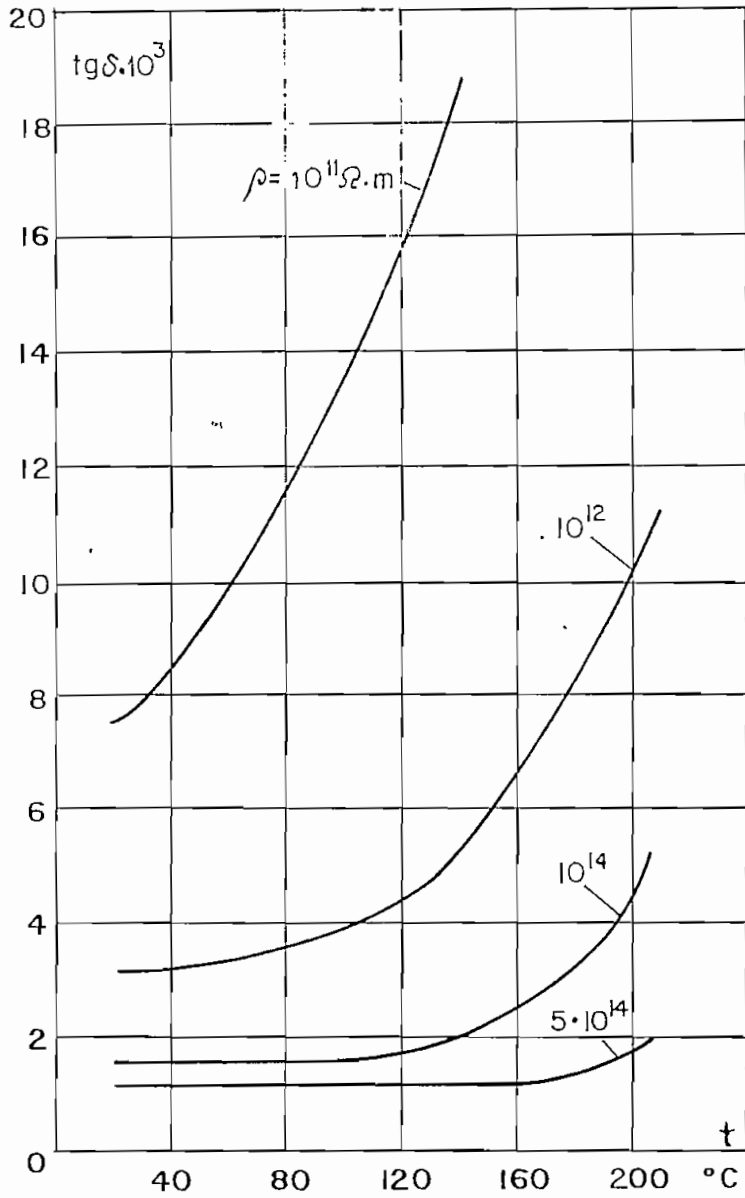


FIGURA 5.1

VARIACION DE $\text{tg} \delta$. EN FUNCION DE LA TEMPERATURA A 1 M H z. PARA VIDRIOS ALCALINOS CON DISTINTA RESISTIVIDAD VOLUMETRICA (LOS VALORES DE ρ_v SE MIDIERON A 50°C) [5]

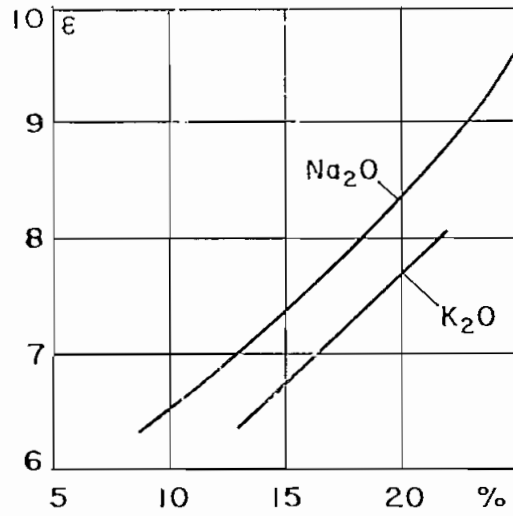


FIGURA 5.2

VARIACION DE ϵ DE LOS VÍORIOS DE LOS SISTEMAS $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$ y $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$, EN FUNCIÓN DE SU COMPOSICIÓN.

SOBRE EL EJE DE LAS ABCISAS SE HA TOMADO EL CONTENIDO DEL ÓXIDO ALCALINO CORRESPONDIENTE EN TANTOS POR CIENTO EN MASA. [5]

La conductabilidad superficial depende mucho del estado en que se encuentre la superficie del vidrio, aumentando cuando está sucia. Si aumenta la humedad del medio circundante la conductibilidad superficial también aumenta.

La rigidez dieléctrica de los vidrios a la perforación eléctrica depende poco de su composición. Lo que influye decisivamente en este valor son las inclusiones de aire, es decir las burbujas que hay en el vidrio.

Cuando la tensión es continua y el campo eléctrico homogéneo, la rigidez dieléctrica de un vidrio es muy grande y alcanza hasta 500MV/m. Con altas frecuencias la perforación del vidrio tiene carácter electrotérmico.

5.3 Fibra y tela de vidrio

El vidrio en capas gruesas es de un material frágil, pero los artículos delgados de vidrio son flexibles. Las finísimas fibras de vidrio (4-7µm de diámetro) son ya tan flexibles que pueden tejerse. La figura 5.3 muestra la resistencia a la tracción de estas fibras, en función de su diámetro.

La gran flexibilidad o resistencia mecánica de las fibras de vidrio se explica por la orientación de las moléculas de su capa superficial que se produce cuando dichas fibras se estiran de la masa vítrea fundida y se estiran rápidamente. Las telas y las cintas de fibras de vidrio para aislamiento eléctricos tienen por lo general 0.2 a 0.7mm. de grueso. Las telas de fibras de vidrio se utilizan para hacer telas banizadas resistentes al calor y materiales estratificados ["textolita de fibras de vidrio" o "vidrio-textolita"]. Las fibras de vidrio cortas se emplean como relleno en los polvos para moldeo.

Las ventajas del aislamiento a base de fibras de vidrio, comparado con el de fibras orgánicas, son las siguientes: mayor resistencia al calor, gran resistencia mecánica, higroscopicidad relativamente

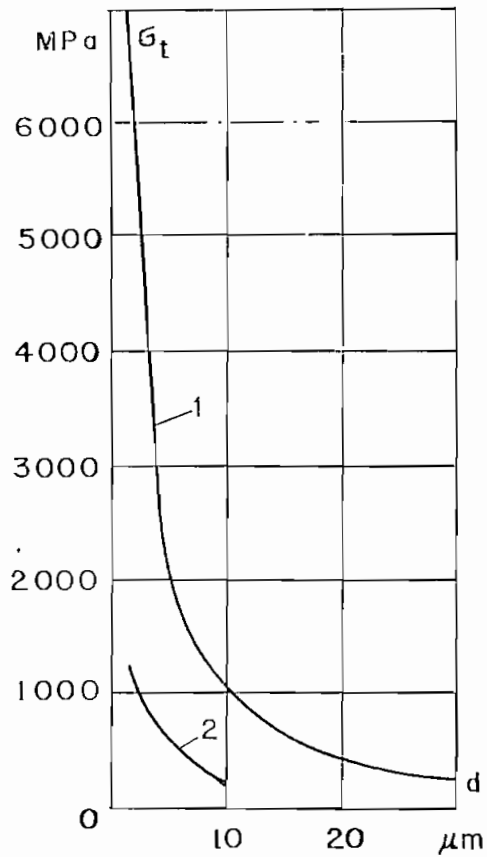


FIGURA 5.3

RESISTENCIA A LA ROTURA POR TRACCION DE UN FILAMENTO [1] Y DE UN HILO TORCIDO DE 100 FILAMENTOS [2] DE VIDRIO. EN FUNCION DEL DIAMETRO d

pequeña y buenas propiedades aislantes. Por estas tres últimas características, el vidrio también difiere con ventaja del amianto. Esto hace que el aislamiento de fibras de vidrio pueda utilizarse para las condiciones de explotación más duras [a altas temperaturas, gran humedad, etc.]; los inconvenientes de las fibras de vidrio son: su poca elasticidad el alargamiento relativo de rotura es sólo del 2% aproximadamente; su menor flexibilidad, en comparación con las fibras orgánicas, y su poca resistencia al desgaste, por lo que el aislamiento de fibras de vidrio puede deteriorarse fácilmente si roza en los bordes agudos de las ranuras de las máquinas eléctricas o en casos semejantes.

5.4 Parámetros estudiados

La construcción de los morteros de cemento blanco con carga se la realiza sin seguir los dictados de las normas pertinentes a su elaboración, en lo que tiene que ver con sus dimensiones y compactación, las mismas que fueron expuestas en el capítulo tres.

En los morteros construídos se estudiará la incidencia de los siguientes parámetros:

- Presión de Elaboración
- Tiempo de Presión
- Porcentaje de Carga

5.4.1 Presión de Elaboración

Los morteros son construídos bajo diferentes valores de presión mecánica, la misma que se ejerce mediante una prensa. Este parámetro tiene vital importancia en cuanto a la disminución del número y tamaño de los vacíos que presenta la muestra lo cual influirá directamente tanto en las características eléctricas como en las mecánicas del mortero.

5.4.2 Tiempo de presión

Con el fin de optimizar la producción de los morteros, la presión ejercida en la elaboración de los mismos será aplicada con períodos de tiempo distintos, tomando como límite treinta minutos de presión, que es el tiempo en el cual el cemento empieza a fraguar.

5.4.3 Porcentaje de carga

De acuerdo a la estructura de la fibra de vidrio y de la lana de vidrio se experimentará diversos porcentajes de carga, buscando el valor óptimo de trabajabilidad, y que a la vez nos brinde los mejores resultados electro mecánicos.

Este parámetro se considera como el más importante en la presente fase del estudio; pues dependerá de la carga las características del mortero de cemento blanco.

5.5. Experiencias y resultados

La elaboración de los cilindros de mortero con carga se la hizo de tal manera que cada una de las muestras, permita en lo posible realizar sobre ellas, las pruebas eléctricas y mecánicas necesarias para determinar sus características.

Por esta razón se decidió construir probetas cilíndricas de dos pulgadas de diámetro por 1.5 pulgadas de altura aproximadamente.

Los moldes necesarios para la fabricación de los cilindros fueron elaborados con tubo conduit metálico, rígido de dos pulgadas de diámetro, normalmente usado para instalaciones eléctricas.

En todas las probetas en las que para su fabricación se requiere de presión mecánica, fueron sometidas a esta presión por un gato hidráulico mecánico, el mismo que se acopla a un manómetro a fin de medir la presión ejercida sobre cada una de las muestras.

Este proceso se lo realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

El proceso de mezcla de cada uno de los componentes se lo realiza en forma idéntica al descrito para la elaboración de morteros sin carga. La CARGA introducida en una de las probetas de mortero de cemento blanco, fue controlada con una relación en porcentaje de peso, tomando como referencia, el peso del cemento. Este método de dosificación conocido como Dosificación por Peso fue explicado en el capítulo tres del presente trabajo.

Las condiciones descritas se mantienen en la elaboración de todas las probetas con carga.

5.5.1 Lana de vidrio

Para la elaboración de las probetas cuya carga es la lana de vidrio, se procedió a realizar la mezcla de los componentes partiendo de la siguiente dosificación:

1:	2.675:	0.075:	0.5
cemento:	arena:	carga:	agua:

Sin embargo, al realizar la mezcla en la "batidora eléctrica" se observa, que la lana de vidrio a pesar de que en el proceso de mezclado fue recortada en pequeñas tiras y desmenuzada junto con la arena, tiende a aglomerarse y formar una pelota lo cual impide obtener una mezcla uniforme.

Con el fin de evitar este problema se disminuyó la cantidad de la carga llegando a una relación de 0,005 en peso del cemento, sin embargo el resultado al mezclar los componentes fue siempre el mismo.

Por esta razón se desecha el uso de la lana de vidrio como carga de los morteros de cemento blanco.

5.5.2 Fibra de vidrio

Comercialmente la fibra de vidrio se la encuentra en forma de una tela aproximadamente de un metro de ancho.

Por esta razón se procede a contarla en cuadrados de 5 cm. de lado y en forma posterior a "cardar" el tejido de madera de las fibras sueltas permitan mezclar en forma adecuada los componentes del mortero del cemento blanco.

Los procesos de dosificación y mezcla de los componentes del mortero, son los mismos que siguieron en la fabricación de los morteros de carga.

5.5.2.1 Porcentaje de carga

Los porcentajes en peso de la "carga" que fueron estudiados y analizados son:

2.5%; 5.0% y 7.5% del peso del cemento

Se probó elaborar probetas con un porcentaje más alto de carga, pero no es posible dosificar el mortero de esta manera, debido al enorme volumen que representa la fibra de vidrio, lo cual impide realizar una mezcla correcta de los componentes del mortero.

El valor de 2.5% en peso de la carga se tomó como límite inferior, en consideración a que porcentajes menores no influirán en las características del mortero.

5.5.2.2 Tiempo y presión de compactación

Sobre todas y cada una de las dosificaciones de los morteros, para su compactación, se ejerce las siguientes presiones:

25kg./cm²; 50Kg./cm² y 75Kg./cm²

En todos los casos la presión de compactación se mantienen por el tiempo de 30 minutos, tiempo considerado suficiente, para que el cemento reaccione con el agua y empiece la producción de geles y cristales.

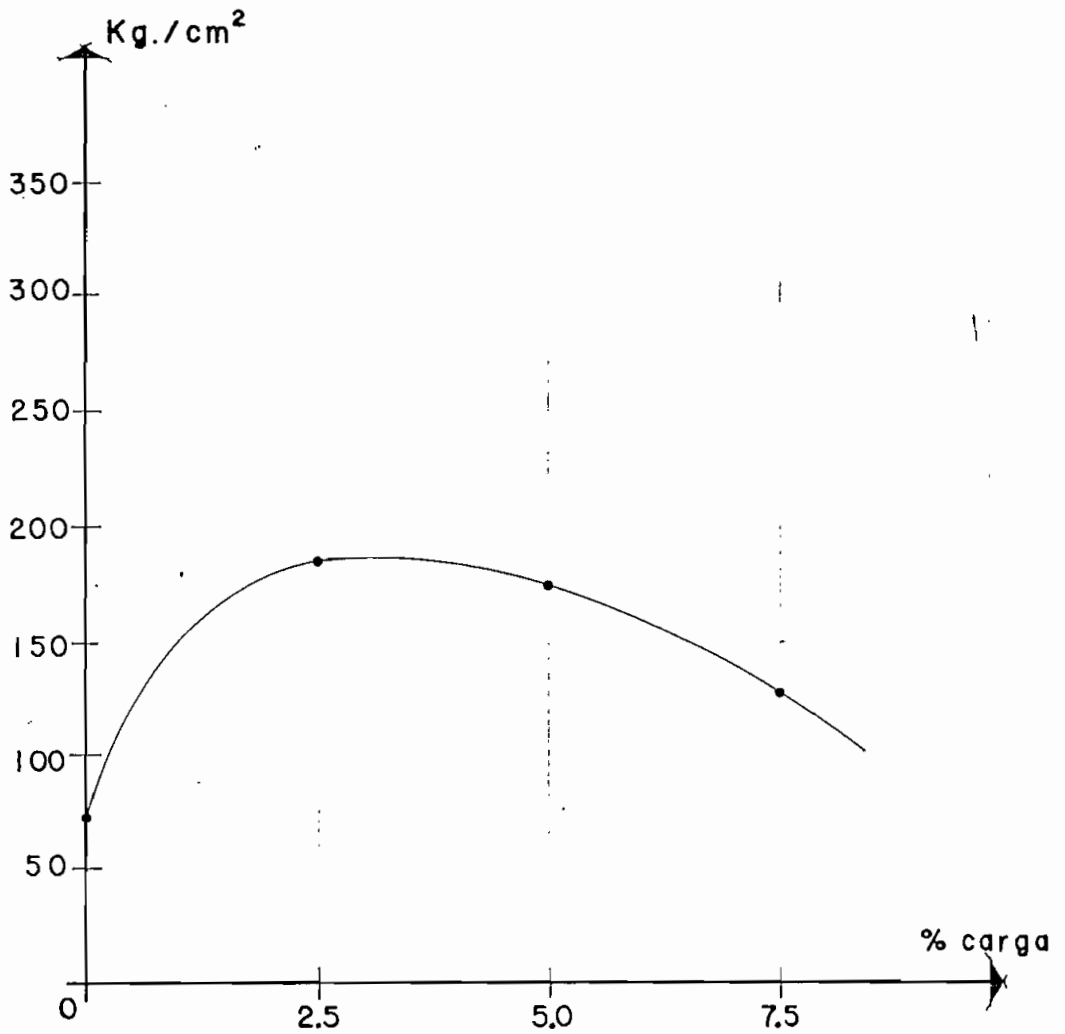
En forma paralela, sobre una de las dosificaciones de mortero (1: 2.75: 0.025: 0.5 ÷ CEM-ARE-CARG-AGUA) y con una presión de compactación de 25 Kg./cm², se estudia la incidencia del tiempo de presión en las características del mortero.

Para esto se elaboran probetas sometidas a la presión indicada, por períodos de 5, 10, 15 y 20 minutos.

5.5.3 Pruebas mecánicas

Todas las probetas de mortero con carga fueron sometidas al proceso normal de curado, esto es durante 28 días en una cuba de agua luego de lo cual fueron sometidas a la prueba de compresión en el laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad de Mecánica de la ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 5.1 y las diferentes curvas se hallan en los gráficos 5.4 a 5.12.



G R A F I C O 5.4

RESISTENCIA A LA COMPRESION MECANICA. VS. % CARGA
MORTEROS FABRICADOS SIN PRESION DE COMPACTACION

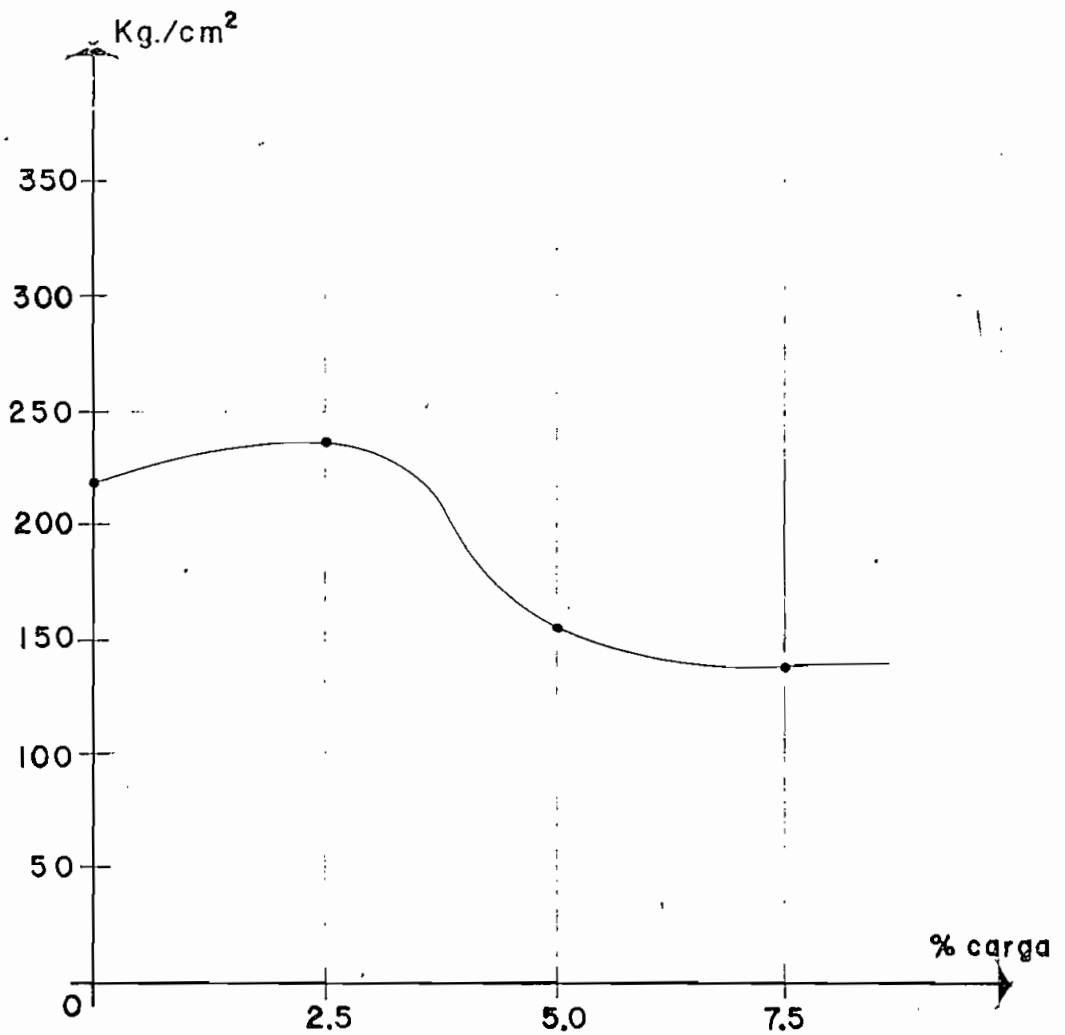
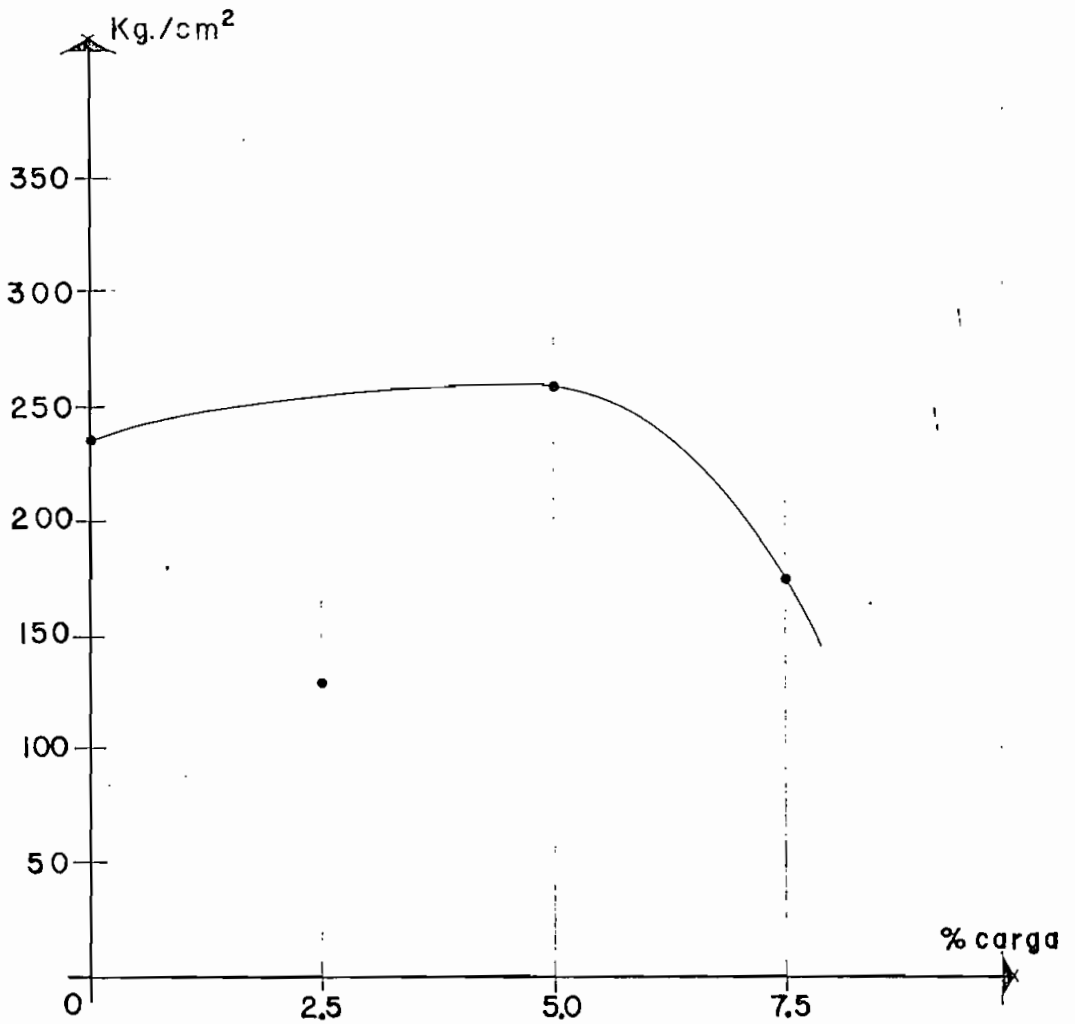


GRAFICO 5.5

RESISTENCIA A LA COMPRESION MECANICA. VS. % CARGA

MORTEROS FABRICADOS CON 25 K₂/cm² DE PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE PRESION: 30 minutos

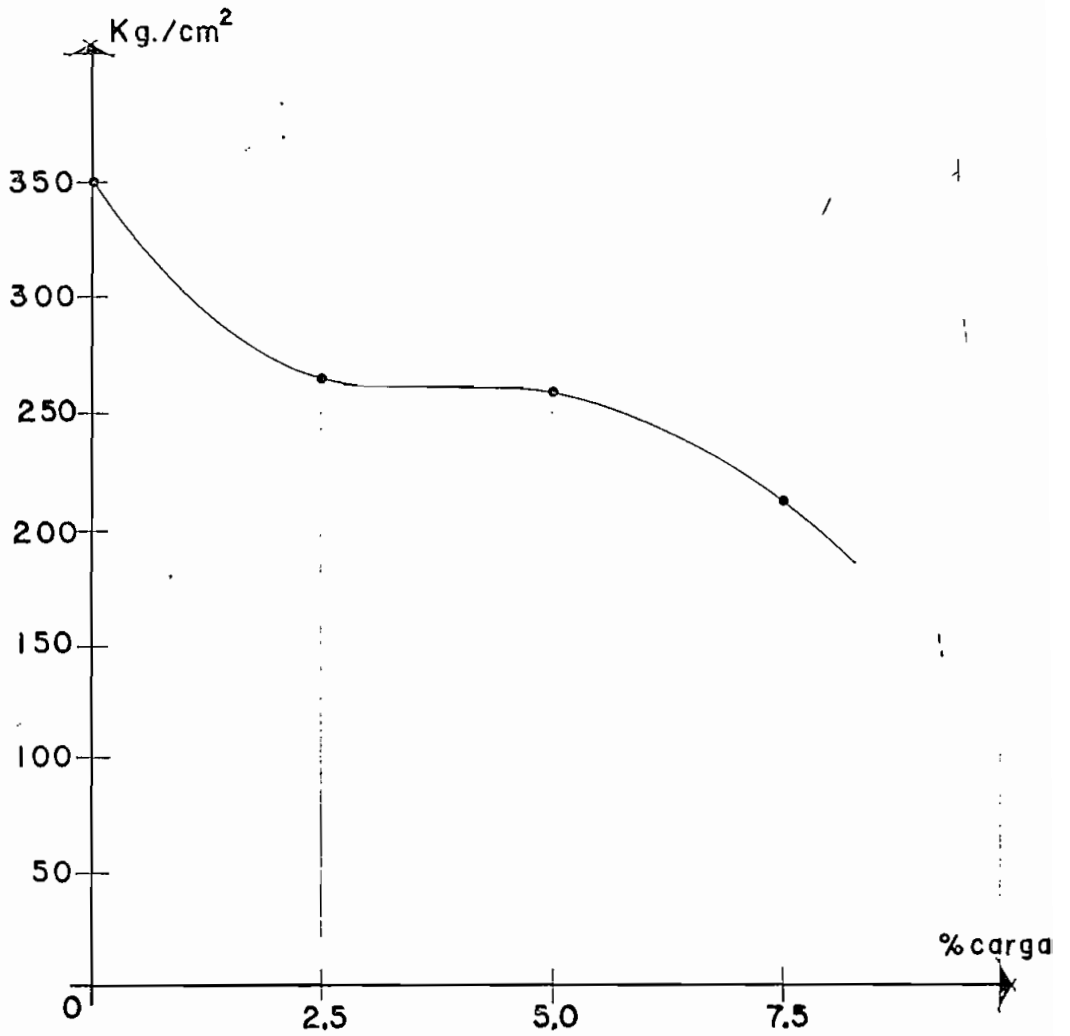


G R A F I C O 5.6

RESISTENCIA A LA COMPRESION MECANICA. VS. % CARGA

MORTEROS FABRICADOS CON 50 K₂/cm² DE PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE PRESION: 30 minutos



G R A F I C O 5.7

RESISTENCIA A LA COMPRESION MECANICA. VS. % CARGA

MORTEROS FABRICADOS CON 75 Kg./cm² DE PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE PRESION: 30 minutos

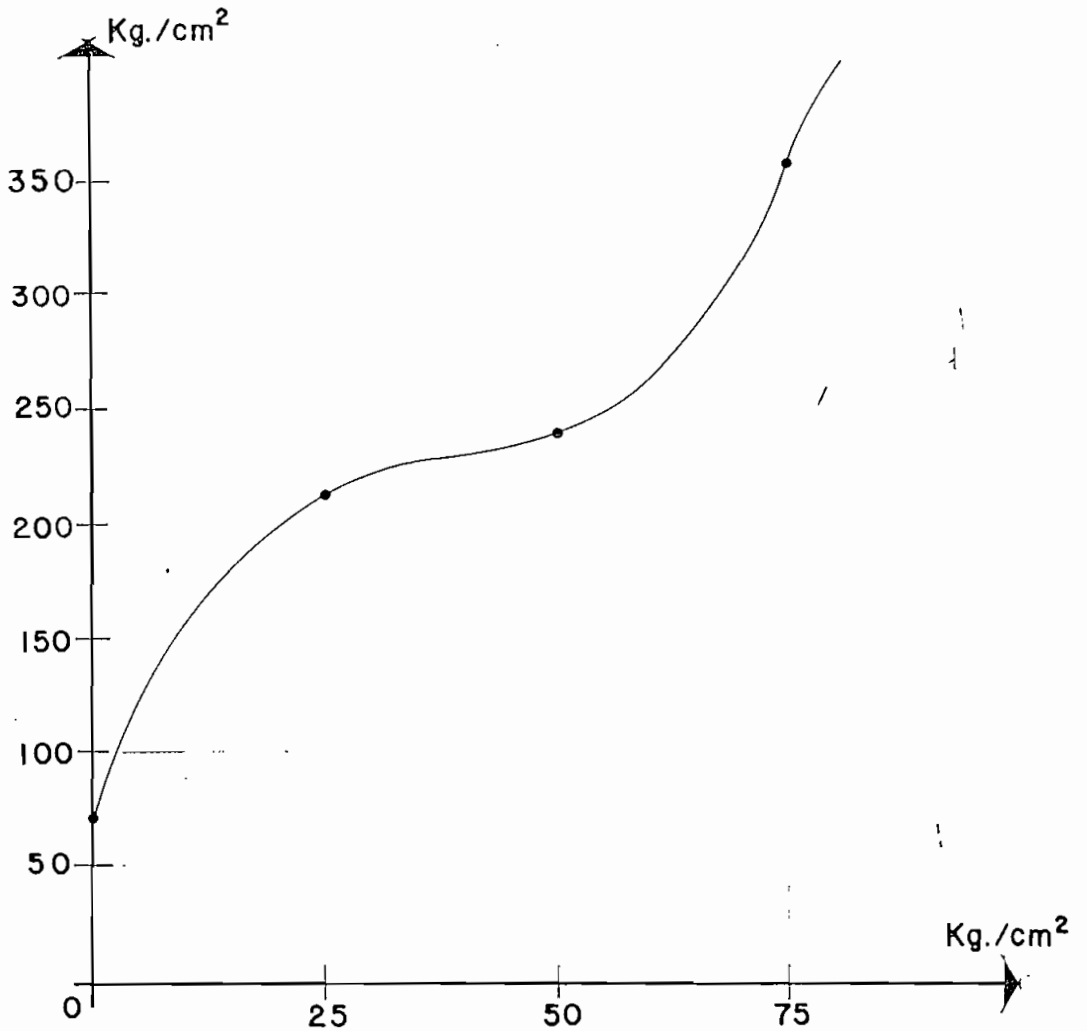


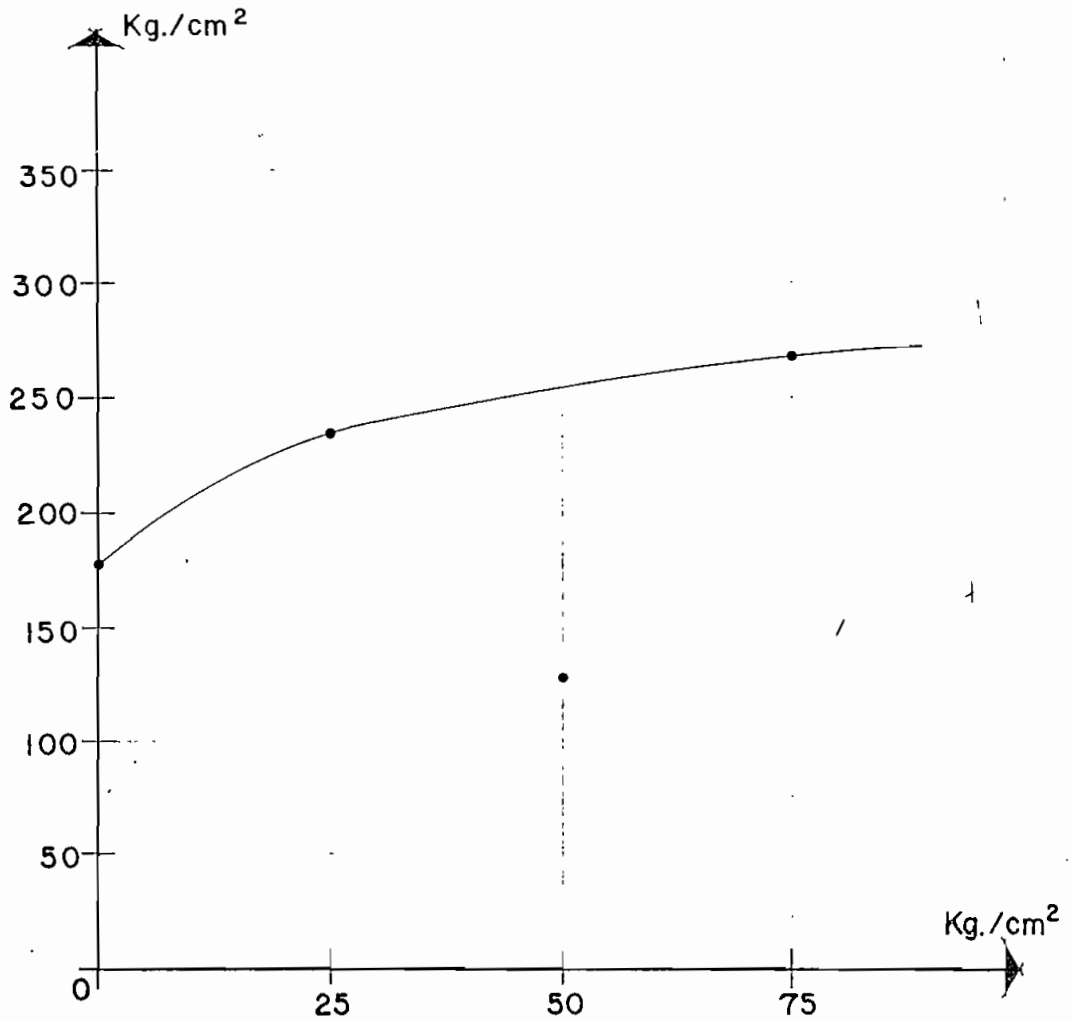
GRAFICO 5.8

RESISTENCIA A LA COMPRESION. VS. PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE COMPACTACION: 30 minutos

DOSIFICACION: 1 : 2.75 : 0.5

CEMENTO ARENA AGUA



G R A F I C O 5.9

RESISTENCIA A LA COMPRESION. VS. PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE COMPACTACION: 30 minutos

DOSIFICACION: 1 : 2.725 : 0.025 : 0.5

CEMENTO CARGA ARENA AGUA

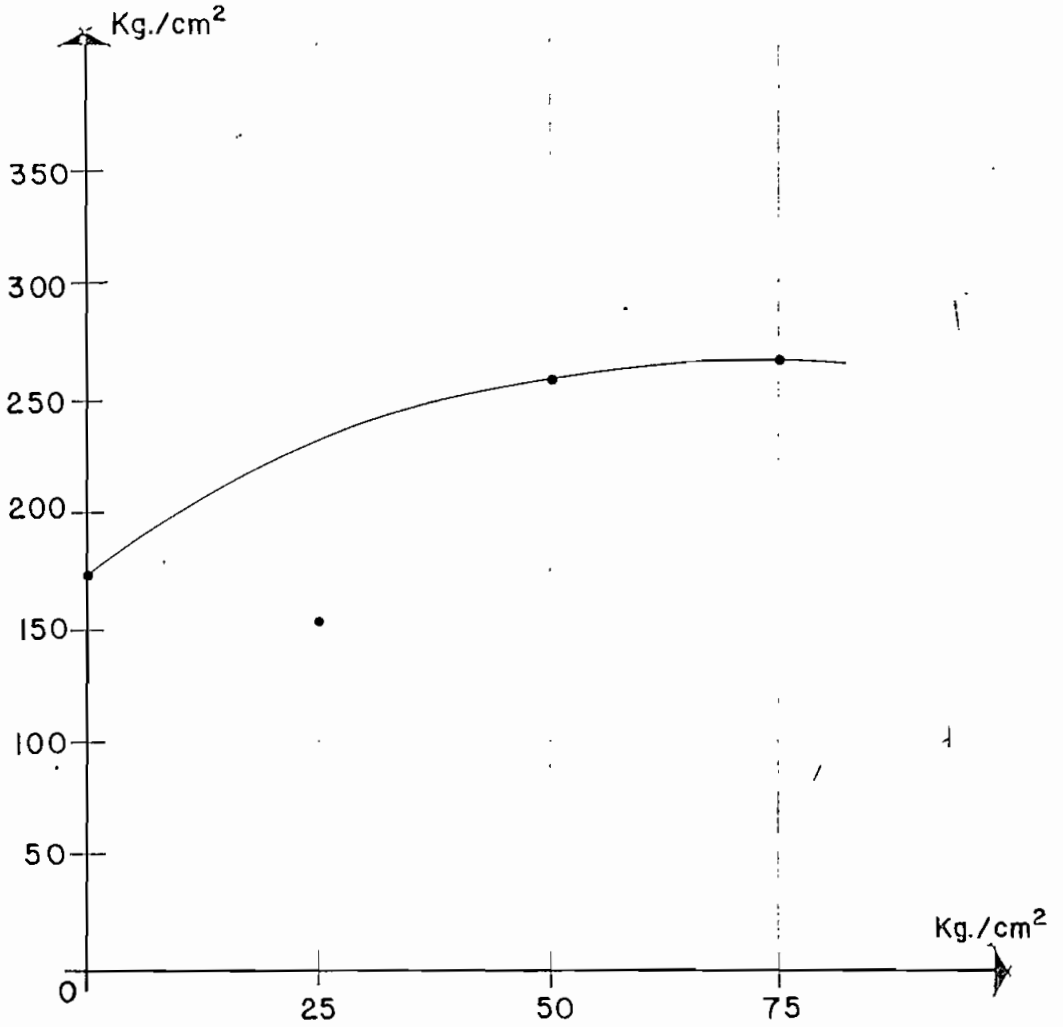


GRAFICO 5.10

RESISTENCIA A LA COMPRESION. VS. PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE COMPACTACION: 30 minutos

DOSIFICACION: 1 : 2.70 : 0.05 : 0.5

CEMENTO ARENA CARGA AGUA

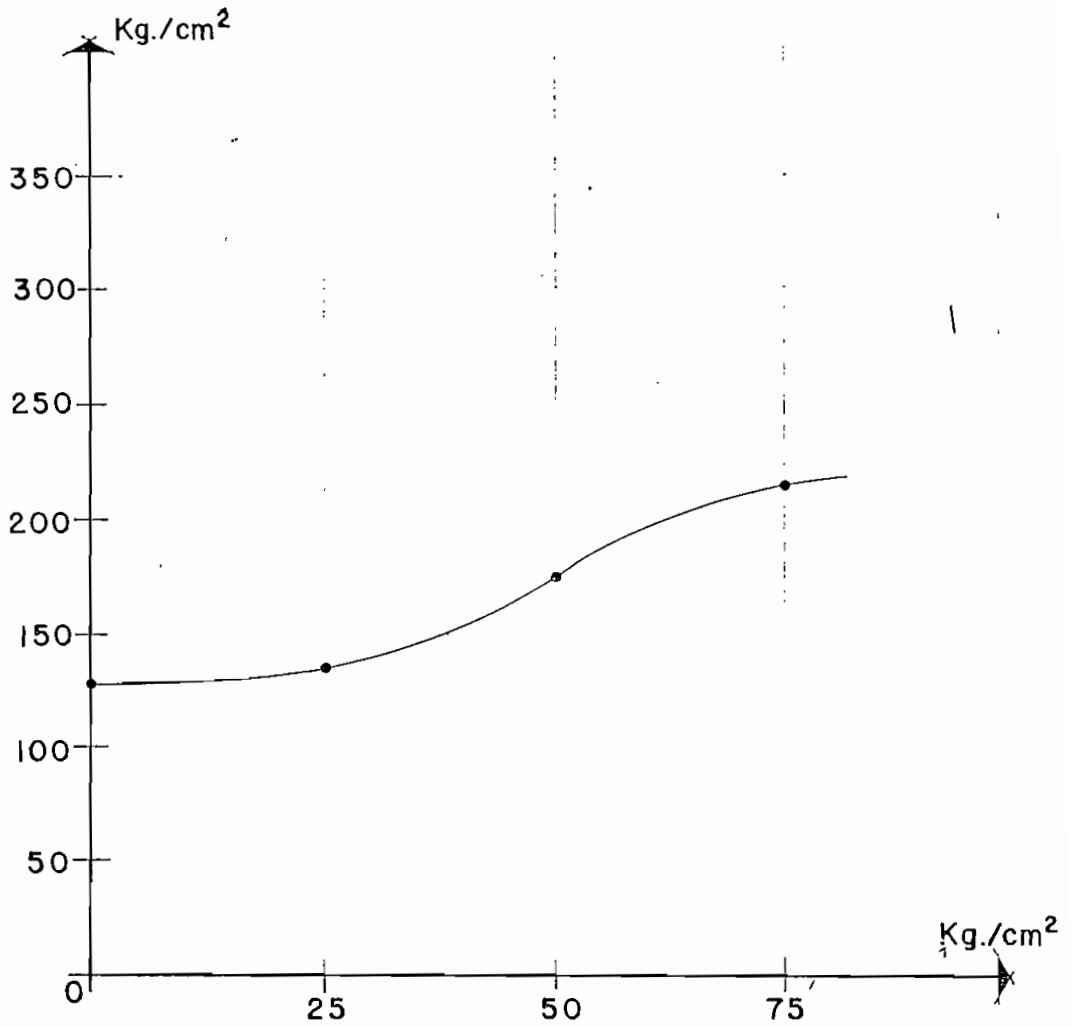


GRAFICO 5.11

RESISTENCIA A LA COMPRESION. VS. PRESION DE COMPACTACION

TIEMPO DE COMPACTACION: 30 MINUTOS

DOSIFICACION: 1 : 2.675 : 0.075 : 0.5

CEMENTO ARENA CARGA AGUA

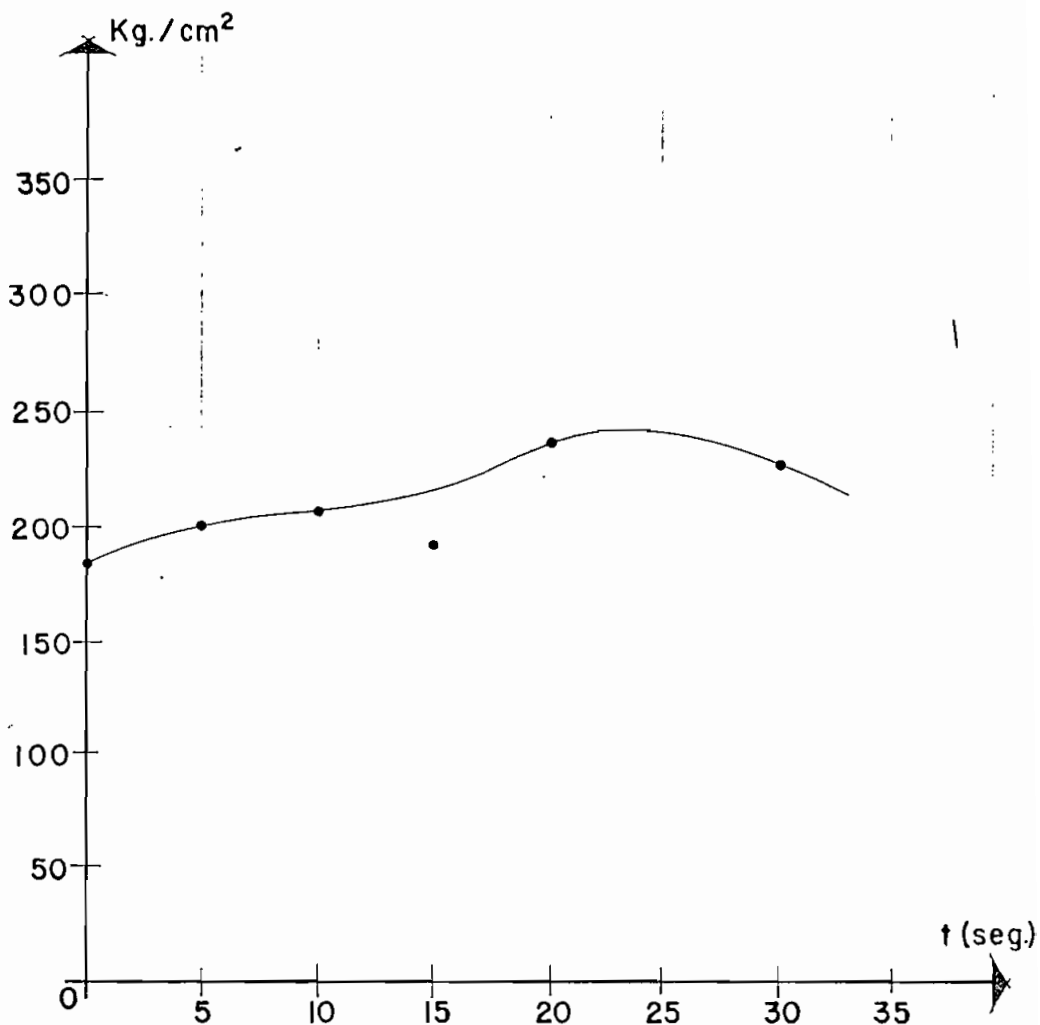


GRAFICO 5.12

RESISTENCIA A LA COMPRESION N.V.S TIEMPO DE COMPACTACION.

PRESION DE COMPACTACION: 25 Kg. 1 cm^2

DOSIFICACION: 1 : 2.725 : 0.025 : 0.5

CEMENTO ARENA CARGA AGUA

5.6 PRUEBAS ELECTRICAS

5.6.1 Resistividad

Para determinar el valor de resistividad de cada una de las muestras se utilizó el MEGGER disponible en el Laboratorio de Alta Tensión de Ingeniería Eléctrica.

El circuito utilizado es el de la figura 5.13.

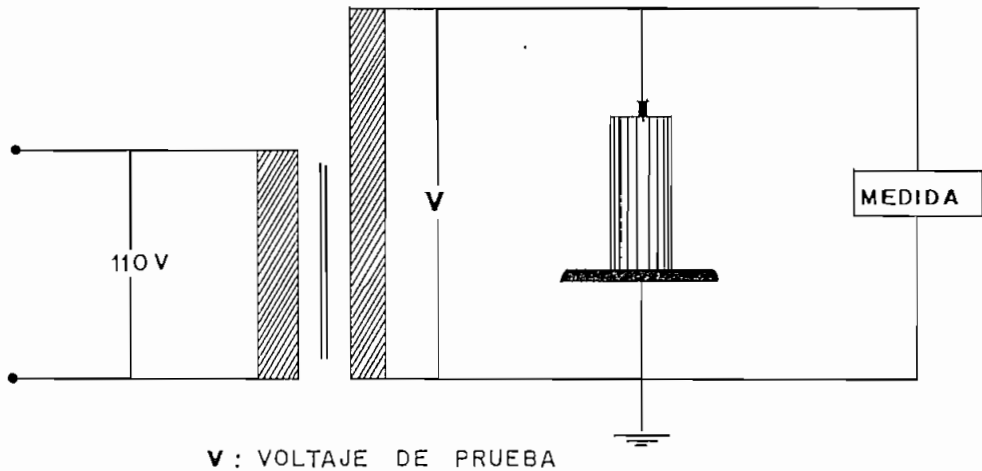


FIGURA 5.13

Las medidas registradas se las toma con tres valores de voltaje de prueba: 1.0 Kv.; 2.0 Kv y 3.0 Kv. En cada caso se sometió a la muestra a la tensión de prueba por el tiempo de 1 minuto, antes de registrar el valor correspondiente.

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 5.2

5.6.2 Microdescargas

La prueba de microdescargas o descargas parciales se la realiza por dos razones básicas:

1. Para determinar si a un voltaje determinado de prueba existen descargas parciales en exceso de una cantidad especificada.
2. Para determinar la cantidad de descargas parciales a diferentes voltajes de prueba.

El primero de los objetivos es usualmente de inspección o control de calidad, en tanto que el segundo es netamente experimental, siendo este el caso de las pruebas realizadas en el presente trabajo.

La medición de las microdescargas de cada una de las muestras se la hizo con el equipo de prueba de descargas parciales - BIDDLE existente en el Laboratorio de Alto Voltaje.

En la medición de las microdescargas se utilizó dos electrodos de aproximadamente 2 pulgadas de diametro, a través de los cuales se somete a cada probeta a una tensión de prueba de 3 Kv.

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 5.3.

5.6.3 Tangente Delta o Factor de Potencia

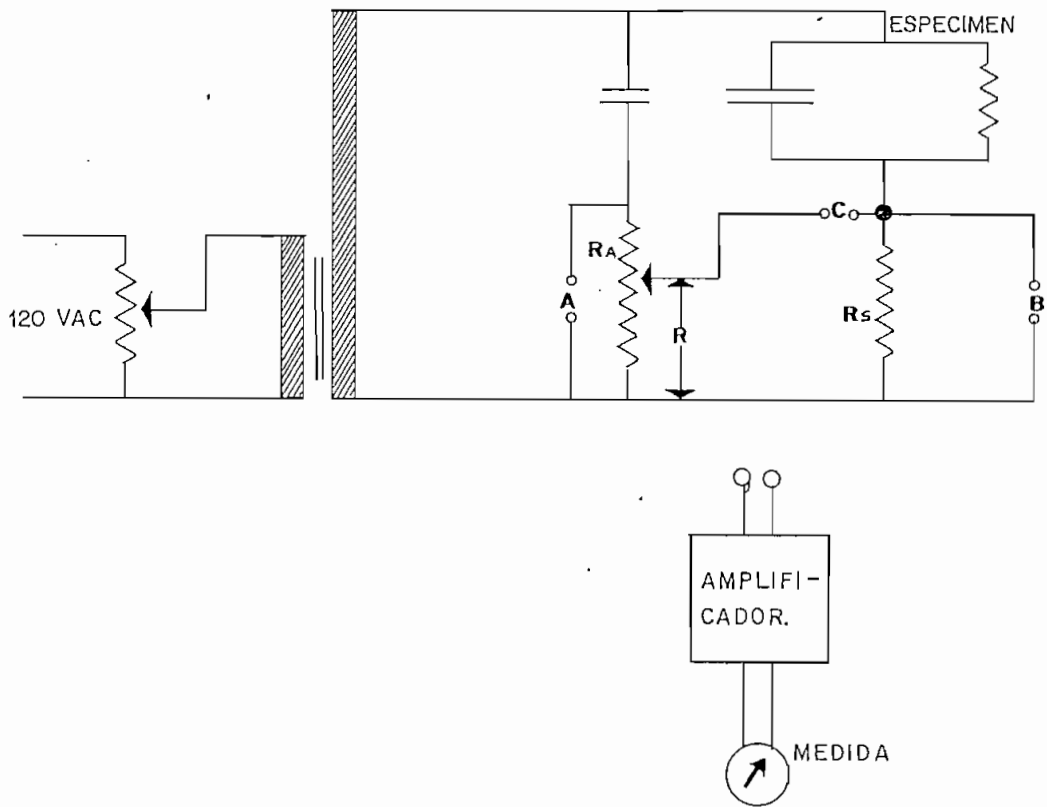
El factor de potencia es el parámetro que determina la calidad del dieléctrico probado.

Para la medición del factor de potencia se utilizó el equipo para pruebas de factor de potencia y aislamiento de aparatos eléctricos (Doble A-C Dielectric Loss And Power-Factor Insulation Test) MEU 2500 - VOLT. TEST SET, perteneciente al Instituto Ecuatoriano de Electrificación.

El equipo de pruebas MEU tiene un circuito especial de medida en

el cual la corriente total de la probeta es registrada sobre el medidor.

A continuación se logra un balance de la red dentro del circuito de medida en tanto que la componente capacitiva de la corriente es balanceada afuera, permitiendo que el medidor registre la componente resistiva de la corriente. El circuito simplificado del equipo de prueba se muestra en la figura 5.14.



CIRCUITO DEL EQUIPO DE PRUEBA
TIPO MEU 2500 VOLTIOS

FIGURA 5.14

Cuando el amplificador se conecta en la posición A, el medidor exterior es ajustado por medio de un control sobre el panel, con el objeto de chequear el fondo de escala.

Cuando el amplificador es conectado en la posición B, la lectura del medidor depende del voltaje sobre R_s , el cual es el producto de R_s y la corriente del espécimen de prueba, con el producto de la lectura del medidor y el multiplicador de MVA se consigue los mVA que son tomados por el espécimen.

Cuando se conecta el amplificador en la posición C, el voltaje de entrada se compone de los voltajes sobre R_s y R con respecto al amplificador, estos dos voltajes están en oposición uno del otro, pudiendo lograrse un balance parcial con el ajuste de R_a . No es posible obtener un balance total puesto que sobre R_s circula la corriente resistiva del espécimen y la corriente capacitiva del mismo, en tanto que sobre R la corriente que circula es netamente capacitiva.

La magnitud del voltaje sobre R puede ser variada hasta obtener un balance parcial o una lectura mínima del medidor, la cual es directamente proporcional al voltaje sobre R_s y depende de la corriente resistiva del espécimen.

El producto de la lectura mínima del medidor y el multiplicador de MW es igual a los mW que disipa el espécimen de prueba.

$$\% fp = \frac{mW}{mVA} \cdot 100$$

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 5.4. Estos valores fueron comprobados realizando nuevamente la prueba de factor de potencia en el puente de Schering.

5.6.4 Permitividad

Para determinar el valor de la permitividad relativa de cada una

de las muestras, se procedió a medir la capacitancia de cada una de ellas, para lo cual se utilizó el equipo con el cual se determinó el factor de potencia.

Conocido el valor de la capacitancia y utilizando la relación:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{A}{l}$$

De donde:
$$\epsilon_r = \frac{C l}{A \epsilon_0}$$

Podemos conocer el valor de la permitividad relativa de cada muestra.

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 5.5.

5.6.5 Rigidez Dieléctrica

El objeto de esta prueba es medir la gradiente de potencial disrruptiva cada una de las probetas de mortero de cemento blanco.

Para esta prueba a cada muestra se la ubicó entre dos electrodos de aproximadamente 2 pulgadas de diámetro, a través de los cuales se aplicó un voltaje creciente, hasta provocar la disrruptión a través de la muestra, la cual presentó una marca de perforación en la parte de contacto de los electrodos.

Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla 5.6.

5.6.6 Efecto Corona

Para determinar el voltaje de inicio y el voltaje de extinción de corona audible, se sometió a cada una de las muestras a una tensión creciente, a través de dos electrodos de 2 pulgadas de diámetro colocados en la parte superior e inferior de cada muestra.

Determinando el valor de inicio de la corona audible, se disminuye el voltaje aplicado, hasta lograr la extinción del efecto corona.

Los resultados obtenidos se exponen en la tabla 5.7.

TABULACION DE CARACTERISTICAS

ELECTRICAS

TABLA 5-2

	DOSIFICACION CEM:ARE:CARGA:AGUA	PRESION Kg/cm ²	TIEMPO Min.	RESISTIVIDAD		
				1KV	3KV	5KV
1	1:2,75:__:0,5	---	---	8.2x10 ⁷	2.9x10 ⁷	2.0x10 ⁷
2	1:2,75:__:0,5	25	30	1.4x10 ⁹	2.7x10 ⁸	2.1x10 ⁸
3	1:2,75:__:0,5	50	30	8.1x10 ⁸	2.3x10 ⁸	1.9x10 ⁸
4	1:2,75:__:0,5	75	30	8.6x10 ⁷	4.7x10 ⁷	3.5x10 ⁷
5	1:2,725:0,025:0,5	---	30	2.8x10 ⁷	1.6x10 ⁷	1.2x10 ⁷
6	1:2,725:0,025:0,5	25	30	2.5x10 ⁹	3.8x10 ⁸	3.1x10 ⁸
7	1:2,735:0,025:0,5	50	30	4.9x10 ⁸	2.9x10 ⁸	2.6x10 ⁸
8	1:2,725:0,025:0,5	75	30	3.4x10 ⁸	6.9x10 ⁷	3.7x10 ⁷
9	1:2,70:0,050:0,5	---	30	3.5x10 ⁷	2.0x10 ⁷	1.5x10 ⁷
10	1:2,70:0,050:0,5	25	30	6.8x10 ⁸	2.2x10 ⁸	1.7x10 ⁸
11	1:2,70:0,050:0,50	50	30	4.1x10 ⁹	2.1x10 ⁹	3.5x10 ⁸
12	1:2,70:0,050:0,5	75	30	4.6x10 ⁸	4.6x10 ⁷	3.3x10 ⁷
13	1:2,675:0,075:0,5	---	30	3.4x10 ⁷	1.6x10 ⁷	9.9x10 ⁶
14	1:2,675:0,075:0,5	25	30	3.3x10 ⁹	5.3x10 ⁸	4.1x10 ⁸
15	1:2,675:0,075:0,5	50	30	1.4x10 ⁹	3.5x10 ⁸	2.8x10 ⁸
16	1:2,675:0,075:0,5	75	30	3.9x10 ⁸	5.0x10 ⁷	5.7x10 ⁷

TABLA 5-3

	DOSIFICACION CEM:ARE:CARGA:AGUA	PRESION Kg/cm ²	TIEMPO Min.	CARGA pC
1	1:2,75:__:0,5	---	---	27,66
2	1:2,75:__:0,5	25	30	31,83
3	1:2,75:__:0,5	50	30	21,83
4	1:2,75:__:0,5	75	30	28,00
5	1:2,725:0,025:0,5	---	30	28,33
6	1:2,725:0,025:0,5	25	30	20,50
7	1:2,735:0,025:0,5	50	30	25,66
8	1:2,725:0,025:0,5	75	30	14,36
9	1:2,70:0,050:0,5	---	30	28,66
10	1:2,70:0,050:0,5	25	30	14,40
11	1:2,70:0,050:0,50	50	30	29,00
12	1:2,70:0,050:0,5	75	30	19,60
13	1:2,675:0,075:0,5	---	30	20,00
14	1:2,675:0,075:0,5	25	30	16,00
15	1:2,675:0,075:0,5	50	30	11,16
16	1:2,675:0,075:0,5	75	30	22,66

TABLA 5-4

	DOSIFICACION CEM:ARE:CARGA:AGUA	PRESION Kg/cm ²	TIEMPO Min.	FACTOR DE POTENCIA (%)	
				1KV	2KV
1	1:2,75:__:0,5	---	---	39,11	81,30
2	1:2,75:__:0,5	25	30	45,35	89,06
3	1:2,75:__:0,5	50	30	45,96	80,40
4	1:2,75:__:0,5	75	30	52,90	90,18
5	1:2,725:0,025:0,5	---	30	48,36	77,57
6	1:2,725:0,025:0,5	25	30	42,66	76,09
7	1:2,735:0,025:0,5	50	30	55,02	87,41
8	1:2,725:0,025:0,5	75	30	64,60	94,56
9	1:2,70:0,050:0,5	---	30	33,14	71,42
10	1:2,70:0,050:0,5	25	30	33,32	63,26
11	1:2,70:0,050:0,50	50	30	56,33	85,66
12	1:2,70:0,050:0,5	75	30	44,09	73,65
13	1:2,675:0,075:0,5	---	30	42,51	78,61
14	1:2,675:0,075:0,5	25	30	44,19	63,89
15	1:2,675:0,075:0,5	50	30	51,12	74,25
16	1:2,675:0,075:0,5	75	30	39,47	70,60

TABLA 5-5

	DOSIFICACION CEM:ARE:CARGA:AGUA	PRESION Kg/cm ²	TIEMPO Min.	PERMITIVIDAD Er
1	1:2,75:__:0,5	---	---	3,47
2	1:2,75:__:0,5	25	30	3,46
3	1:2,75:__:0,5	50	30	3,24
4	1:2,75:__:0,5	75	30	2,84
5	1:2,725:0,025:0,5	---	30	3,45
6	1:2,725:0,025:0,5	25	30	3,18
7	1:2,735:0,025:0,5	50	30	3,54
8	1:2,725:0,025:0,5	75	30	3,34
9	1:2,70:0,050:0,5	---	30	3,25
10	1:2,70:0,050:0,5	25	30	2,20
11	1:2,70:0,050:0,5	50	30	3,11
12	1:2,70:0,050:0,5	75	30	3,04
13	1:2,675:0,075:0,5	---	30	3,48
14	1:2,675:0,075:0,5	25	30	2,22
15	1:2,675:0,075:0,5	50	30	2,62
16	1:2,675:0,075:0,5	75	30	2,84

TABLA 5-6

	DOSIFICACION CEM:ARE:CARGA:AGUA	PRESION Kg/cm ²	TIEMPO Min.	GRADIENTE POTENCIAL [KV/cm]
1	1:2,75:___:0,5	---	---	6,03
2	1:2,75:___:0,5	25	30	5,99
3	1:2,75:___:0,5	50	30	5,70
4	1:2,75:___:0,5	75	30	5,98
5	1:2,725:0,025:0,5	---	30	5,95
6	1:2,725:0,025:0,5	25	30	5,86
7	1:2,735:0,025:0,5	50	30	5,60
8	1:2,725:0,025:0,5	75	30	5,80
9	1:2,70:0,050:0,5	---	30	5,98
10	1:2,70:0,050:0,5	25	30	5,64
11	1:2,70:0,050:0,50	50	30	5,76
12	1:2,70:0,050:0,5	75	30	5,59
13	1:2,675:0,075:0,5	---	30	5,39
14	1:2,675:0,075:0,5	25	30	5,03
15	1:2,675:0,075:0,5	50	30	5,07
16	1:2,675:0,075:0,5	75	30	5,17

TABLA 5-7

	DOSIFICACION CEM:ARE:CARGA:AGUA	PRESION Kg/cm ²	TIEMPO Min.	CORONA (VOLT.)	
				V.INICIO	V.EXTINCION
1	1:2,75:__:0,5	---	---	1330	1060
2	1:2,75:__:0,5	25	30	1330	1060
3	1:2,75:__:0,5	50	30	1330	1050
4	1:2,75:__:0,5	75	30	1330	1000
5	1:2,725:0,025:0,5	---	30	1400	1150
6	1:2,725:0,025:0,5	25	30	1375	1100
7	1:2,735:0,025:0,5	50	30	1330	1000
8	1:2,725:0,025:0,5	75	30	1330	1000
9	1:2,70:0,050:0,5	---	30	1400	1080
10	1:2,70:0,050:0,5	25	30	1550	1250
11	1:2,70:0,050:0,50	50	30	1300	1080
12	1:2,70:0,050:0,5	75	30	1300	1080
13	1:2,675:0,075:0,5	---	30	1350	1100
14	1:2,675:0,075:0,5	25	30	1700	1450
15	1:2,675:0,075:0,5	50	30	1450	1300
16	1:2,675:0,075:0,5	75	30	1500	1100

C A P I T U L O

6

ANALISIS DE RESULTADOS

:
:

CAPITULO 6

6.1 CONCLUSIONES

6.1.1 Características Físicas y Mecánicas

Todos los morteros fabricados presentan superficialmente porosidades detectables a simple vista, las cuales obviamente van en contra de las cualidades eléctricas que pueda poseer el mortero.

Las porosidades se presentan también al interior del mortero siendo éstas en general no uniformes y de muy distintas dimensiones, pudiendo observarse que su ubicación es muy aleatoria.

El grado y cantidad de porosidades disminuye en los morteros fabricados con presión de compactación y en los fabricados con carga de fibra de vidrio.

La porosidad superficial podría ser disminuída con la utilización de moldes de superficie interior extremadamente lisa, sugiriéndose la utilización de moldes plásticos.

En el presente trabajo se dio mucho énfasis a la característica que poseen los morteros de resistencia a la compresión, obteniéndose excelentes resultados, pues los valores alcanzados y que fueron expuestos en las tablas 3.1 y 3.3 superan casi en un 100% a los valores obtenidos en otras investigaciones, las mismas que fueron punto de partida de la presente investigación. [4], [5].

6.1.2 Impregnación

Como se detalló en el capítulo 4, los resultados del proceso de impregnación fueron totalmente nulos, a pesar de las variantes y mejoras probadas.

Los resultados en esta parte de la investigación, son contradictorios con los alcanzados en trabajos similares [4], [5], lo cual amerita una mejor y más clara difusión del método de impregnación empleado en esos trabajos, puesto que los resultados conseguidos serían de enorme beneficio en el estudio de los dieléctricos.

6.1.3 Morteros con carga

Los materiales utilizados como carga, lana de vidrio y fibra de vidrio, presentaron cierta dificultad para la fabricación de los morteros, particular que se detalla en el capítulo 5 del presente trabajo y, se explica por qué se desecha la utilización de la lana de vidrio.

La utilización de la fibra de vidrio como carga, proporciona mejores cualidades físicas y mecánicas al mortero, pues como se indicó reduce el grado de porosidad de las muestras, pero en contraposición se observa que en los morteros fabricados con carga y con presión de compactación, la resistencia a la compresión es menor a la alcanzada en los morteros fabricados sin carga y con presión de compactación: Comparar gráficos 5.5. a 5.9.

6.1.4 Características Eléctricas

6.1.4.1 Resistividad

Los valores obtenidos de resistividad, para cada una de las dosificaciones del mortero de cemento, fueron expuestos en la tabla 5.2, estos mismos valores se hallan graficados en la figura 6.1 en la cual se observa que los valores medidos en las muestras construídas sin presión de compactación así como en las construídas con el mayor valor de presión de compactación [75 Kg./cm²], son valores que no difieren apreciablemente para cada una de las disjuntas dosificaciones.

Los valores medidos de resistividad en las muestras constuídas con

25 Kg/cm² y con 50 Kg/cm² de presión de compactación, presentan diferencias apreciables entre las distintas dosificaciones.

Numericamente los valores de resistividad medidos se encuentran en el rango de 10⁸ Ω.mt., lo cual colocaría a los morteros dentro de la escala de valores de resistividad que presentan algunos materiales usados como dieléctricos, cuyos valores de resistividad volumétrica se presentan a continuación (5). (12).

<u>MATERIAL</u>	<u>P (Ω . mt)</u>
EBONITA	10 ⁵ - 10 ¹⁴
MICA	10 ⁶ - 10 ⁹
MADERA	10 ⁶ - 10 ¹²
FIBRA	10 ⁶ - 10 ¹²
MARMOL	10 ⁶ - 10 ¹⁴
PORCELANA	10 ⁶ - 10 ¹⁴
VALOR MEDIDO	10 ⁸

6.1.4.2 Microdescargas y Factor de Potencia

Las microdescargas y el factor de potencia o ángulo de pérdidas de un dieléctrico deben guardar una relación directa entre sí, pues la presencia de microdescargas conlleva una disipación de energía en el dieléctrico y las consecuentes pérdidas dieléctricas.

Las tablas 5.3 y 5.4 recojen los valores medidos de microdescargas y factor de potencia respectivamente. Estos valores son graficados en las figuras 6.2 y 6.3.

Comparando las figuras 6.2 y 6.3 se observa que los resultados de las magnitudes analizadas, no se complementa entre sí, como debería esperarse.

La incongruencia de estos resultados puede deberse principalmente al método y equipo de medición empleado, pues debido a que la superficie de contacto de la muestra es rugosa, se presentan

porosidades entre la muestra y los electrodos, en estas porosidades también se pueden presentar microdescargas, las mismas que son registradas por los instrumentos de medición, distorsionando o desviando los valores registrados.

Los resultados medidos de factor de potencia, determinan que la calidad del dieléctrico estudiado es muy baja, pues los valores registrados difieren notablemente de los valores típicos de ciertos materiales usados como aislantes, los mismos que se exponen a continuación (11).

<u>MATERIAL</u>	<u>% F.P a 20°C</u>
AIRE	0
ACEITE	0.1
PAPEL	0.5
PORCELANA	2.0
CAUCHO	4.0
VALOR MEDIDO	33.1 - 64.6.

6.1.4.3 Permitividad Relativa

Los valores de permitividad relativa medidos en los morteros estudiados y presentados en la tabla 5.5, se grafican en la figura 6.4. El análisis de esta figura no permite establecer una tendencia o relación entre los valores de permitividad relativa y las distintas dosificaciones estudiadas y la presión de compactación de los morteros.

Sin embargo, se observa una marcada dispersión de valores en los morteros contruídos con 25 Kg/cm² y 50 Kg/cm² de presión de compactación, en tanto que es menor la diferencia de valores de permitividad entre las distintas dosificaciones de los morteros contruídos sin presión de compactación y los contruídos con 75 Kg/cm² de presión de compactación.

Numericamente los valores obtenidos varían de 2.20 a 3.54, lo cual ubica al material estudiado en similar escala a la de algunos materiales

utilizados como dieléctricos, cuyos valores de permitividad relativa se presentan a continuación. [12]

<u>MATERIAL</u>	<u>PERMITIVIDAD RELATIVA</u>
PAPEL SECO	2.0 a 3.5
CAUCHO	2.2
CUARZO FUNDIDO	2.7 a 3.0
MADERA	3.0
PAPEL IMPREGNADO	3.0 a 4.0
PORCELANA	4.9
MICA	5.4
VIDRIOS	4.0 a 10.0
VALOR MEDIDO	2.2 a 3.48

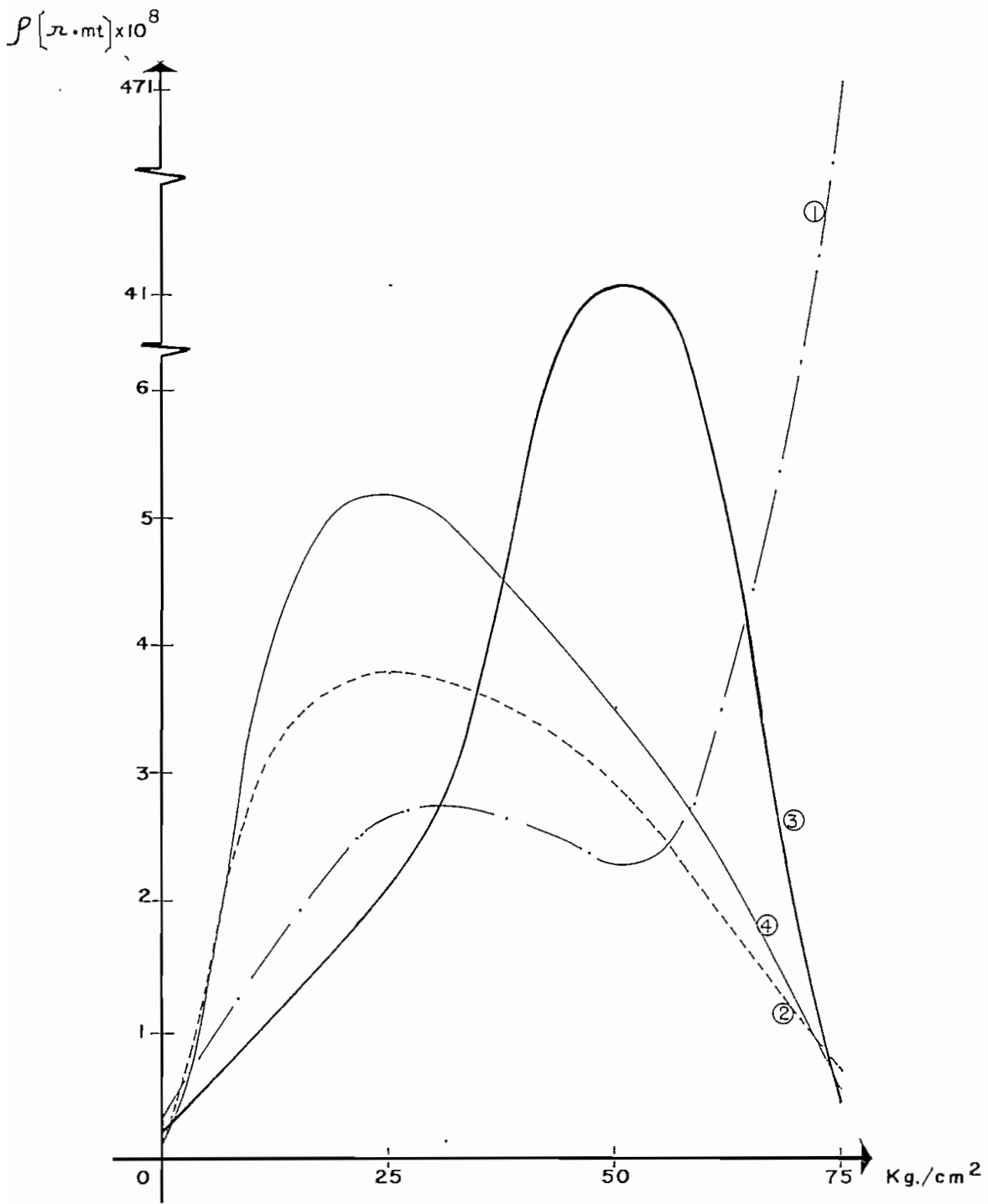


GRAFICO 6.1

RESISTIVIDAD .VS. PRESION DE COMPACTACION

DOSIFICACIONES				
CEM.:	ARENA :	CARGA:	AGUA	
1.	1:	2.750:	-	0.5
2.	1:	2.725:	0.025	0.5
3.	1:	2.700:	0.050	0.5
4.	1:	2.675:	0.075	0.5

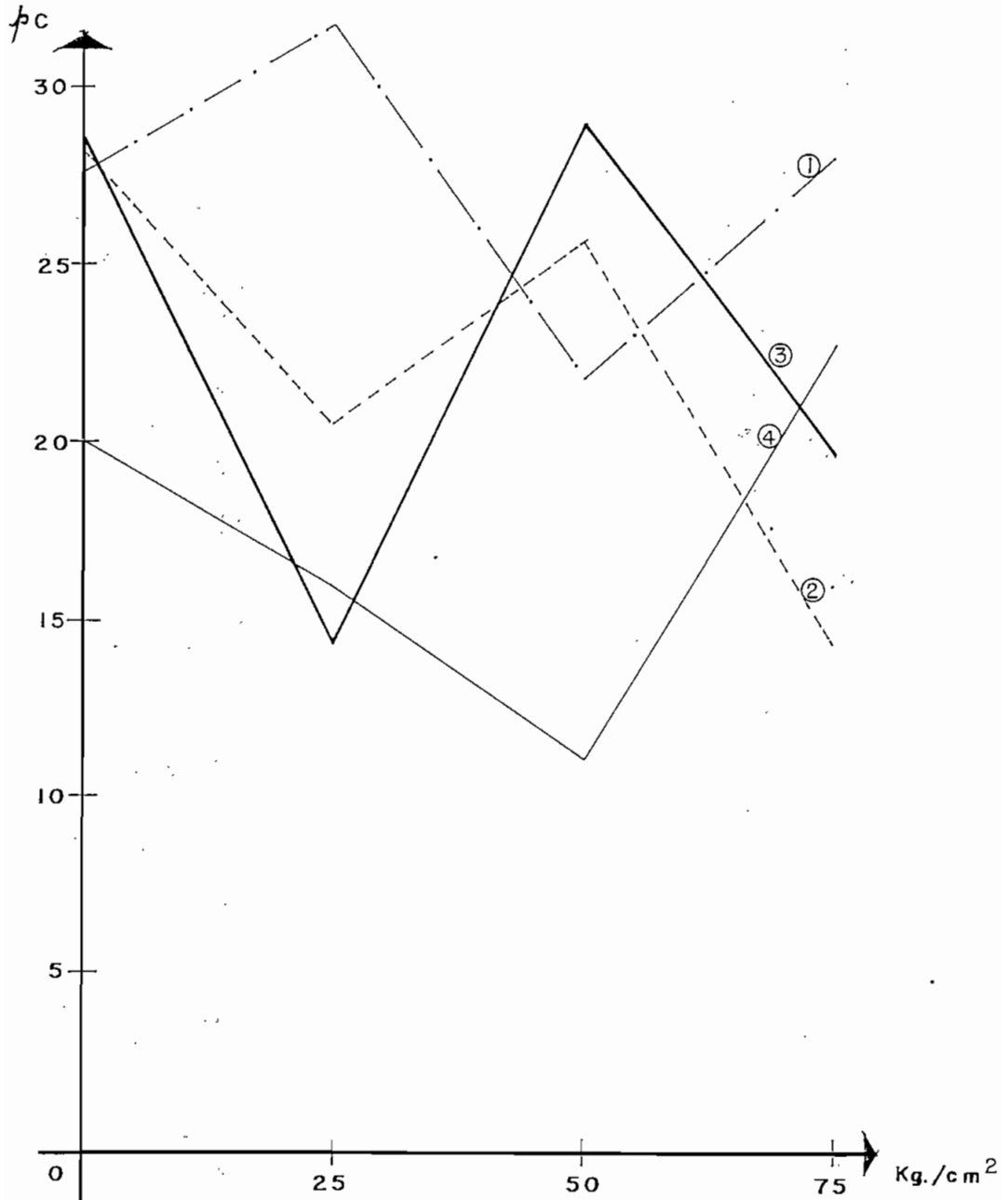


GRAFICO 6.2

MICRODESCARGAS .VS. PRESION DE COMPACTACION
DOSIFICACIONES

	CEM.:	ARENA:	CARGA:	AGUA
1.	1:	2.750:	- :	0.5
2.	1:	2.725:	0.025 :	0.5
3.	1:	2.700:	0.050 :	0.5
4.	1:	2.675:	0.075 :	0.5

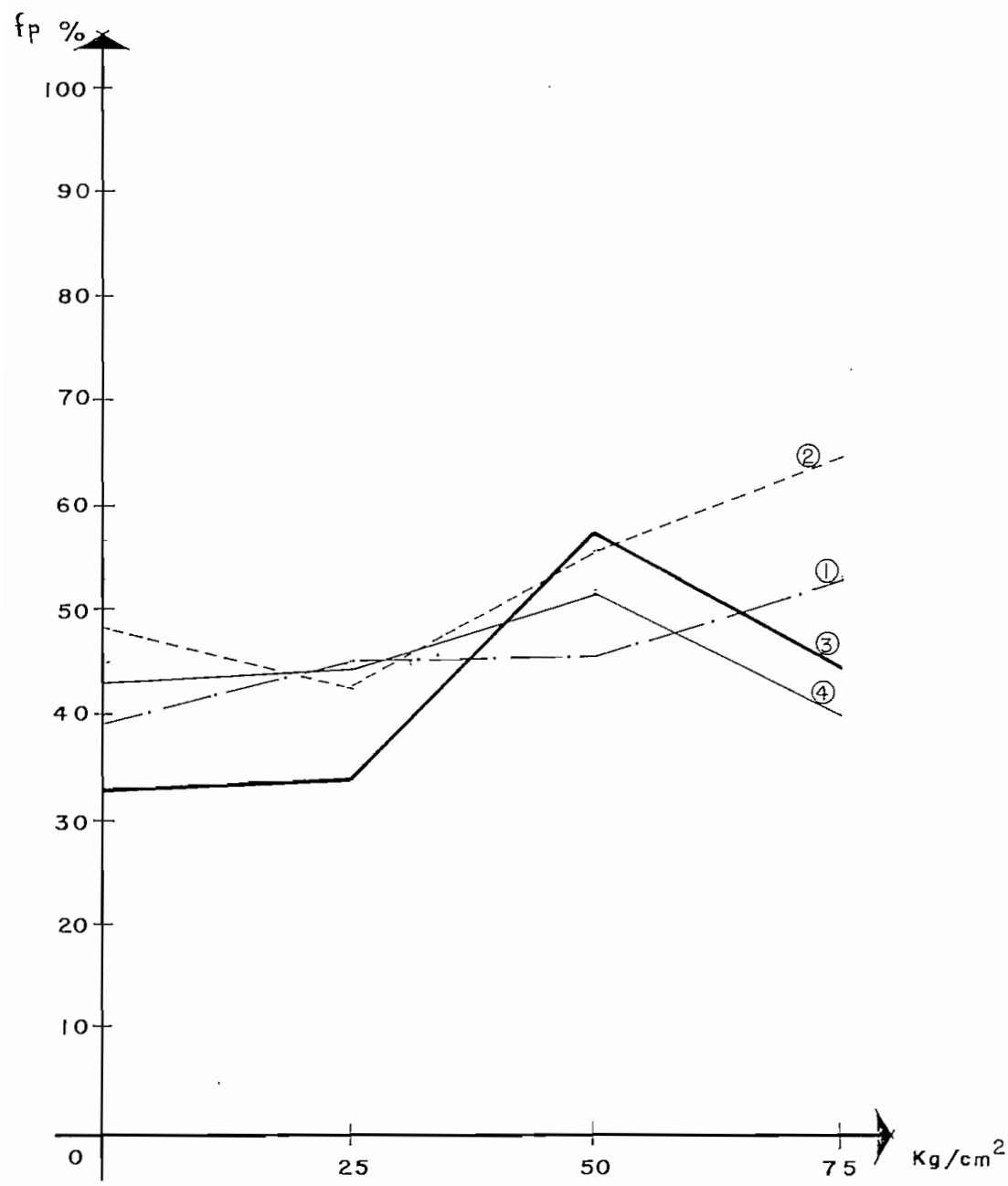


GRAFICO 6.3

FACTOR DE POTENCIA .VS. PRESION DE COMPACTACION

DOSIFICACION

	CEM. :	ARENA :	CARGA :	AGUA
1.	1 :	2.750 :	- :	0.5
2.	1 :	2.725 :	0.025 :	0.5
3.	1 :	2.700 :	0.050 :	0.5
4.	1 :	2.675 :	0.075 :	0.5

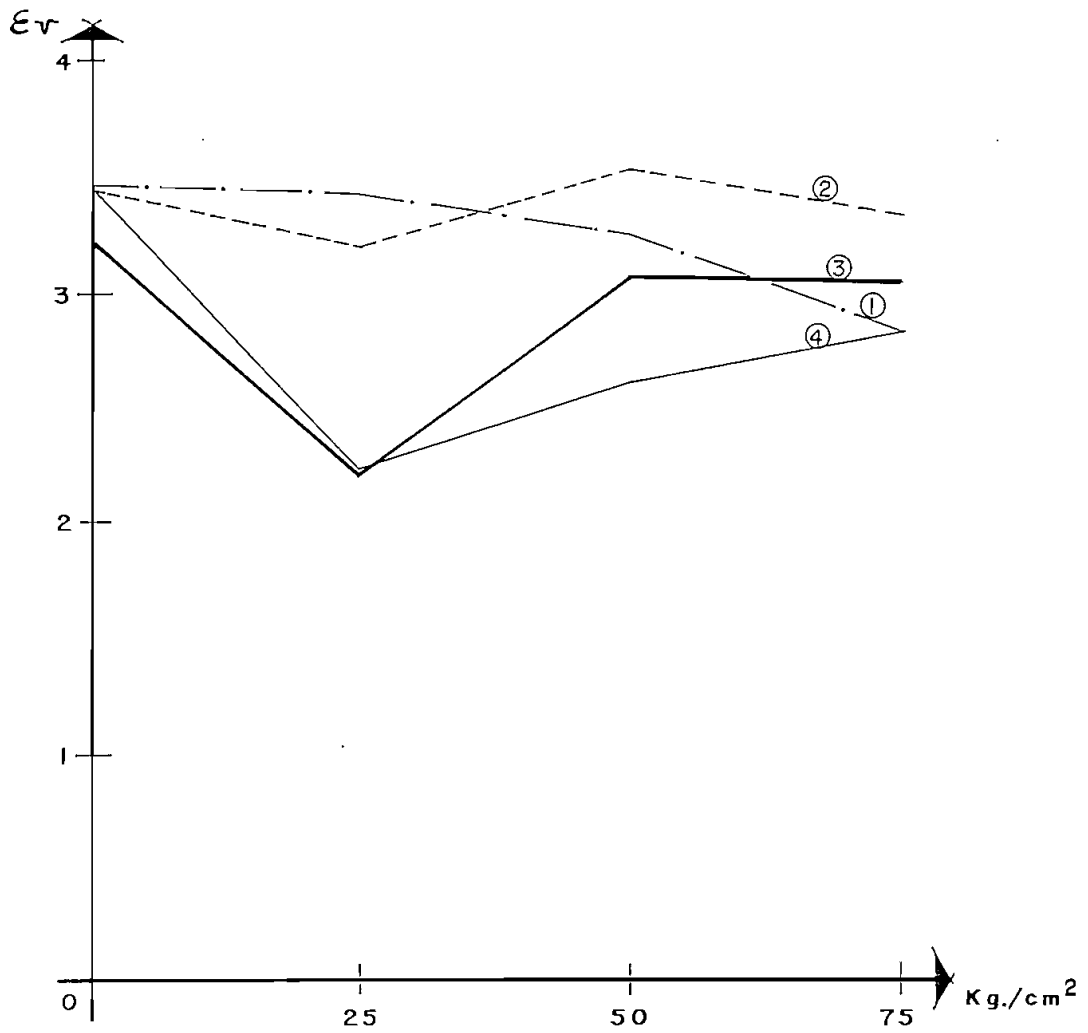


GRAFICO 6.4

PERMITIVIDAD RELATIVA .VS. PRESION DE COMPACTACION

OSIFICACION

	CEM.:	ARENA :	CARGA:	AGUA
1.	1:	2.750:	- :	0.5
2.	1:	2.725:	0.025 :	0.5
3.	1:	2.700:	0.050 :	0.5
4.	1:	2.675:	0.075 :	0.5

6.2 RECOMENDACIONES

Las características electromecánicas del material estudiado permiten recomendar que se continúe con el análisis y experimentación de los morteros de cemento, para su utilización como dieléctrico pues como se indicó en el análisis de propiedades del material, los valores obtenidos para cada uno de los parámetros estudiados, ubican al material como apto para ser usado como dieléctrico, pues los valores registrados son similares a los de algunos materiales utilizados como aislantes.

Los estudios posteriores que puedan realizarse como complemento al presente trabajo se sugiere que se enfoquen con dos objetivos bien determinados, estos son: la optimización de las características electromecánicas y la puntualización o determinación del campo de aplicación o utilización del material.

En lo relacionado a la optimización de características electromecánicas se debe poner énfasis en mejorar el ángulo de pérdidas o factor de potencia del material, para lo cual se debe buscar el método idóneo mediante el cual la pureza y homogeneidad de la mezcla con la cual se forma el mortero quede garantizada, pues el exceso de impurezas en las muestras se refleja en altas pérdidas dieléctricas y consecuentemente en poco deseables valores de factor de potencia.

La utilización de carga en el mortero, fibra de vidrio en el presente caso, evidentemente mejorará a ciertas propiedades mecánicas de las muestras como son la resistencia a la flexión y la resistencia a la torsión. Estas propiedades no fueron objeto del presente estudio, sin embargo su cabal conocimiento permitirán optimizar la producción de los morteros, con miras a una aplicación específica.

El acabado superficial de los morteros, como se indicó anteriormente, resulta muy irregular y con porosidades macroscópicas lo cual va en desmedro de las características de las muestras. A fin de resolver

este inconveniente se debe estudiar la forma de dotar al mortero de un acabado superficial idoneo, para lo cual se podría experimentar con la impregnación superficial de los morteros con diferentes resinas lo cual mejorará las propiedades eléctricas y mecánicas del material. Punto de partida en este análisis pueden ser las experiencias y resultados expuestos en el capítulo 4 de este trabajo.

La fabricación de los morteros debe ser realizada en serie, para lo cual sería conveniente disponer del equipo necesario para la fabricación, impregnación y pruebas de los morteros, sin restricciones de tiempo y libertad de utilización, siendo lo ideal disponer de todo el equipo en la Facultad de Ingeniería Eléctrica. Esta recomendación se la plantea debido a los problemas encontrados en el desarrollo de este trabajo, para disponer en préstamo del equipo y material de impregnación, de no ser posible la implementación del material requerido, se sugiere establecer un firme y claro convenio de cooperación entre las distintas Facultades e Institutos de la Escuela Politécnica Nacional.

En lo relacionado con la utilización práctica del material estudiado, sería conveniente analizar y probar el comportamiento del nuevo material en aplicaciones concretas probándolos como bases portafusibles, bases para interruptores de cuchillas de baja tensión, aisladores portabarras, aisladores de baja tensión y otras aplicaciones similares como ejemplo.

B I B L I O G R A F I A

1. CHAMORRO J. LOURDES., "Aglomerados de Aserrín de la Industria Maderera con Resina Estireno-Poliéster", Tesis de Grado E.P.N., Quito, 1982.
2. MEJIA S. GONZALO., "Aglomerados de Piedra Pómez con Resina Poliéster-Estireno y Metacrilato de Metilo", Tesis de Grado E.P.N., Quito, 1980.
3. VILLA CH. GONZALO., "Estudio del Mortero y Hormigón de Cemento Portland Tratado con Poliéster-Estireno y Polimerizado con Calor", Tesis de Grado E.P.N., Quito, 1981.
4. TORRES G. LUIS., "Estudio del Mortero y Hormigón de Cemento Portland Tratado con Poliéster-Estireno y Polimerizado con Calor", Tesis de Grado E.P.N., Quito, 1981
5. N.P. BOGORODITSKI, V.V. PASINKOV y B.M. TAREIEV., "Materiales Electrotécnicos", Ed. 4ta., Editorial Mir, Moscú, 1979.
6. ZBIGNIEW D. JASTRZEBSKI., "Naturaleza y Propiedades de los Materiales para Ingeniería", Ed. 2da., Editorial Interamericana, México, 1976.
7. Staff-Portland Cement Association., "Proyecto y Control de Mezclas de Concreto", Editorial Limusa, México, 1978.
8. Ref: 7.- [Pág. 16].
9. Ref: 7.- [Pág. 16]
10. Ref: 7.- [Pág. 22]

11. MANUAL DOBLE, "Use of Doble Power-Factor Insulation Tests For Maintenance Testing of Electrical Apparatus".
12. ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD, "Electrotécnia General", Ediciones Ceac, España, 1983.