

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ENSAYO DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA  
INFLUENCIA DE LOS FINOS ARCILLOSOS EN LAS ARENAS  
DE TRITURACIÓN

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ ESTUARDO PALENCIA SAMAYOA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

Guatemala, abril de 1999

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

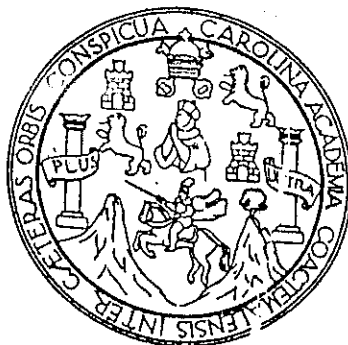
**ENSAYO DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR  
LA INFLUENCIA DE LOS FINCS ARCILLOSOS EN  
LAS ARENAS DE TRITURACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 18 de abril de 1,997.



**JOSÉ ESTUARDO PALENCIA SAMAYOA**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS  
VOCAL 1º.: ING. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ RIVERA  
VOCAL 2º.: ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ  
VOCAL 3º.: ING. JORGE BENJAMÍN GUTIÉRREZ QUINTANA  
VOCAL 4º.: BR. DIMAS ALFREDO CARRANZA BARRERA  
VOCAL 5º.: BR. JOSÉ ENRIQUE LÓPEZ BARRIOS  
SECRETARIO: LICDA. GILDA CASTELLANOS DE ILLESCAS

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: ING. JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK  
EXAMINADOR: ING. EDGAR VINICIO QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ  
EXAMINADOR: ING. EDGAR DANIEL DE LEÓN MALDONADO  
EXAMINADOR: ING. ALFREDO ENRIQUE BEBER ACEITUNO  
SECRETARIO: ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

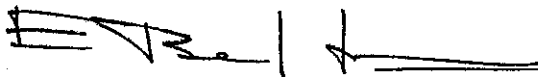
Guatemala, 24 de septiembre de 1998.

Ingeniero  
Javier Quiñónez  
Coordinador del  
Area de Materiales  
Facultad de Ingeniería, USAC  
Presente

Señor Coordinador:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he efectuado la revisión final del trabajo de tesis titulado: ENSAYO DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS FINOS ARCILLOSOS EN LAS ARENAS DE TRITURACION, presentado por el estudiante JOSE ESTUARDO PALENCIA SAMAYOA, el cual llena los requisitos establecidos en la propuesta hecha por el sustentante, por lo que me permito aprobarlo en calidad de asesor del mismo.

Atentamente,



Emilio Beltranena Matheu  
Ingeniero Civil Colegiado No. 264

EB/mh



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 28 de enero de 1999.

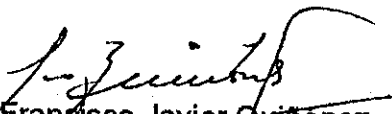
Ingeniero Sydney Alexander Samuels Nilson,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería.

Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis ENSAYO DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS FINOS ARCILLOSOS EN LAS ARENAS DE TRITURACIÓN, realizada por el estudiante universitario José Estuardo Palencia Samayoa, quien contó con la asesoría del Ingeniero Emilio Beltranena Matheu.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fue planteado y contiene valiosa información de carácter experimental, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

  
Ing. Francisco Javier Quiñonez  
Coordinador Área de Materiales  
y Recursos Naturales no Renovables



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Emilio Beltranena Matheu y del Coordinador del Área de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñónez, del trabajo de tesis del estudiante José Estuardo Palencia Samayoa, titulado ENSAYO DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS FINOS ARCILLOSOS EN LAS ARENAS DE TRITURACION, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Wilson



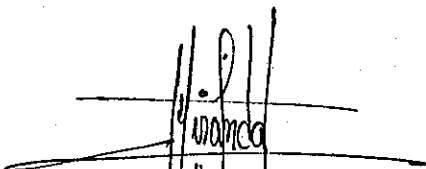
Guatemala, marzo de 1, 1999



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis ENSAYO DEL AZUL DE METILENO PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LOS FINOS ARCILLOSOS EN LAS ARENAS DE TRITURACION, del estudiante José Estuardo Palencia Samayoa, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, marzo de 1, 999

## **AGRADECIMIENTOS:**

**A DIOS:**

**"El Señor es mi fuerza y mi escudo en Él confía mi corazón, y fui ayudado por tanto, mi corazón se regocija, y daré gracias con mi cántico".**

**Salmo 28:7**

**A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN ESPECIAL A LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.**

**A LA EMPRESA CEMENTOS PROGRESO, S.A., por el apoyo para realizar este trabajo de investigación.**

**A MI ASESOR ING. EMILIO BELTRANENA MATHEU, con todo respeto y Admiración.**

**AL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACION Y ASESORIA DE CEMENTOS PROGRESO, S.A, en especial al personal del laboratorio de concreto.**

**AL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA Y AL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS, DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.**

**A LA EMPRESA PREMEZCLADOS S.A., en especial al personal administrativo.**



## DEDICATORIA A:

MIS PADRES:

JOSÉ ALEJO Y OLGA CANDELARIA CONSUELO  
Por su amor, dedicación y esfuerzo a través de los años.

MIS HERMANAS:

HEYDI PAOLA Y DAISY ANABELLA  
Por el apoyo espiritual.

MI ABUELITA:

VICTORIA, por su cariño y sus atenciones especiales.

ABUELO:

IZABEL, "Que esta en la presencia de Dios"  
Por sus sabios consejos.

MIS TÍOS

MIS PRIMOS

MIS AMIGOS  
EN ESPECIAL A:

MAYDA, ESTUARDO, MARIO, HEBERTO,  
ANAKENA, RUBÉN, JULIO, MARTÍN, JUAN  
CARLOS, JAVIER, ALEJANDRO, ALEX Y  
VICTOR.

La Iglesia de Cristo ELIM CENTRAL, en especial al departamento de DISCIPULADO.

# ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
GLOSARIO.....	I
INTRODUCCIÓN.....	III
OBJETIVOS.....	IV
HIPÓTESIS.....	V
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Generalidades de las arenas de trituración.....	1
1.2 Proceso de producción.....	2
1.3 Características de las arenas de trituración.....	3
2 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	4
2.1 Variables a considerar en el estudio.....	4
3 DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	6
3.1 Acopio y preparación de agregados.....	6
3.1.1 Agregado fino.....	6
3.1.2 Agregado grueso.....	6
3.1.3 Cemento.....	6
3.1.4 Finos arcillosos.....	7
3.1.5 Finos de trituración.....	7
3.1.6 Agua para ensayos.....	7
4 ENSAYOS REALIZADOS.....	8
4.1 Análisis físico.....	8
4.1.1 Identificación mineralógica.....	8
4.1.2 Análisis físico de los agregados finos.....	10
4.1.3 Análisis físico del agregado grueso.....	11
4.1.4 Ensayo del equivalente de arena.....	12
4.1.5 Ensayo para límites de atterberg.....	12
4.2 Análisis químico.....	13
4.3 Ensayo del azul de metileno.....	14
4.3.1 Generalidades.....	14
4.3.2 Método operativo.....	14
4.3.2.1 Preparación de la muestra.....	14
4.3.2.2 Ensayo de la mancha.....	15
4.4 Elaboración de probetas de concreto y mortero.....	20
4.4.1 Condiciones de las mezclas de concreto.....	20
4.4.2 Condiciones de las mezclas de Mortero.....	21

5 RESULTADOS.....	22
5.1 Tablas y gráficos de resultados.....	22
5.1.1 Resultados de azul de metileno con arena caliza.....	23
5.1.2 Resultados de azul de metileno con arena andesítica.....	24
5.1.3 Resultados del concreto con arena caliza.....	25
5.1.4 Resultados del concreto con arena andesítica.....	26
5.1.5 Resultados del mortero con arena caliza.....	27
5.1.6 Resultados del mortero con arena andesítica.....	28
5.1.7 Gráficos de concreto con arena caliza.....	29
5.1.8 Dosificación del azul de metileno en la arena caliza.....	34
5.1.9 Gráficos de concreto con arena andesítica.....	36
5.1.10 Dosificación del azul de metileno en la arena andesítica.....	42
5.1.11 Gráficos de mortero con arena caliza.....	44
5.1.12 Gráficos de mortero con arena andesítica.....	49
5.1.13 Análisis de resultados por regresión lineal.....	54
5.1.14 Combinación de las regresiones lineales.....	58
CONCLUSIONES.....	VI
RECOMENDACIONES.....	VII
REFERENCIAS .....	VIII
BIBLIOGRAFÍA.....	IX

## GLOSARIO

**Absorción:**

Es la cantidad de agua admisible en el interior de un agregado fino o grueso, con características de un sólido poroso.

**Agregado:**

Material granular relativamente inerte tal como, arena, grava, piedra triturada y otros. Usualmente se clasifican en agregados finos (arena) y agregados gruesos (grava o piedrín).

**Agregado fino:**

Agregado que pasa el tamiz de 9.5 mm. En el tamiz de 4.75 mm (No.4) pasa casi completamente y es retenido en su totalidad por el tamiz No. 200 (0.075mm).

**Agregado grueso:**

Agregado de tamaño predominantemente entre 1 1/2" y 1/4", retenido en su totalidad en el tamiz No. 4 (4.75mm).

**Arena de trituración:**

Agregado fino resultante de la trituración de roca de cantera, grava, escoria de alto horno y alguna vez de concreto hidráulico.

**Arena natural:**

Es el agregado fino que resulta de la desintegración y abrasión natural de rocas en los ríos.

**Cantera:**

Es un depósito de materias primas minerales (rocas), que se explota a cielo abierto para producir agregados de construcción.

**Cemento:**

Es un material inorgánico, finamente molido (constituido generalmente por compuestos aluminocalcáreos o silicocalcáreos) que, amasado convenientemente con agua, conforma una pasta que fragua y endurece, tanto bajo el agua como al aire.

**Concreto:**

Material compuesto, que consiste esencialmente de un medio aglomerante dentro del cual están embebidos agregados finos, gruesos, cemento hidráulico, agua y aire.

**Decantar:**

Es proceso para evacuar el agua libre de una muestra en estado saturado.

**Densidad relativa:**

Se define como la relación entre el peso de un volumen dado de material al peso de un volumen igual de agua.

**Finos arcillosos:**

Son partículas de roca sedimentaria, plástica, que pasan por el tamiz No. 200, formadas principalmente por un silicato aluminico, más conocidas como arcillas.

**Finos de trituración:**

Son las partículas que pasan en su totalidad por el tamiz No. 200 y son producto del mismo proceso de trituración de roca.

**Granulometría:**

Es el ensayo que se realiza para determinar la graduación del tamaño de las partículas de un agregado fino o grueso.

**Identificación mineralógica:**

Es el análisis que sirve para determinar las características de los minerales, por medio de su composición química y física.

**Mortero:**

Es la mezcla de agregado fino, agua y un material aglomerante como la cal o el cemento.

**Porcentaje de aire atrapado:**

Es el volumen de aire atrapado dentro de una mezcla de concreto o mortero, producto del tiempo y forma de mezclado.

**Tamiz:**

Es una malla metálica de aberturas de tamaño uniforme que sirve para la clasificación de los agregados y suelos, haciendo que éstos pasen a través de dicha malla.

**Trabajabilidad:**

Es el conjunto de propiedades del concreto que determinan la facilidad y homogeneidad del mezclado, colocación, compactación y acabado.

**Trituradora:**

Es la maquinaria que sirve para desmenuzar, desintegrar y moler roca por medio de impactos.

## INTRODUCCIÓN

Gracias a los resultados del presente estudio de tesis y al descubrimiento de nuevos ensayos de laboratorio para mejorar los existentes, se desarrollan nuevas técnicas de fabricación de agregados para concreto, lo que permite incrementar los controles de calidad a su máxima eficiencia, para aprovechar de mejor forma los recursos naturales.

La aplicación del ensayo del azul de metileno, especificado en las normas españolas UNE 83-130-90 y las normas francesas AFNOR P 18-952, permite medir la cantidad de arcilla activa, que pueden adoptar, las arenas trituradas para su uso como agregado fino en el concreto.

Como parte del desarrollo de los trabajos relativos al estudio de la influencia de los finos arcillosos, fue necesario investigar dos empresas del departamento de Guatemala, que cuentan con el equipo y la capacidad para producir, a gran escala, arena por medio de la trituración de roca de cantera, siendo estas Central de materiales de construcción petapa, S.A (CEPESA) y Productora de materiales hincapié, S.A. (PROHINSA).

Para poder evaluar la influencia de los finos arcillosos, fue necesario realizar varios análisis físicos y químicos a todos los agregados que formaron parte del estudio. Los resultados de los análisis en el ámbito de laboratorio fueron la base para desarrollar el estudio; tales análisis como: identificación mineralógica, granulometría, densidad relativa, porcentaje de absorción, porcentaje que para tamiz No. 200, límites de atterberg, equivalente de arena, análisis químico por fluorescencia de rayos x y el ensayo del azul de metileno, también se realizaron mezclas de concreto y mortero, con sus respectivas pruebas en estado fresco y endurecido, teniendo como principal objetivo evaluar la influencia de los finos arcillosos en la resistencia a compresión. Todos los ensayos se realizaron en los modernos laboratorios del departamento de investigación y asesoría de Cementos Progreso, S.A.

Con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, se lograron establecer algunos límites aceptables de finos de trituración, confirmando con estos límites que el incremento de arcilla si influye en la resistencia a la compresión, pero un pequeño incremento de finos producidos por la misma trituración mejoran todas las características físicas de los concretos y morteros, cumpliendo siempre con la resistencia a compresión requerida. Por lo tanto el contenido de arcilla en porcentajes bien bajos y finos en porcentajes moderados, proporcionan mejor trabajabilidad, apariencia y acabado de las mezclas.

## **OBJETIVOS**

Con este estudio se desea:

1. Poner en evidencia, que es posible detectar y medir la arcilla activa en las arenas, en función del ensayo del azul de metileno.
2. Evaluar la nocividad de los finos arcillosos en las propiedades de las arenas en su uso como agregado fino para concreto y mortero, especialmente en las pruebas de resistencia a la compresión.
3. Evaluar si el incremento de los finos producidos por la misma trituración de la roca, permiten mejorar las propiedades y características de los concretos y morteros.

## **HIPOTESIS**

1. Si las propiedades de los finos arcillosos influyen directamente en las características de las arenas de trituración, es posible producir concreto y mortero con este tipo de finos.
2. El ensayo del azul de metileno logra medir la cantidad de arcilla activa, en función del volumen de azul según la norma española UNE y la francesa AFNOR.



# 1 ANTECEDENTES

## 1.1 Generalidades de las arenas de trituración

Las arenas de trituración, también conocidas como arenas manufacturadas o artificiales, son el producto de la trituración de rocas de cantera o canto rodado, que provienen de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

La producción de este tipo de agregado fino, surge de la necesidad de obtener arenas, de composición mineralógica uniforme, granulometría más controlada y con menor grado de material orgánico. También posee la característica de ser un agregado fino formado de partículas angulosas que proporcionan mayor adherencia en las mezclas de concreto, favoreciendo el incremento de las resistencias iniciales y finales.

Por sus especiales características, las arenas de trituración han provocado que el uso de las arenas naturales, se reduzca a ciertos tipos de trabajos. Esto se debe a que las arenas naturales son de forma redondeada y lisas, mejorando la trabajabilidad, pero su adherencia es menor; con granulometría variable y diverso grado de contaminación.

En el área metropolitana de Guatemala, se ha venido reduciendo el uso de las arenas naturales o de río, en la producción concretos y morteros, debido a los siguientes factores:

- a. Por exceso de materiales orgánicos en los ríos provocados por la descarga de los desagües, subproductos industriales y basuras.
- b. El aumento y demanda de los materiales de construcción ha provocado una desordenada explotación de las arenas de los ríos y como consecuencia el obtener este tipo de agregado, se dificulta e incrementa los costos.
- c. El exceso de material liviano como la pómez y arcillas, producto de la erosión de los suelos no cohesivos y deforestados.

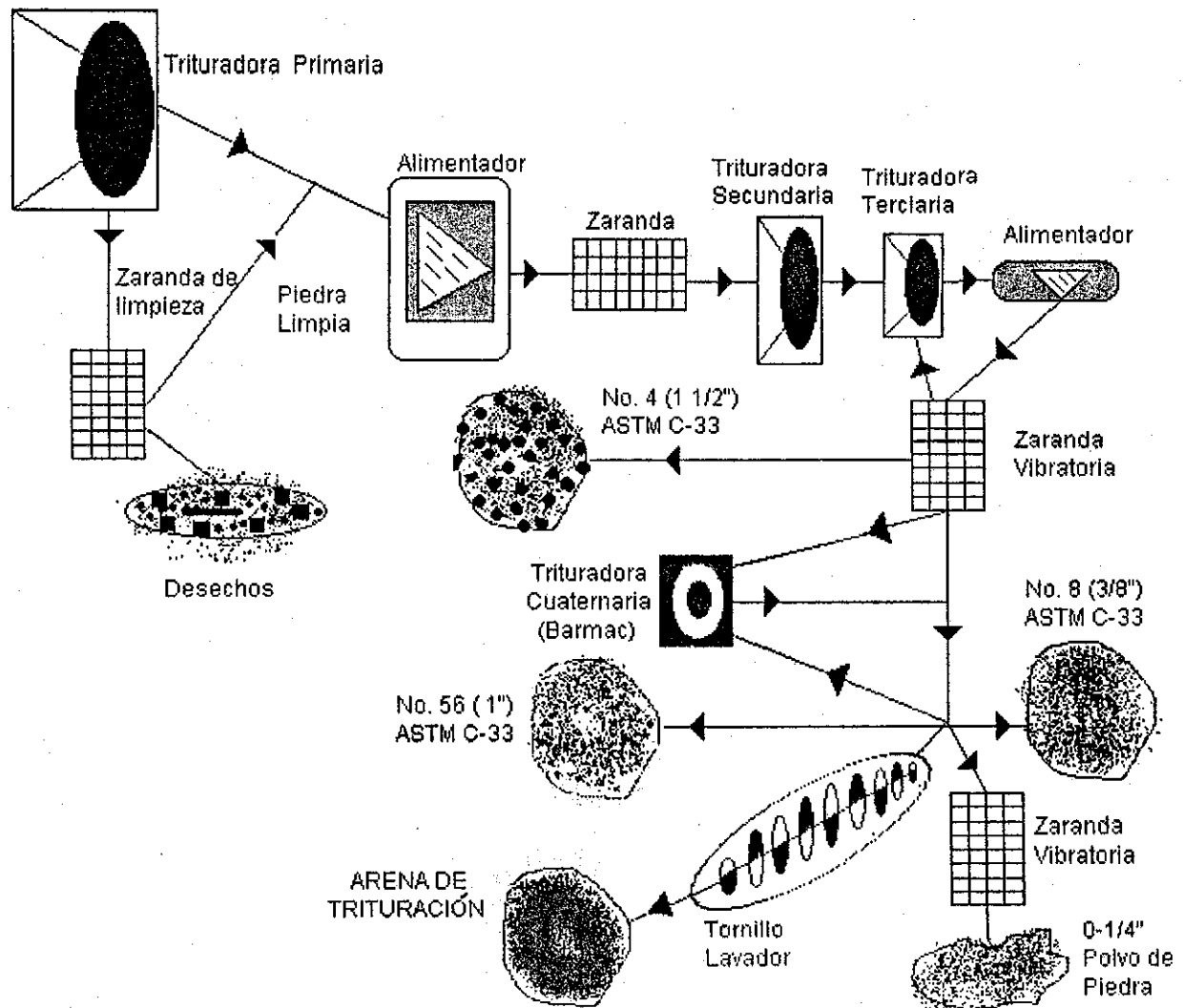
Esta situación provoca profunda preocupación en las empresas productoras de concreto, constructoras y profesionales del ramo, pero lo más preocupante es que para muchos usuarios de arena natural, estos factores pasan por desapercibido.

Esto ha dado motivo a que empresas interesadas en la calidad de los agregados y en especial los finos, produzcan arenas manufacturadas por medio de la trituración de roca.

En la ciudad de Guatemala, las empresas de mayor producción de arena por trituración y con características que exigen las normas nacionales e internacionales son: CEPESA, ubicada en la finca la pedrera, zona 6, en el municipio de Guatemala y PROHINSA, ubicada en el municipio de Amatitlán.

## 1.2 Proceso de producción

- 1) **Cantera.** Extracción y transporte de materia prima.
- 2) **trituradora primaria.** Clasificación y desmenuzando de la roca.
- 3) **trituradora secundaria.** Desmenuzando de la roca entre 6" y 3".
- 4) **trituradora terciaria.** Desmenuzando, tamizado para pedrín de 1 1/2", 1", 3/8".
- 5) **trituradora cuaternaria (Barmac).** Producción de arena.



Esquema No. 1

### 1.3 Características de las arenas de trituración

<b>Característica</b>	<b>Arenas de trituración</b>	<b>Arenas naturales</b>
<i>Granulometría</i>	Más uniforme	Más variación
<i>Contenido de material orgánico</i>	Menor contenido	Mayor contenido
<i>Composición mineralógica</i>	Homogénea	Heterogénea
<i>Adherencia</i>	Mayor	Menor
<i>Tipo de partícula</i>	De forma angulosa	De forma redondeada lisa
<i>Trabajabilidad</i>	Menor	Mayor

Tabla No.1

## 2 PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Al realizar varias visitas a las dos plantas productoras de arena triturada, se logró comprobar que la mayor dificultad que éstas encuentran en la producción de arena, es mantener dicho agregado dentro de los límites de calidad.

Por tal motivo realizan periódicamente varios ensayos de laboratorio, que no son suficientes para controlar los finos arcillosos y los finos de trituración que pasan el tamiz No. 200 (0.075 mm). Por lo tanto estos finos al estar mezclados en la arena, dan una apariencia de contaminación, por lo que el consumo y la calidad del producto disminuye.

Hay varias razones para que estos finos puedan estar mezclados en las arenas, una de ellas se da, cuando la cantera que se explota, para extraer materia prima, esta muy contaminada con arcillas que tienen un índice de plasticidad muy alto.

En el caso de los finos de trituración, si el tipo de roca que se tritura tiene parte de material muy liviano, se provoca un excesivo desgaste que el sistema de limpieza no logra eliminar.

Partiendo de la necesidad de controlar los finos arcillosos y los de trituración el siguiente estudio tiene como fin primordial determinar la influencia positiva o negativa, que estos finos puedan provocar en las características de las arenas y luego en la producción de concreto y mortero.

Para evaluar la influencia de estos finos será adaptable el ensayo del azul de metileno, un método europeo que mide la fracción arcillosa activa que la arena es susceptible de admitir.

### **2.1 Variables a considerar en el estudio**

Debido a la gran cantidad de materiales que se emplearon en el desarrollo de este estudio, ha sido necesario mantener las mismas características, condiciones y dosificaciones de agregados, haciendo variar únicamente el contenido y composición de finos arcillosos y finos de trituración.

La proporción de finos totales se ha de variar entre el 5.6 y 20% para la arena de CEPESA y el 3.18 al 10% en la arena de PROHINSA. El contenido de arcilla ha de variar entre el 0 y 4% en las dos arenas.

En resumen, los contenidos de finos de trituración y arcillosos a dosificar en los ensayos, se realizará por medio del proceso representado en las tablas Nos. 2 y 3.

Finos totales en la arena de CEPESA	Arcilla / Arena (%)			
	0	1	2	4
5.6	✓	✓	✓	
10	✓	✓	✓	✓
15	✓	✓	✓	✓
20	✓	✓	✓	✓

Tabla No. 2

Finos totales en la arena de PROHINSA	Arcilla / Arena (%)			
	0	1	2	4
3.18	✓	✓	✓	
5	✓	✓	✓	
10	✓	✓	✓	✓

Tabla No. 3

Los finos totales de esta tabla están compuestos de fracción de roca y fracción de arcilla desmenuzada a 0.079 mm.

### 3 DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### 3.1 Acopio y preparación de agregados

Por la variedad de materiales a utilizar, fue necesario, obtener la cantidad total de agregados para cada ensayo; evitando así, variables no planteadas en el estudio.

##### 3.1.1 Agregado fino

Para poder realizar todos los ensayos de laboratorio, fue necesario adquirir de los dos tipos de arena la cantidad de 2 toneladas, realizando el mismo procedimiento para la adquisición de ambos materiales. Luego de homogeneizar las arenas, se almacenaron en sacos plásticos, en un ambiente ideal, para conservar sus características físicas y químicas.

##### 3.1.2 Agregado grueso

Se adoptó el uso de un solo tipo de pedrín con características uniformes, especialmente su granulometría. El pedrín a utilizar es de tamaño nominal máximo de 1", producto de la trituración de roca caliza en la planta la pedrera de CEPESA; este agregado cumple con la norma ASTM C-33 No. 56.

##### 3.1.3 Cemento

El cemento para las mezclas de concreto y mortero, fue el tipo I PM (4000 psi) de Cementos Progreso, S.A.. Para obtener este material fue necesario que se tomaran 20 sacos de 42.5 kg de una producción normal de la planta la pedrera, logrando de esta forma mantener las mismas propiedades y características. Los sacos de cemento se introdujeron dentro de otros sacos plásticos que fueron sellados, para mantener así las características iniciales del cemento durante el desarrollo del estudio. Los sacos se mantuvieron en esta situación hasta que llegó el momento de preparar las probetas de concreto o mortero. De esta forma se logró que el cemento fuera una constante y no tuviera influencia en los resultados finales del estudio.

Para comprobar si ocurrió alguna variación en el cemento, se realizaron tres ensayos físicos, en un intervalo de 2 meses, dando similares resultados en la resistencia a compresión, medida en psi.

Edad (días)	Inicial (26/9/96)	3 meses después (26/11/96)	6 meses después (26/1/97)
3	2835	2885	2810
7	3525	3602	3510
28	4625	4575	4610

Tabla No. 4

#### **3.1.4 Finos arcillosos**

Para adquirir este tipo de material se visitó cada una de las canteras de donde proviene la roca para ser triturada, tomando 50 kg del material arcilloso que predomina en el lugar.

Luego fue necesario secar este material en un horno a temperatura constante, con el propósito de desmenuzarlo en un molino de bolas, hasta que el 98% de las partículas pasaran por el tamiz No. 200 (0.075 mm) y seguidamente estos finos se almacenaron en sacos plásticos para mantenerlos en estado seco.

#### **3.1.5 Finos de trituración**

Para adquisición de este tipo de material, fue necesario realizar diferente procedimiento en cada una de las plantas visitadas.

En Prohinsa se logró acumular en las fajas que transportan arena, 50 kg de este material fino. En la planta la pedrera, se tomaron 50 kg de material fino en los tanques de sedimentación que esta empresa posee para reciclar el agua que utilizan para lavar la arena. Posteriormente estos materiales se secaron, al igual que las arcillas, para ser desmenuzados en el molino de bolas, hasta que el 98% de las partículas pasaran por el tamiz No. 200 (0.075 mm).

#### **3.1.6 Agua para los ensayos**

Para los ensayos del azul de metileno, fue necesario utilizar agua destilada y posteriormente en las mezclas de concreto y mortero agua potable del laboratorio de concreto de Cementos Progreso.

## 4 ENSAYOS REALIZADOS

### 4.1. Análisis físico

#### 4.1.1 Identificación mineralógica.

La identificación mineralógica y caracterización fueron realizadas por la sección del laboratorio del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Térmica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 13  
Guatemala, Guatemala

CESEM 261-96  
Guatemala,  
08 de noviembre de 1996

Señor  
José Estuardo Palencia Samayoa  
Centro de Investigaciones de  
Ingeniería,  
Facultad de Ingeniería,  
Presente

#### Arena de CEPESA

<i>Presentación</i>	Material granular
<i>Color</i>	Blanco – grisáceo
<i>Textura</i>	Intermedia, granos tamaño arena
<i>Composición</i>	Fragmentos de roca caliza y mineral calcita (CaCO <sub>3</sub> )
<i>Nombre</i>	Arena carbonatada

Tabla No. 5

#### Arena de PROHINSA

<i>Presentación</i>	Material granular
<i>Color</i>	Obscuro
<i>Textura</i>	Intermedia, granos tamaño arena
<i>Composición</i>	Principalmente fragmentos de rocas volcánicas andesíticas, basálticas, brechas y vidrio volcánico silícico.
<i>Nombre</i>	Arenas andesíticas.

Tabla No. 6



### Arcilla de la cantera de CEPESA

<i>Presentación</i>	Material fino poco consolidado
<i>Color</i>	Beige
<i>Textura</i>	Fina (arcillas y limos)
<i>Composición</i>	Principalmente carbonato de calcio (reacciona con ácido clorhídrico al 10%) y otros componentes, tales como Mg y Fe.
<i>Nombre</i>	Sedimentos de finos carbonatados

Tabla No. 7

### Arcilla de la cantera de PROHINSA

<i>Presentación</i>	Material fino no inconsolidado
<i>Color</i>	Obscuro
<i>Textura</i>	Fina (arcillas y limos)
<i>Composición</i>	Posiblemente material volcánico y húmico.
<i>Nombre</i>	Arcillas volcánicas

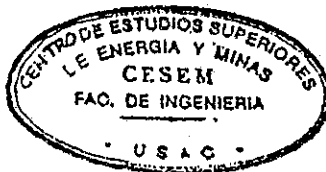
Tabla No. 8

Atentamente.

ID. Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio R. Luna A.  
Sección de Laboratorio  
Centro de Estudios Superiores de  
Energía y Minas

cc: archivo  
JRLA/id.



### 4.1.2 Análisis físico de los agregados finos.

<b>AGREGADO FINO</b>	INTERESADO	ESTUARDO PALENCIA	O.T.	INFORME.
	PROYECTO	TESIS	Fecha.	
	MUESTRA	ARENA CALIZA DE LA PEDRERA Z.6, CEPESA	16/9/96	

<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Densidad relativa (sa)</td><td style="text-align: right;">2.7</td></tr> <tr><td>Absorción (%)</td><td style="text-align: right;">0.5</td></tr> <tr><td>Masa unitaria (kg./m<sup>3</sup>) C</td><td style="text-align: right;">1634</td></tr> <tr><td>Mat. organica (color)</td><td style="text-align: right;">0</td></tr> <tr><td>Pasa tamiz 0.075 mm (%)</td><td style="text-align: right;">5.6</td></tr> <tr><td>Modulo de finura (MF)</td><td style="text-align: right;">3.5</td></tr> <tr><td>Masa unitaria kg/m<sup>3</sup> S</td><td style="text-align: right;">1450</td></tr> <tr><td>Masa unitaria kg/m<sup>3</sup></td><td style="text-align: right;">1204</td></tr> </table>	Densidad relativa (sa)	2.7	Absorción (%)	0.5	Masa unitaria (kg./m <sup>3</sup> ) C	1634	Mat. organica (color)	0	Pasa tamiz 0.075 mm (%)	5.6	Modulo de finura (MF)	3.5	Masa unitaria kg/m <sup>3</sup> S	1450	Masa unitaria kg/m <sup>3</sup>	1204	
Densidad relativa (sa)	2.7																
Absorción (%)	0.5																
Masa unitaria (kg./m <sup>3</sup> ) C	1634																
Mat. organica (color)	0																
Pasa tamiz 0.075 mm (%)	5.6																
Modulo de finura (MF)	3.5																
Masa unitaria kg/m <sup>3</sup> S	1450																
Masa unitaria kg/m <sup>3</sup>	1204																

Observaciones \_\_\_\_\_

(C) COMPACTADA: (S) SUELTA

(SH) SUELTA HUMEDA: % HUMEDAD 4

Tamiz (mm)	3/8"	4	8	16	30	50	100	200
% que pasa	100	99.6	92.6	66.5	40.7	21.1	8.1	5.6

Ing. Emilio Beltranena M.  
*Gerente de Investigación y Asesoría*

**LABORATORIO DE CONCRETO**  
**DEPTO. DE INVESTIGACION Y ASESORIA**  
**CEMENTOS PROGRESO, S.A.**  
 LA PEDRERA ZONA 6, GUATEMALA

<b>AGREGADO FINO</b>	INTERESADO	ESTUARDO PALENCIA	O.T.	INFORME.
	PROYECTO	TESIS	Fecha.	
	MUESTRA	ARENA ANDESITICA DE PROHINSA	16/9/96	

<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Densidad relativa (sa)</td><td style="text-align: right;">2.52</td></tr> <tr><td>Absorción (%)</td><td style="text-align: right;">3.58</td></tr> <tr><td>Masa unitaria (kg./m<sup>3</sup>) C</td><td style="text-align: right;">1521</td></tr> <tr><td>Mat. organica (color)</td><td style="text-align: right;">1</td></tr> <tr><td>Pasa tamiz 0.075 mm (%)</td><td style="text-align: right;">3.18</td></tr> <tr><td>Modulo de finura (MF)</td><td style="text-align: right;">2.8</td></tr> <tr><td>Masa unitaria kg/m<sup>3</sup> S</td><td style="text-align: right;">1399</td></tr> <tr><td>Masa Unitaria kg/m<sup>3</sup></td><td style="text-align: right;">1218</td></tr> </table>	Densidad relativa (sa)	2.52	Absorción (%)	3.58	Masa unitaria (kg./m <sup>3</sup> ) C	1521	Mat. organica (color)	1	Pasa tamiz 0.075 mm (%)	3.18	Modulo de finura (MF)	2.8	Masa unitaria kg/m <sup>3</sup> S	1399	Masa Unitaria kg/m <sup>3</sup>	1218	
Densidad relativa (sa)	2.52																
Absorción (%)	3.58																
Masa unitaria (kg./m <sup>3</sup> ) C	1521																
Mat. organica (color)	1																
Pasa tamiz 0.075 mm (%)	3.18																
Modulo de finura (MF)	2.8																
Masa unitaria kg/m <sup>3</sup> S	1399																
Masa Unitaria kg/m <sup>3</sup>	1218																

Observaciones \_\_\_\_\_

(C) COMPACTADA: (S) SUELTA

(SH) SUELTA HUMEDA: % HUMEDAD 10

Tamiz (mm)	3/8"	4	8	16	30	50	100	200
% que pasa	100	98.3	87.4	68.8	41.2	17.1	4.7	3.18

Ing. Emilio Beltranena M.  
*Gerente de Investigación y Asesoría*

**LABORATORIO DE CONCRETO**  
**DEPTO. DE INVESTIGACION Y ASESORIA**  
**CEMENTOS PROGRESO, S.A.**  
 LA PEDRERA ZONA 6, GUATEMALA

### 4.1.3 Análisis físico del agregado grueso.

<b>AGREGADO GRUESO</b>	INTERESADO	ESTUARDO PALENCIA	O Y	INFORME
	PROYECTO	TESIS		Fecha
	MUESTRA	PIEDRIN 1" DE LA PEDRERA 2.6, CEPESA		16/9/96

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Densidad Relativa (ss)</td><td style="text-align: right;">2.7</td></tr> <tr><td>Absorción I</td><td style="text-align: right;">0.61</td></tr> <tr><td>Masa Unitaria (kg/m<sup>3</sup>) C</td><td style="text-align: right;">1553</td></tr> <tr><td>Pasa Tamiz 0.075mm (%)</td><td style="text-align: right;">0.3</td></tr> <tr><td>Desgaste (Los Angeles) %</td><td style="text-align: right;">23</td></tr> <tr><td>Pérdida Sulfato Sodio %</td><td style="text-align: right;">0.7</td></tr> <tr><td>Módulo de Finura (MF)</td><td style="text-align: right;">6.82</td></tr> <tr><td>Masa Unitaria (kg/m<sup>3</sup>) sh</td><td style="text-align: right;">1396</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	Densidad Relativa (ss)	2.7	Absorción I	0.61	Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ) C	1553	Pasa Tamiz 0.075mm (%)	0.3	Desgaste (Los Angeles) %	23	Pérdida Sulfato Sodio %	0.7	Módulo de Finura (MF)	6.82	Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ) sh	1396					
Densidad Relativa (ss)	2.7																				
Absorción I	0.61																				
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ) C	1553																				
Pasa Tamiz 0.075mm (%)	0.3																				
Desgaste (Los Angeles) %	23																				
Pérdida Sulfato Sodio %	0.7																				
Módulo de Finura (MF)	6.82																				
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> ) sh	1396																				

<p>OBSERVACIONES</p> <p>(sh) SUELTA HUMEDA</p> <p>(C) COMPACTADA</p> <p>W HUMEDAD 10.71</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tamiz (mm)</td> <td>50</td> <td>37.5</td> <td>25</td> <td>19</td> <td>12.5</td> <td>9.5</td> <td>4.75</td> <td>2.36</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>% que pasa</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>73.5</td> <td>12.4</td> <td>3.2</td> <td>2.0</td> <td>1.8</td> <td>1.7</td> </tr> </table>	Tamiz (mm)	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	% que pasa	100	100	100	73.5	12.4	3.2	2.0	1.8	1.7
Tamiz (mm)	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18												
% que pasa	100	100	100	73.5	12.4	3.2	2.0	1.8	1.7												

<p>Ing. Emilio Beltranena M. Gerente de Investigación y Asesoría</p>	<p><b>LABORATORIO DE CONCRETO</b>  <b>DEPTO. DE INVESTIGACION Y ASESORIA</b>  <b>CEMENTOS PROGRESO, S.A.</b>          LA PEDRERA ZONA 6, GUATEMALA</p>	
--	--	--

#### 4.1.4 Ensayo del equivalente de arena.

<i>Muestra de arena CEPESA No.</i>	<b>AASHTO T-176</b>	
	<b>E.A.</b>	<b>E.A.V</b>
1	83.11	88.89
2	83.11	90.28
3	85.49	89.99
Promedio	<b>83.90</b>	<b>89.72</b>

*Tabla No.9*

<i>Muestras de arena PROHINSA No.</i>	<b>AASHTO T-176</b>	
	<b>E.A.</b>	<b>E.A.V</b>
1	72.81	77.22
2	72.75	77.17
3	71.69	78.06
Promedio	<b>72.48</b>	<b>77.48</b>

E.A. : Equivalente de arena. E.A.V. : Equivalente de arena a la vista.


*Tabla No. 10*

#### 4.1.5 Ensayo para límites de atterberg

<i>Tipo de arcilla</i>	<i>Límite líquido en %</i>	<i>Límite plástico en %</i>	<i>Índice plástico en %</i>
Arcilla de cantera CEPESA	60.6	24.8	35.8
Arcilla de cantera PROHINSA	49.2	19.9	29.4

*Tabla No. 11*

#### 4.2 Análisis químico

	<b>CEMENTOS PROGRESO, S.A.</b> Planta San Miguel, Sanarate Control de Calidad	<b>INFORME DE LABORATORIO</b>
		Recepción: Análisis: 18 / 09 / 96
Solicitante: Lab. Concreto La Pedrera atn. ESTUARDO PALENCIA		
Análisis: Químico (Fluorescencia de Rayos X)		

#### Análisis químico (fluorescencia de rayos x) de las arcillas

Arcilla de la cantera de CEPESA		Arcilla de la cantera de PROHINSA	
SiO <sub>2</sub>	40	SiO <sub>2</sub>	50.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.39	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.74
CaO	18.02	CaO	6.72
MgO	0.30	MgO	3.54
K <sub>2</sub> O	3.86	K <sub>2</sub> O	0.98
Na <sub>2</sub> O	-	Na <sub>2</sub> O	1.26
SO <sub>3</sub>	-	SO <sub>3</sub>	-
PF (950°C)	14.71	PF (950°C)	8.95
Total	98.50	Total	98.50

Tabla No.12

  
 Lic. Luis Verasquez  
 Spte. Control de Calidad

### **4.3 Ensayo del azul de metileno**

#### **4.3.1 Generalidades**

Este ensayo mide la fracción arcillosa activa que el material es susceptible de aportar, por medio de una valoración de la superficie del conjunto de dichas partículas, lo que depende de la naturaleza y de la proporción de la arcilla en la muestra. Es por lo tanto una medida global de la polución arcillosa, tanto en cantidad como en actividad.

Este ensayo consiste en determinar la cantidad de azul de metileno necesario para recubrir de una película monomolecular la superficie total, externa e interna, de las partículas arcillosas de un material mantenido en suspensión de agua destilada. Los finos de trituración también absorben azul de metileno aunque en menor proporción que los arcillosos.

#### **4.3.2 Método operativo**

El método operativo se ha basado en la norma experimental francesa AFNOR P 18-592, de julio de 1,980 y la norma española UNE 83-130-90, de julio de 1,990. Estas dos normas para este ensayo son parcialmente equivalentes.

En las arenas destinadas a la confección de concreto, la cantidad de partículas de arcilla tiene que ser habitualmente escasa, pero se da el caso, que en época de invierno, los sistemas de limpieza de las arenas no son lo suficientemente capaces de separar las partículas de arcilla. Por lo tanto el porcentaje de finos arcillosos aumenta, dependiendo del tipo de material y cantera.

Para simular la variación de finos arcillosos, intencionalmente se aumentaron las dosificaciones de este material, según las tablas Nos. 2 y 3.

El método operativo que se propone, después de la oportuna consideración de las variables a evaluar y de los ensayos realizados, es el siguiente:

##### **4.3.2.1 Preparación de la muestra**

###### **Arenas muy contaminadas**

- Cuartear la muestra de arena, entre 300 y 400 gr.
- Secar a peso constante
- Introducir la muestra en un vaso de precipitación de 1 litro de capacidad y añadir 500 c.c. de agua destilada.
- Dejar reposar 24 horas.

###### **Arenas poco contaminadas**

- Cuartear la muestra de arena entre 1,000 y 1,500 gr.

- Secar a peso constante
- Tamizar en seco sobre el tamiz de luz de malla 0.59 mm (No. 30), el material que pasa puede llegar hasta 400 gr; si no es así y se desea una mayor precisión, se puede incrementar la cantidad de la muestra original.
- El material retenido por el tamiz de 0.59 mm. de luz de malla, se tamiza por vía húmeda sobre este mismo tamiz; utilizando la misma metodología que la empleada para obtener el contenido de finos de una muestra; hasta que el agua que sale del tamiz esté totalmente exenta de partículas en suspensión. El líquido con partículas en suspensión se recoge en un vaso de precipitados de capacidad suficiente.
- Dejar decantar las partículas y eliminar el agua sobrante. Introducir el material del fondo en otro vaso de precipitados de base más estrecha, de 1 litro de capacidad, y repetir la operación hasta conseguir eliminar la mayor parte del agua.
- Añadir a estas partículas obtenidas por vía húmeda, el material tamizado en seco.
- Completar el líquido hasta aproximadamente 500 c.c., utilizando agua destilada.
- Dejar reposar 24 horas.

#### 4.3.2.2 *Ensayo de la mancha*

Equipo necesario.

- Una bureta de 25 ml.
- Papel filtro del tipo WHATMAN No. 40.
- Varilla de vidrio, de 8 mm. de diámetro.
- Agitador de aletas.
- Recipiente de 1 litro de capacidad; diámetro alrededor de 100 mm.
- Un cronómetro.

Solución de azul de metileno

- La solución de azul de metileno. Concentración : 10 gr  $\pm$  0.1 gr / litro de agua destilada (azul de metileno reactivo para el análisis)

### Ensayo de la mancha:

- Después de cada inyección de azul, el ensayo consiste en obtener una gota de suspensión por medio de una varilla y depositarlo en el papel de filtro. La mancha se compone de un depósito central de material, coloreado de un azul sostenido, rodeado de una zona húmeda.
- El test es positivo si en la zona húmeda aparece, alrededor del depósito central una aureola azul clara; si la aureola es incolora el test es negativo. Observar esquema No. 2.
- El proceso de dosificación del azul de metileno, se lleva a cabo de acuerdo con el esquema No.3.

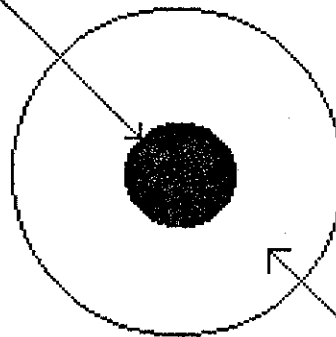
Cada adición de azul de metileno es seguida del ensayo de la mancha efectuado siempre de minuto en minuto. Hay que repetir las operaciones de adición y ensayo hasta que se consiga que el test se mantenga positivo durante cinco minutos consecutivos. Entonces, la dosificación se considera terminada y se lee el volumen (V) empleado de azul de metileno.

A lo largo de todo el ensayo, la muestra debe estar en movimiento. Para ello el agitador, antes de empezar la dosificación debe agitar la muestra durante 1 minuto, a velocidad de 700 revoluciones por minuto y el resto del ensayo a 400 revoluciones por minuto. Estos valores son orientativos, siendo variables en función de la granulometría y de las masas de la muestra. En el caso que se necesite una mayor precisión se puede disminuir la dosificación del azul de metileno, desde el comienzo del ensayo, a la cantidad de 2 cm<sup>3</sup> para cada adición.



## **ENSAYO DE LA MANCHA**

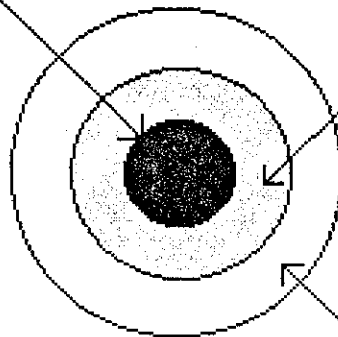
Depósito central  
de azul sostenido



Zona húmeda

## **TEST NEGATIVO**

Depósito central  
de azul sostenido



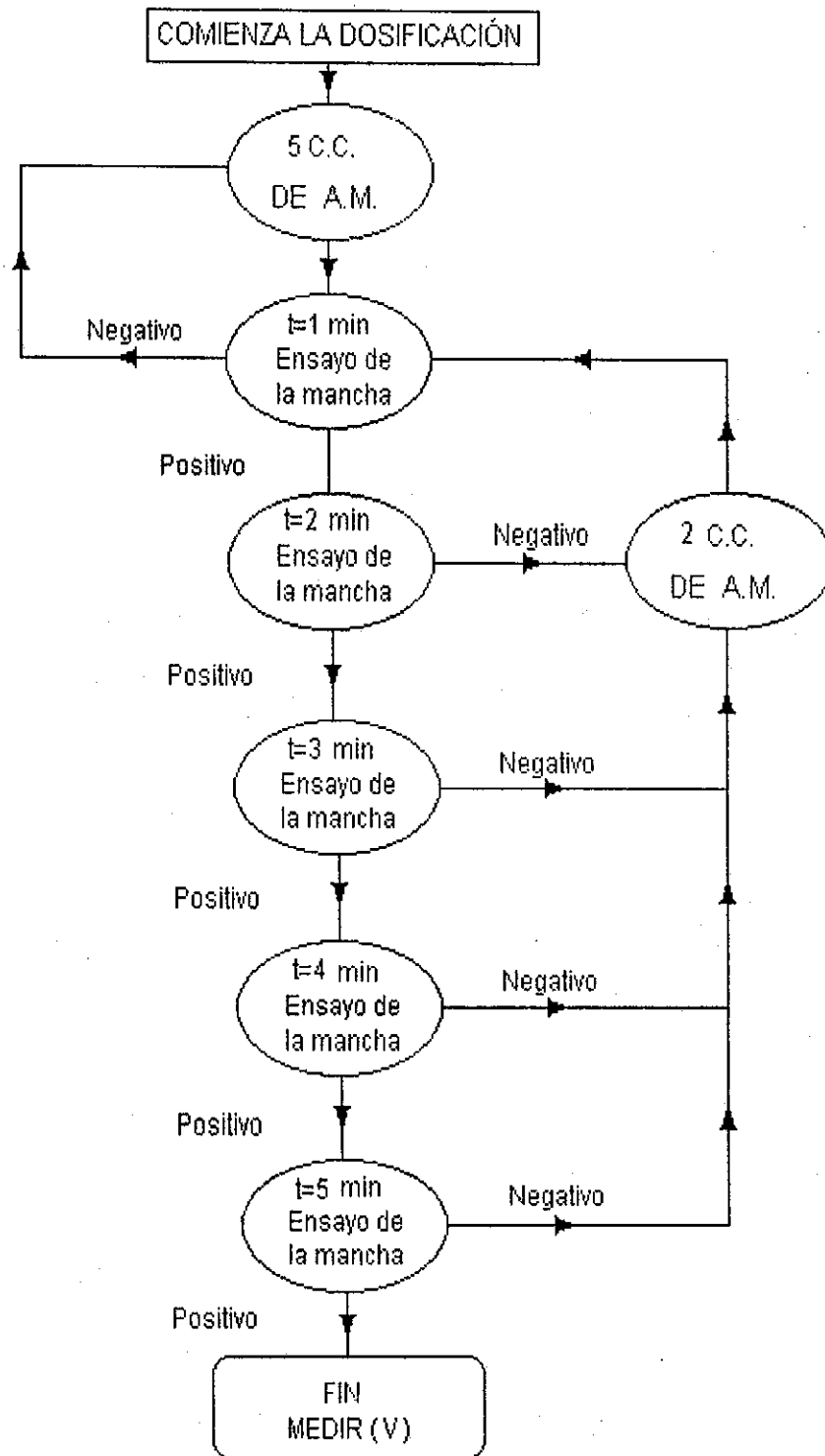
Aureola azul clara

Zona húmeda

## **TEST POSITIVO**

Esquema No.2

# PROCESO DE DOSIFICACIÓN DEL AZUL DE METILENO



Esquema No.3

El resultado final del valor de azul de metileno, se puede expresar en dos formas:

a) Valor de azul de metileno bajo la forma de gramos de azul por cada 100 gramos de finos, que viene dado por la fórmula:

$$A.M. = \frac{V}{f'}$$

Donde

$f'$

**A.M.** es el valor de azul de metileno (gr. Azul / 100 gr de finos)

**V** es el volumen final de disolución inyectado en  $\text{cm}^3$  (10 gr / litro)

**f'** es la cantidad de finos, en gramos, que es deseable tener en la muestra de ensayo (aproximadamente 30 gramos para iniciar).

Después se debe comprobar el valor de azul obtenido, por medio de un control, de conformidad con relación a una especificación dada. Este control se realiza de siguiente forma:

El volumen de la disolución de azul a inyectar en una sola vez vendrá dado por:  $V' = f' \times s$ , siendo  $s$  el valor de la especificación  $s = 0.6$  para obras ordinarias y  $s = 0.3$  para obras en ambiente más riguroso.

El ensayo de la mancha se efectúa después de ocho minutos de agitación. Si es positivo, la arena es conforme con la especificación; si es negativo se añade un volumen de disolución de azul igual a:  $f' \times s / 10$ . Si el ensayo es siempre negativo, después de cinco minutos, aplicar la dosificación del esquema No.3. Si el ensayo es positivo se considera que la arena si cumple con la especificación.

b) Valor de azul de metileno bajo la forma referida a los gramos de azul por cada 100 gramos de arena, dado por la formula:

$$A.M.* = \frac{V}{M}$$

Donde

**M**

**A.M.\*** es el valor de azul de metileno (gr azul / 100 gr de arena)

**V** es el volumen final de disolución inyectado de azul en  $\text{cm}^3$  (10 gr / litro)

**M** es el peso de la muestra seca de arena, en gramos.

Ahora bien, si se desea comprobar si la arena cumple con la especificación dada por la norma, basta inyectar la cantidad de azul que define el límite de aceptación. Para obras ordinarias  $AM^* = V/M \leq 0.05$ , entonces  $V = 0.05 M$  y para obras en ambiente más riguroso  $AM^* = V/M \leq 0.03$ , entonces  $V = 0.03 M$ .

El volumen resultante de esta operación se añade de una sola vez, efectuándose el ensayo de la mancha después de 8 minutos de agitación:

Si el ensayo es positivo (con aureola azul clara), la muestra ya no admite más volumen de azul de metileno por que hay en exceso; por lo tanto la arena se aceptaría.

Si el ensayo es negativo (aureola incolora), la muestra admite mayor cantidad de azul; por lo tanto la arena se rechazaría.

Nota: Ha de proceder a la limpieza del equipo utilizado una vez que se ha finalizado el ensayo. Los depósitos de azul de metileno se limpian muy bien con agua si son recientes.

#### **4.4 Elaboración de probetas de concreto y mortero**

Para evaluar la influencia de los finos arcillosos y de trituración se elaboraron probetas de concreto y mortero para ensayo a compresión.

##### **4.4.1 Condiciones de las mezclas de concreto**

Dosificación 1:	Cemento 340 kg/m <sup>3</sup>
f.c. = 350 kg/cm <sup>2</sup>	Relación A/C = 0.55 (sin arcilla o finos de trituración)
	Arena caliza de CEPESA = 852 kg/m <sup>3</sup>
	Piedrín calizo de CEPESA = 1004 kg/m <sup>3</sup>
Dosificación 2:	Cemento 340 kg/m <sup>3</sup>
f.c. = 270 kg/cm <sup>2</sup>	Relación A/C = 0.55 (sin arcilla o finos de trituración)
	Arena andesítica de PROHINSA = 742 kg/m <sup>3</sup>
	Piedrín calizo de CEPESA = 908 kg/m <sup>3</sup>

- Se aumentó la dosificación de finos arcillosos y de trituración de acuerdo a las tablas 2 y 3. Por tanto fue necesario calcular la relación agua cemento (A/C) final en cada dosificación.
- La consistencia medida con el cono de Abrams, se mantuvo en todas las dosificaciones en 10 cm.
- En el concreto fresco se realizaron mediciones del contenido de aire atrapado, densidad volumétrica y consistencia.
- Se prepararon 6 probetas normalizadas por cilindros de 15 x 30 cm. Ensayando 2 probetas a 7, 28 y 56 días.

#### 4.4.2 Condiciones para las mezclas de mortero.

Dosificación 3: Cemento  $340 \text{ kg/m}^3$   
f.c. =  $550 \text{ kg/cm}^2$  Relación A/C = 0.55 (sin arcilla o finos de trituración)  
Arena caliza de CEPESA =  $935 \text{ kg/m}^3$

Dosificación 4: Cemento  $340 \text{ kg/m}^3$   
f.c. =  $420 \text{ kg/cm}^2$  Relación A/C = 0.55 (sin arcilla o finos de trituración)  
Arena andesítica de PROHINSA =  $814 \text{ kg/m}^3$

- También en los morteros se aumentó la dosificación de finos arcillosos y de trituración de acuerdo a las tablas 2 y 3. Por tanto fue necesario calcular la relación agua cemento (A/C) o porcentaje de agua final en cada dosificación.
- La consistencia medida con el flujo, se mantuvo en todas las dosificaciones en 95 y 100 mm.
- Se prepararon 6 probetas normalizadas por cubos de  $2 \times 2 \times 2$  pulgadas. Ensayando 2 probetas a 3, 7 y 28 días.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Tablas y gráficos de resultados

A continuación se detallan los resultados de los ensayos de azul de metileno, concreto y mortero en tablas y gráficos.

La simbología utilizada en la tabla 13 a la 18, es la siguiente:

- i = Contenido de arcilla (%)
- f = Contenido de finos (%)
- A/C = Relación agua - cemento
- % Agua = Porcentaje de agua en el mortero (%)
- Densidad = Densidad volumétrica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- Fluidez = Consistencia del mortero (ml)
- % Aire = Porcentaje de aire atrapado
- R.C. 3 d = Resistencia a compresión a 3 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- R.C. 7 d = Resistencia a compresión a 7 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- R.C. 28 d = Resistencia a compresión a 28 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- R.C. 56 d = Resistencia a compresión a 56 días ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- A.M. = Valor de azul de metileno (gr de azul / 100 gr de finos)
- A.M.\* = Valor de azul de metileno (gr de azul / 100 gr de arena)

5.1.1 Resultados de azul de metileno con arena caliza

<i>i</i>	<i>f</i>	A.M.	A.M.*
0	5.6	0.52	0.015
1	5.6	0.9	0.04
2	5.6	1.33	0.06
0	10	0.5	0.048
1	10	0.72	0.072
2	10	0.86	0.082
4	10	1.16	0.11
0	15	0.5	0.072
1	15	0.71	0.103
2	15	0.75	0.11
4	15	1.1	0.16
0	20	0.38	0.07
1	20	0.63	0.12
2	20	0.72	0.15
4	20	1.1	0.21

Tabla No. 13

5.1.2 Resultados de azul de metileno con arena andesítica

<i>i</i>	<i>f</i>	<i>A.M.</i>	<i>A.M.*</i>
0	3.18	1.69	0.048
1	3.18	1.9	0.052
2	3.18	2.75	0.07
0	5	1.38	0.06
1	5	1.53	0.069
2	5	1.66	0.075
0	10	0.92	0.082
1	10	0.93	0.084
2	10	0.96	0.086
4	10	1.1	0.1

Tabla No. 14



### 5.1.3 Resultados del concreto con arena caliza

<i>i</i>	<i>f</i>	A/C	Densidad	% Aire	R.C. 7 d.	R.C. 28 d.	R.C. 56 d.	A.M.	A.M.*
0	5.6	0.57	2345	1.75	282	363	392	0.52	0.015
1	5.6	0.67	2317	1.65	197	254	293	0.9	0.04
2	5.6	0.73	2315	1.63	192	238	263	1.33	0.06
0	10	0.6	2360	1.68	233	289	349	0.5	0.048
1	10	0.69	2309	1.45	190	236	295	0.72	0.072
2	10	0.73	2303	1.44	164	196	253	0.86	0.082
4	10	0.84	2254	1.43	128	174	202	1.16	0.11
0	15	0.56	2338	1.55	243	309	319	0.5	0.072
1	15	0.61	2303	1.35	186	247	287	0.71	0.103
2	15	0.66	2289	1.25	167	218	256	0.75	0.11
4	15	0.77	2254	1.3	116	159	192	1.1	0.16
0	20	0.56	2331	1.45	225	282	300	0.38	0.07
1	20	0.61	2310	1.3	189	244	291	0.63	0.12
2	20	0.69	2286	1.3	164	209	244	0.72	0.15
4	20	0.81	2247	1.2	113	151	181	1.1	0.21

Tabla No. 15

### 5.1.4 Resultados del concreto con arena andesítica

<i>i</i>	<i>f</i>	<i>A/C</i>	<i>Densidad</i>	<i>% Aire</i>	<i>R.C. 7 d.</i>	<i>R.C. 28 d.</i>	<i>R.C. 56 d.</i>	<i>A.M.</i>	<i>A.M.*</i>
0	3.18	0.678	2240	1.7	192.58	278.15	320	1.69	0.048
1	3.18	0.6909	2233	1.7	180.06	266.69	307.33	1.9	0.052
2	3.18	0.6952	2226	1.69	182.38	277.23	310.91	2.75	0.07
0	5	0.69	2233	1.7	186.88	273.79	321.04	1.38	0.06
1	5	0.679	2232	1.7	180.49	262.75	314	1.53	0.069
2	5	0.6817	2231	1.6	184	271	312	1.66	0.075
0	10	0.689	2246	1.5	190.75	278.64	334.96	0.92	0.082
1	10	0.69	2246	1.4	186.95	276	314.5	0.93	0.084
2	10	0.6953	2253	1.3	189.98	273.93	318.57	0.96	0.086
4	10	0.703	2246	1.3	179.85	272.94	321.74	1.1	0.1

Tabla No. 16

### 5.1.5 Resultados del mortero con arena caliza

<i>l</i>	<i>f</i>	<i>Flow</i>	<i>% Agua</i>	<i>R.C. 3 d.</i>	<i>R.C. 7 d.</i>	<i>R.C. 28 d.</i>
0	5.6	104	45.3	412.79	474.94	623.02
1	5.6	95	49.8	359.07	412.72	519.94
2	5.6	96	55.1	292.00	333.97	447.31
0	10	105	49.1	395.49	451.95	571.41
1	10	97	53.8	344.17	379.11	486.76
2	10	96	57.8	276.32	303.53	407.80
4	10	95	68.8	172.26	202.35	280.19
0	15	105	49.8	373.35	411.52	523.46
1	15	98	57.7	299.94	350.50	471.92
2	15	97	61.6	244.33	286.44	373.35
4	15	95	71.7	172.26	203.06	267.04
0	20	106	54.7	322.79	372.57	457.16
1	20	102	62	252.48	297.76	390.71
2	20	98	63.2	230.41	267.11	358.16
4	20	97	75.8	151.59	184.70	247.14

Tabla No. 17

### 5.1.6 Resultados del mortero con arena andesítica

<i>l</i>	<i>f</i>	<i>Flow</i>	<i>% Agua</i>	<i>R.C. 3 d.</i>	<i>R.C. 7 d.</i>	<i>R.C. 28 d.</i>
0	3.18	102	56.2	267.6	331.51	470
1	3.18	99	57	260	327	465
2	3.18	99	58.6	254	320.61	446.54
0	5	99	56.5	260.99	324.55	456.17
1	5	98	57.1	256.14	326	455
2	5	99	59.5	249.53	317	431.28
0	10	98	57.7	254	318.93	438
1	10	96	59	246.66	316.4	430
2	10	97	59.5	245.38	316	429
4	10	100	62.9	242.78	313	424

Tabla No. 18

### 5.1.7 Gráficos de concreto con arena caliza

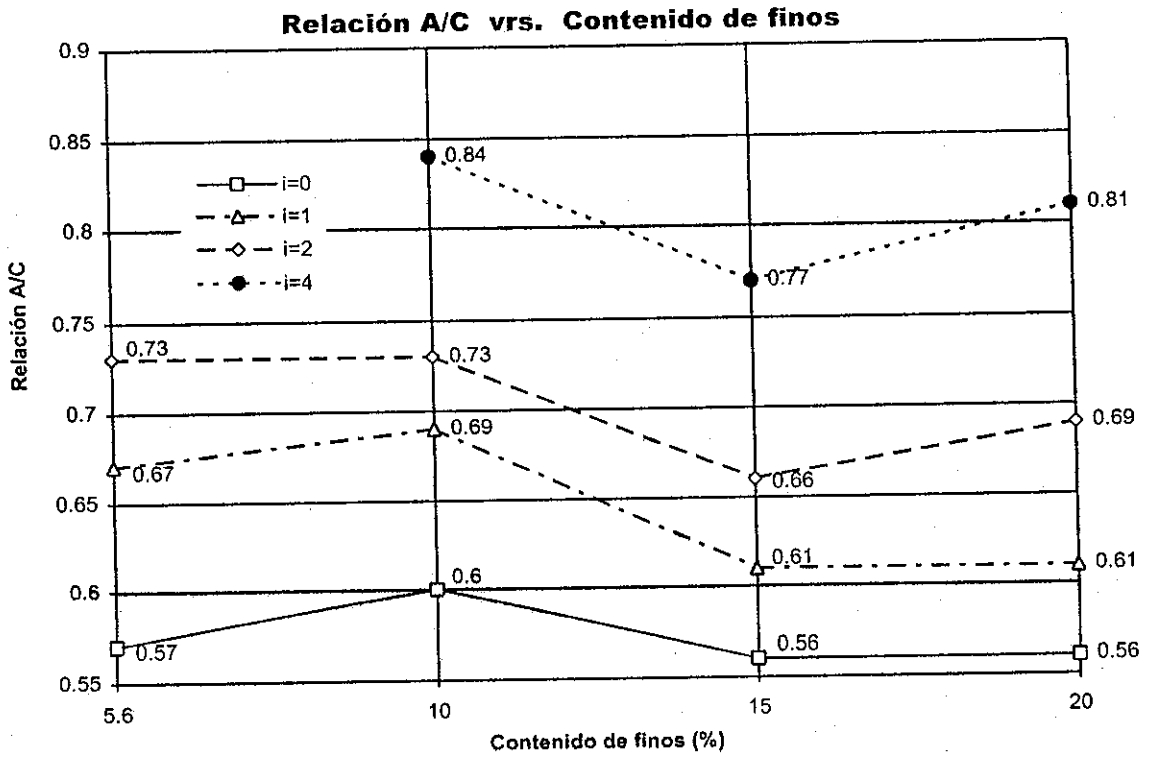


Gráfico No. 1

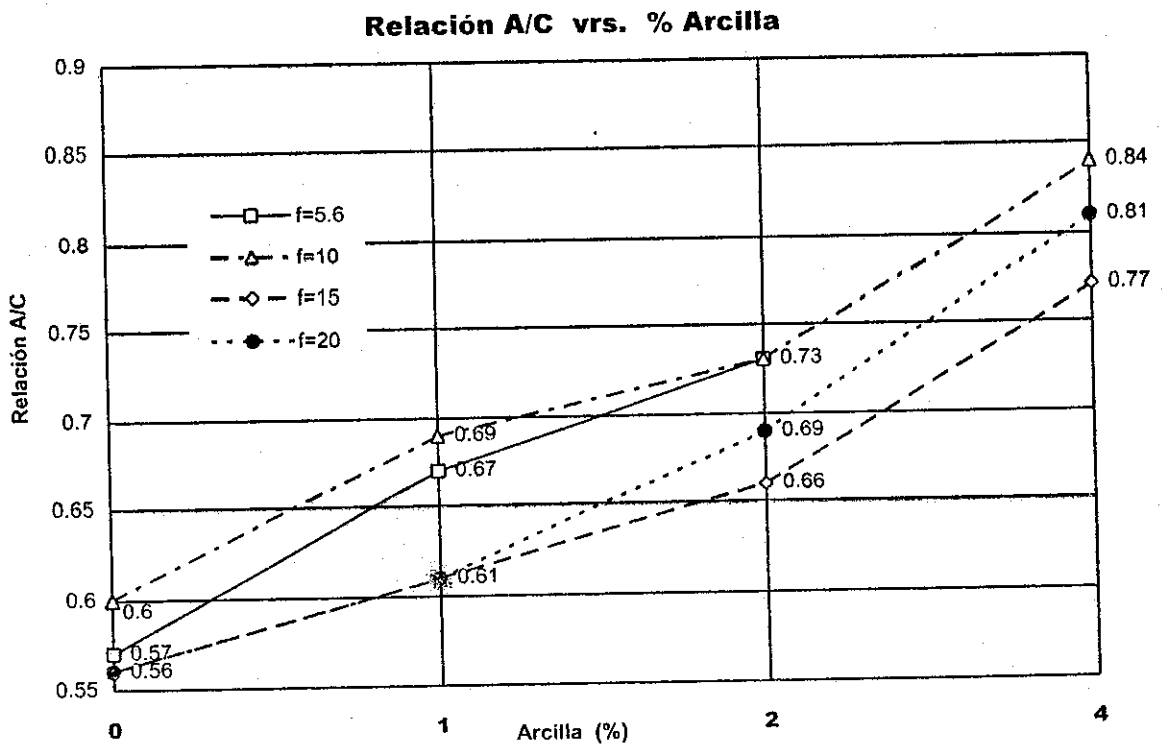


Gráfico No. 2

### Densidad vrs. contenido de finos

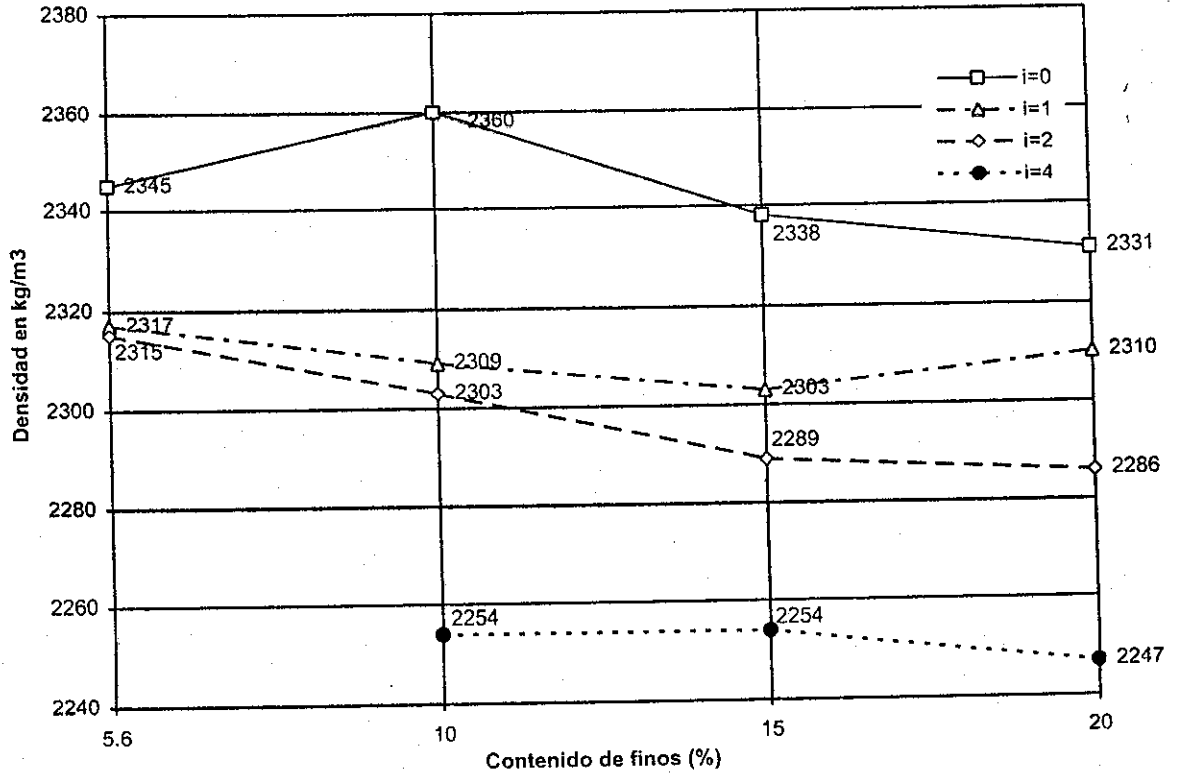


Gráfico No.3

### Densidad vrs. % de Arcilla

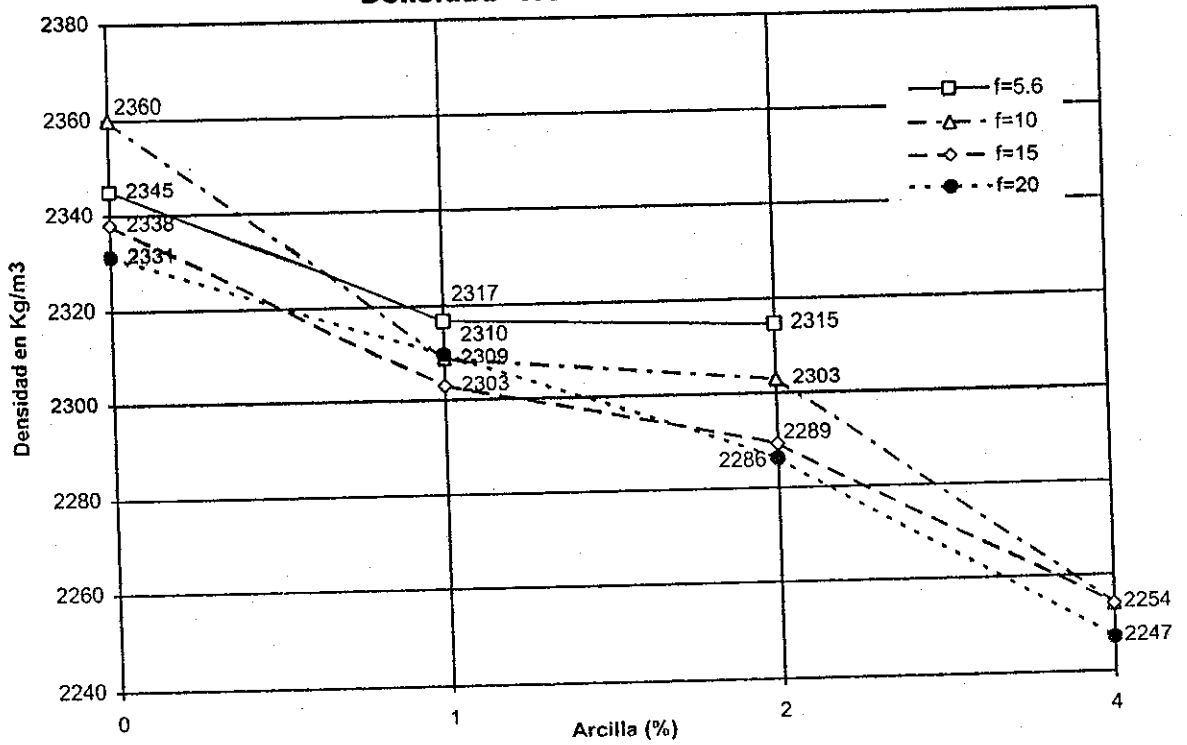


Gráfico No.4

**Porcentaje de aire atrapado vs. Contenido de finos**

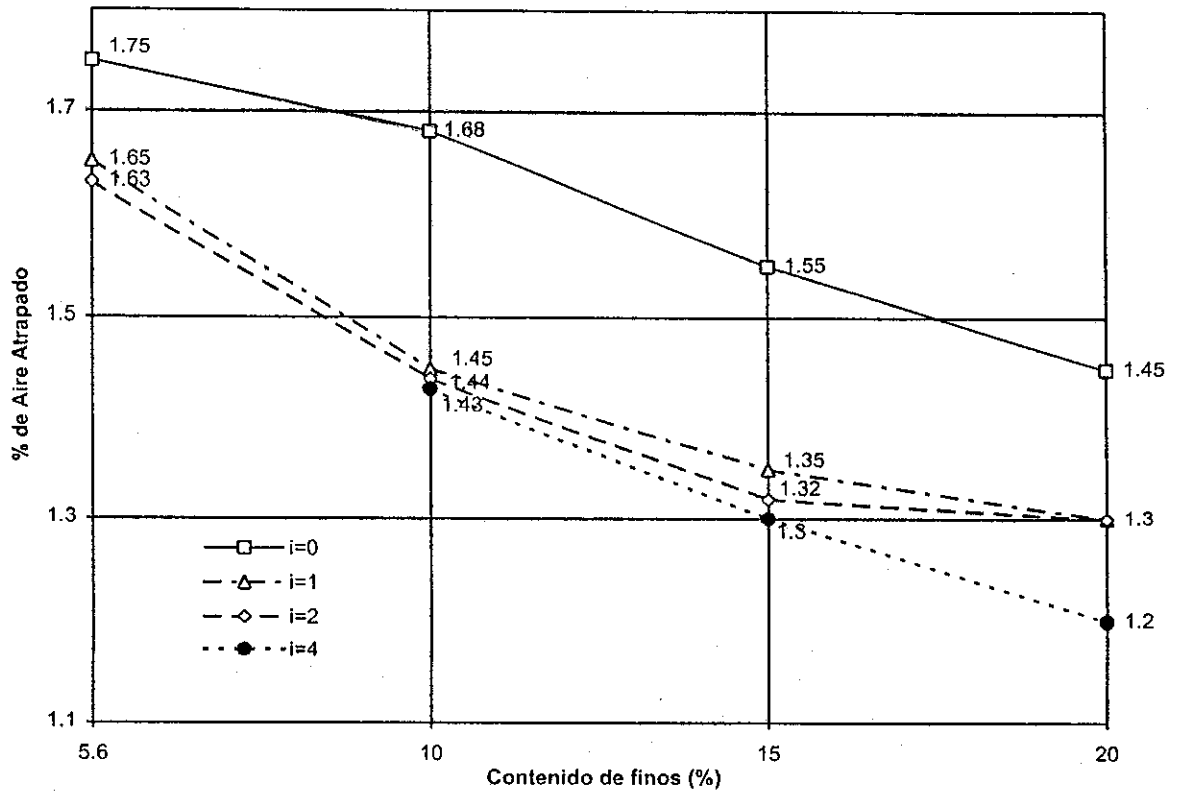


Gráfico No.5

**Porcentaje de Aire Atrapado vs. % Arcilla**

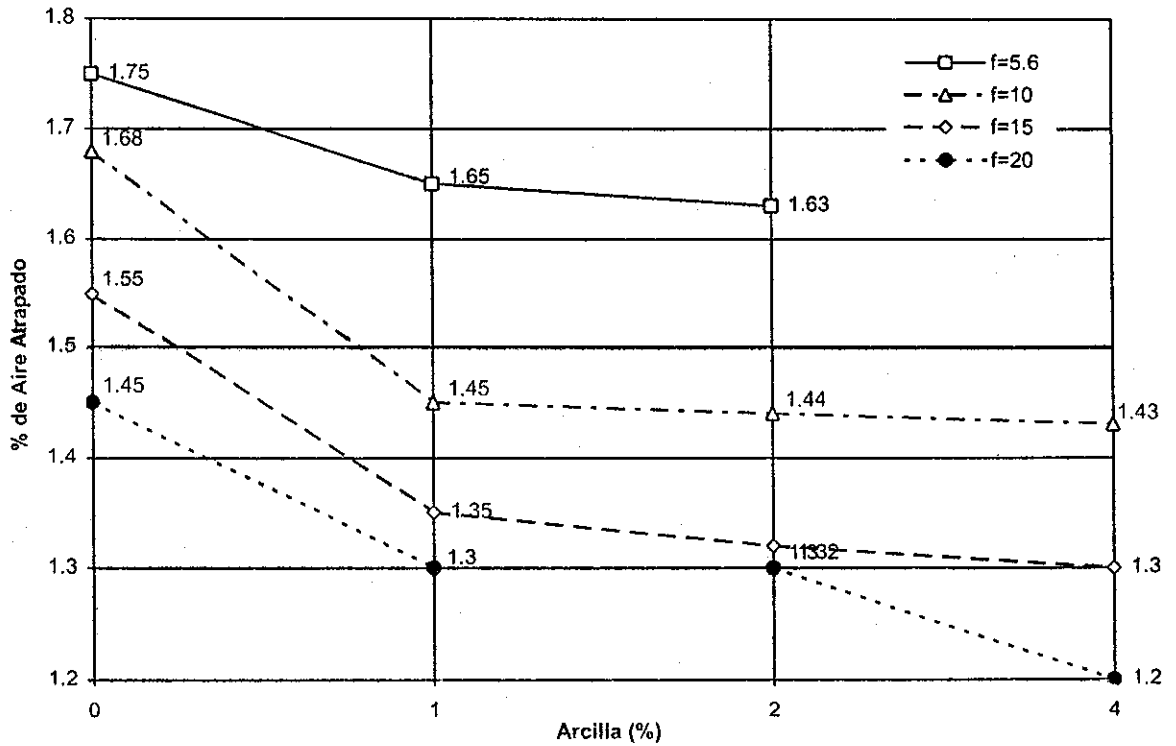


Gráfico No.6

### Resistencia a compresión 7 días vrs Contenido de finos

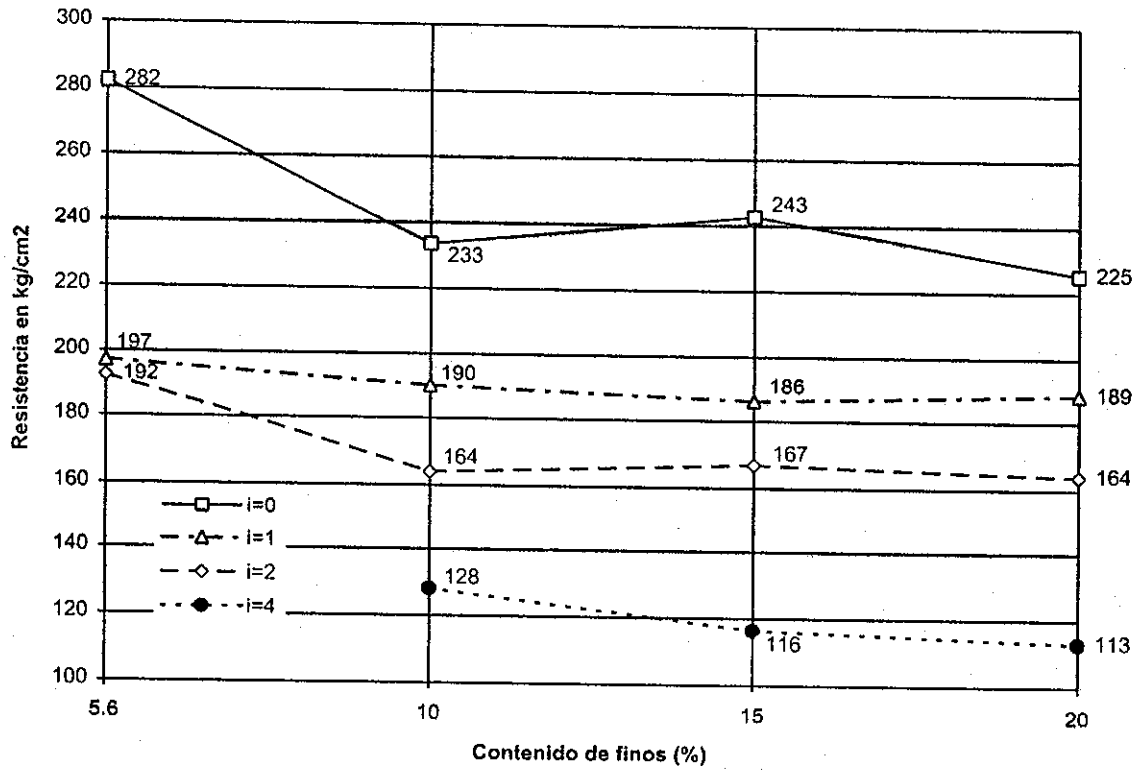


Gráfico No.7

### Resistencia a compresión 7 días vrs % Arcilla

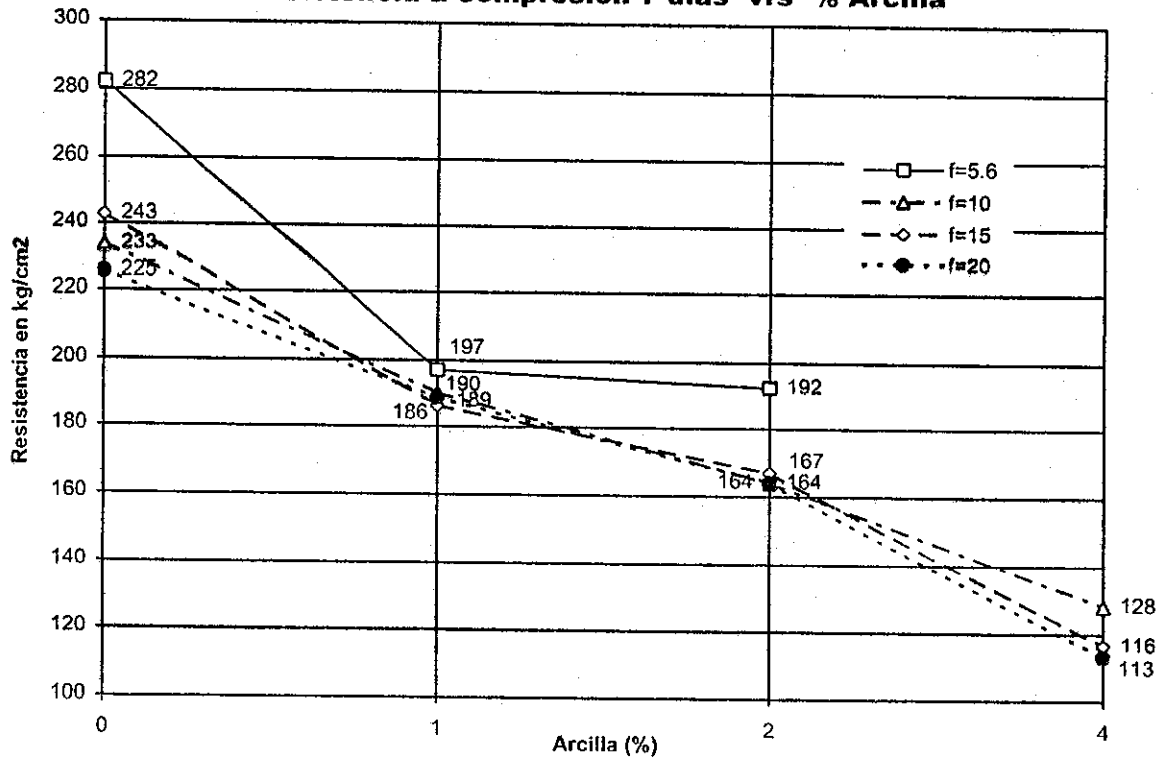


Gráfico No.8

### Resistencia a compresión 28 días vrs. Contenido de finos

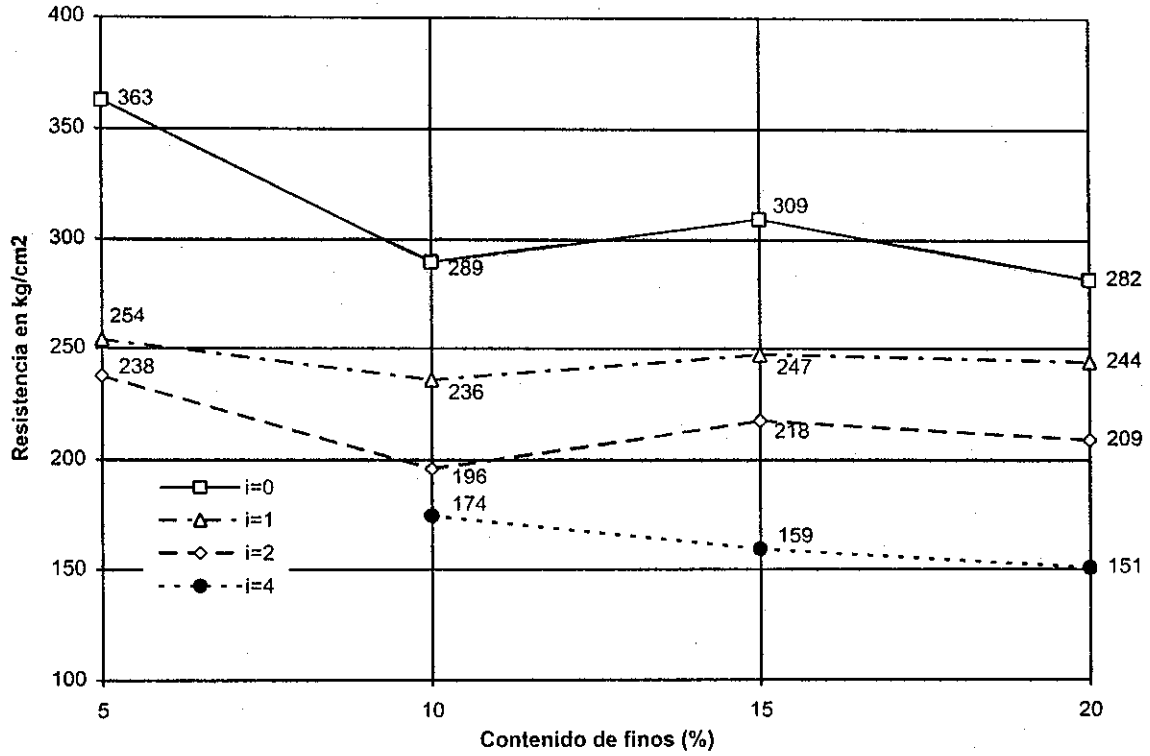


Gráfico No.9

### Resistencia a Compresión a 28 días vrs. % Arcilla

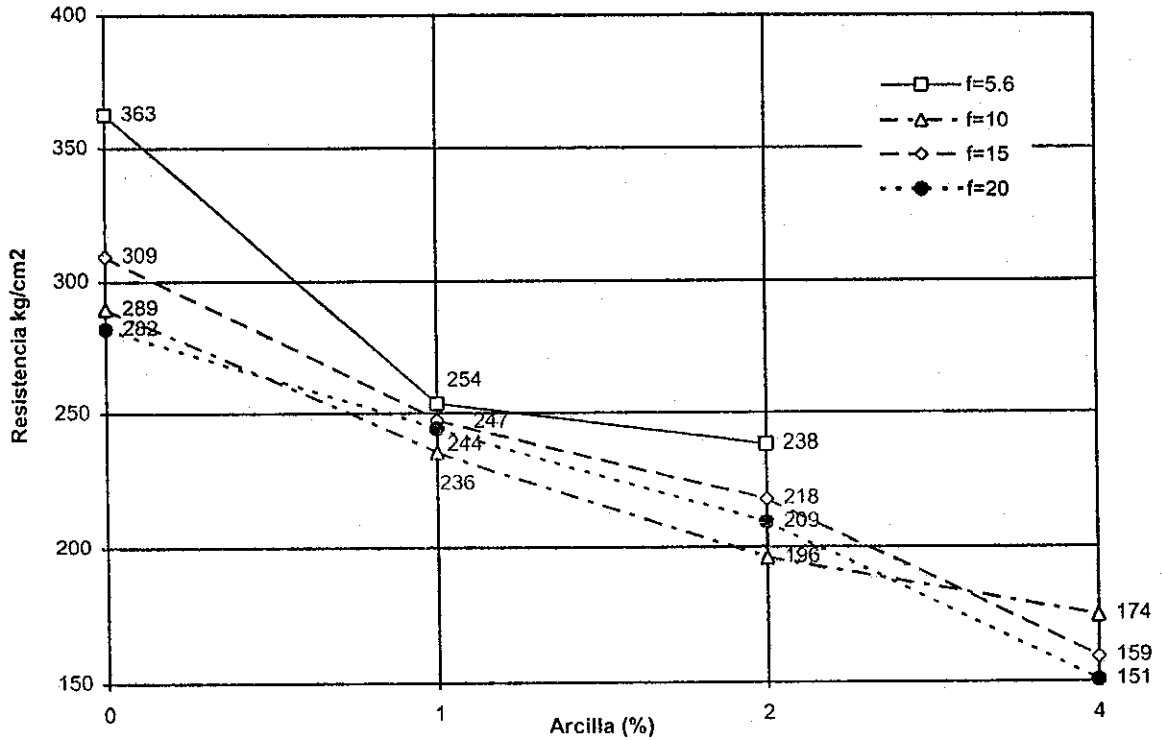


Gráfico No.10



### Resistencia a compresión 56 días vrs Contenido de finos

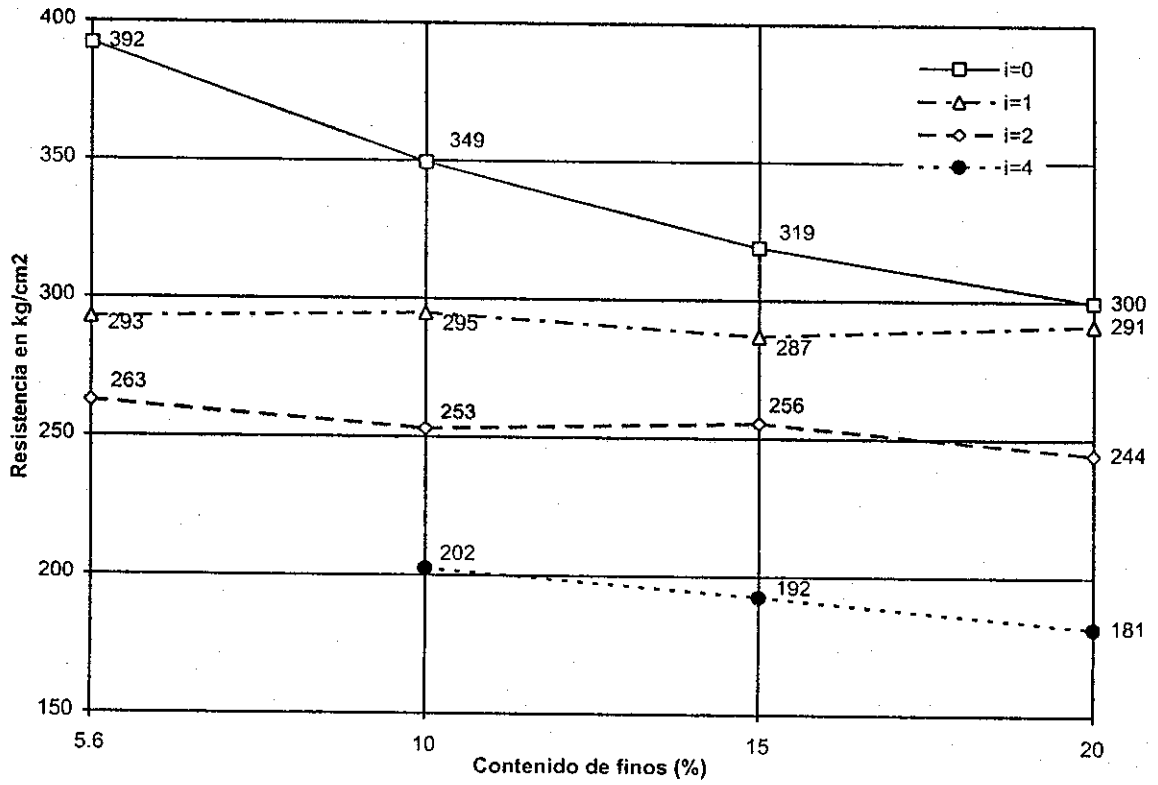


Gráfico No.11

### Resistencia a compresión a 56 días vrs. % Arcilla

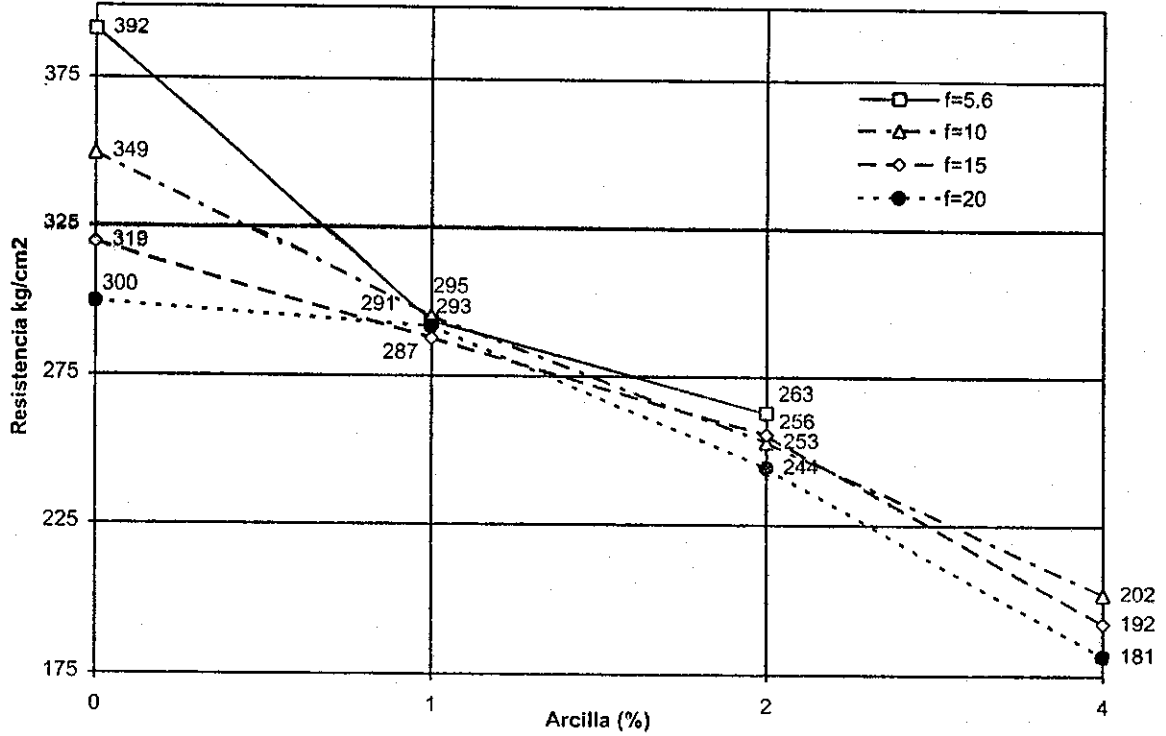


Gráfico No.12

### 5.1.8 Dosificación del azul de metileno en la arena caliza

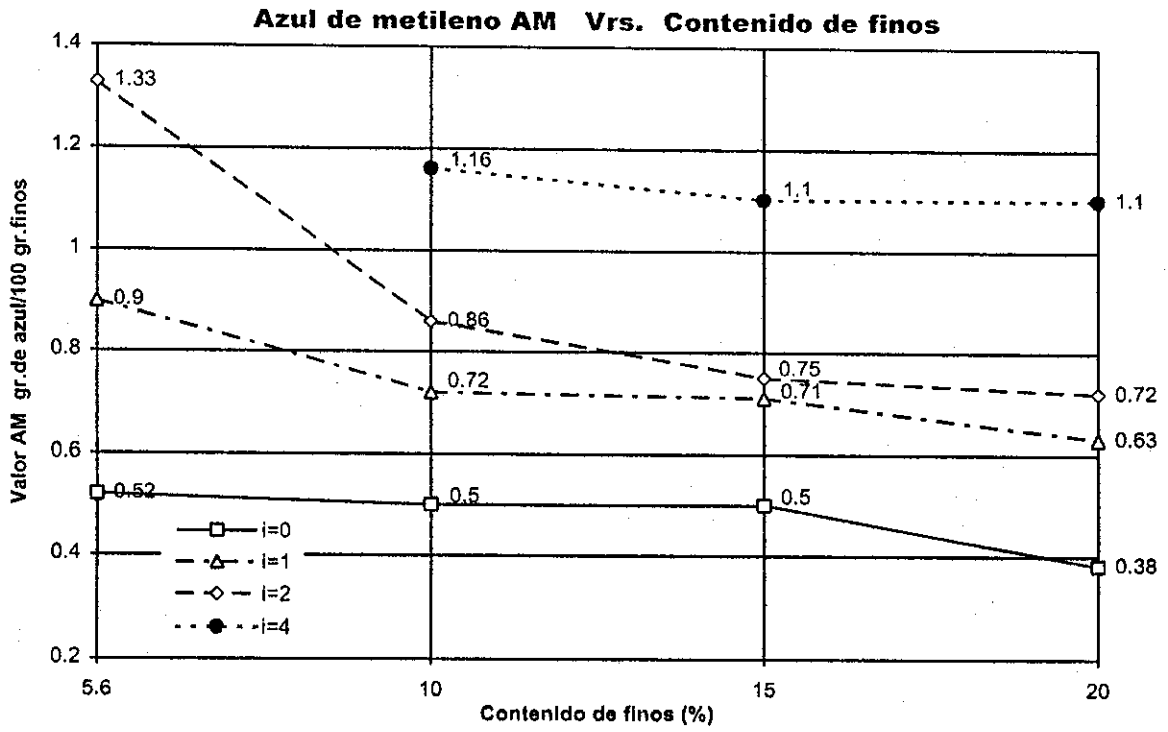


Gráfico No.13

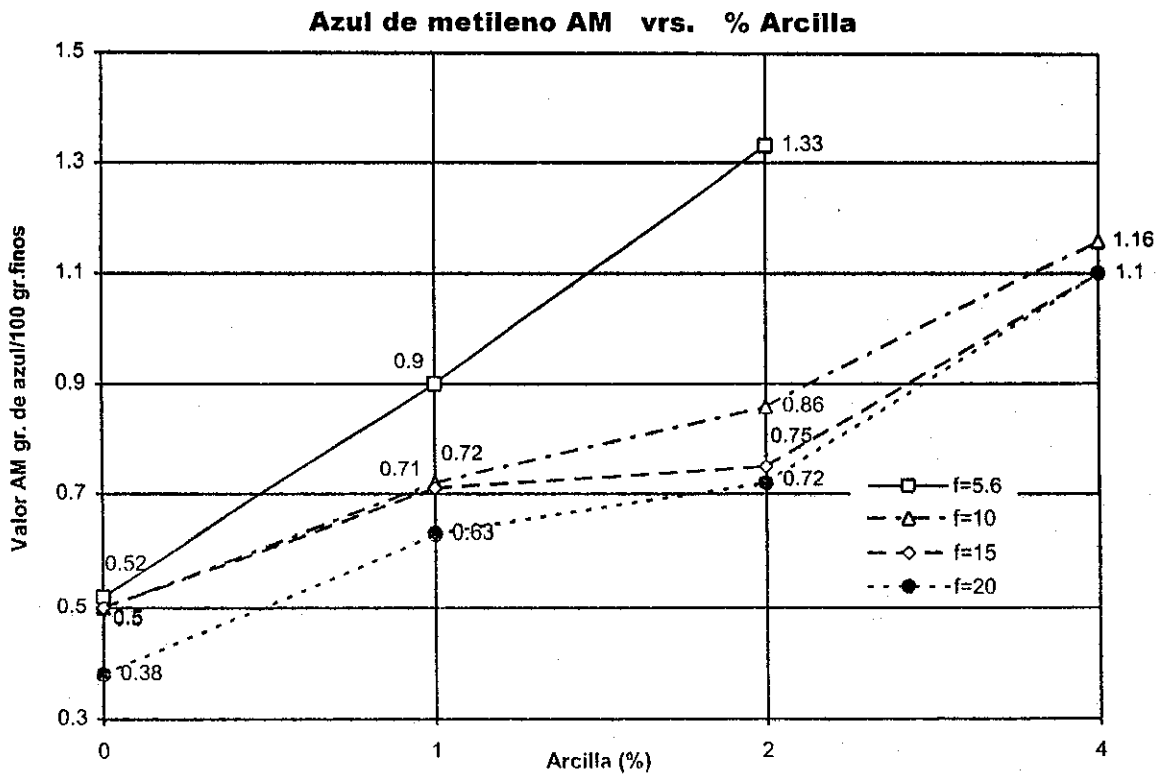


Gráfico No.14

### Azul de metileno AM\* vrs Contenido de finos

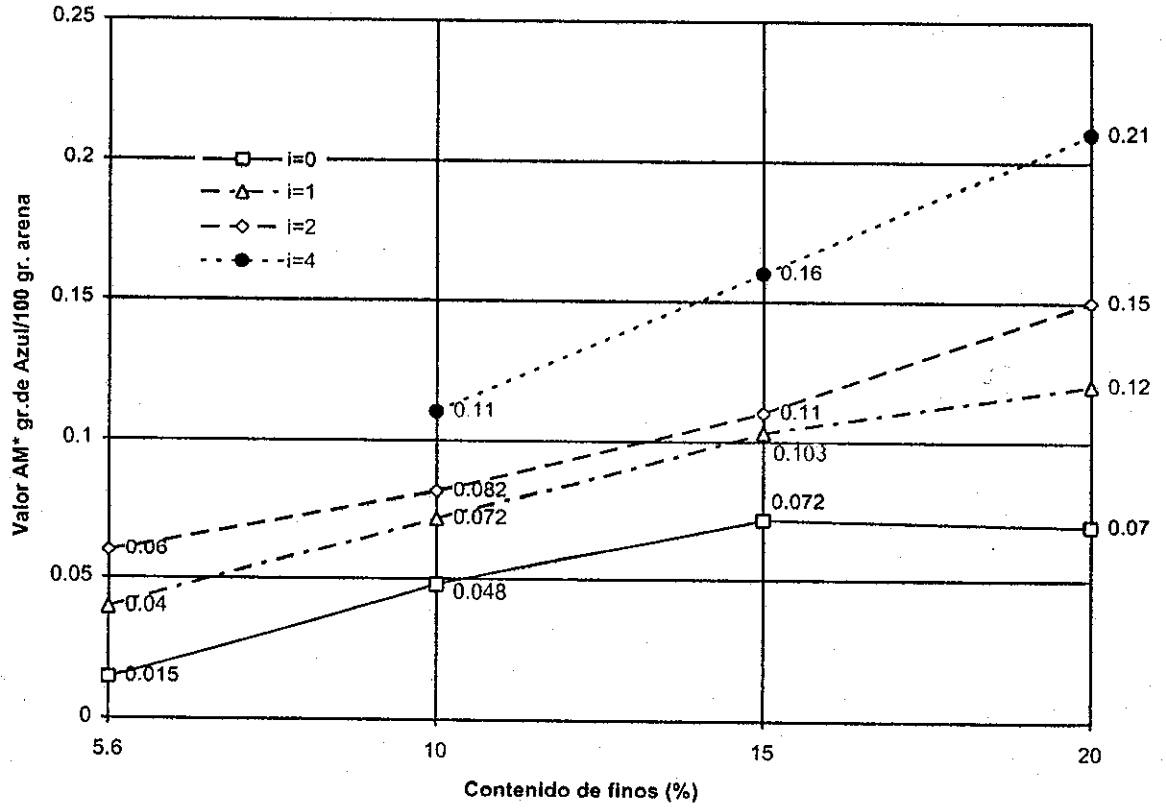


Gráfico No.15

### Azul de Metileno AM\* vrs. % Arcilla

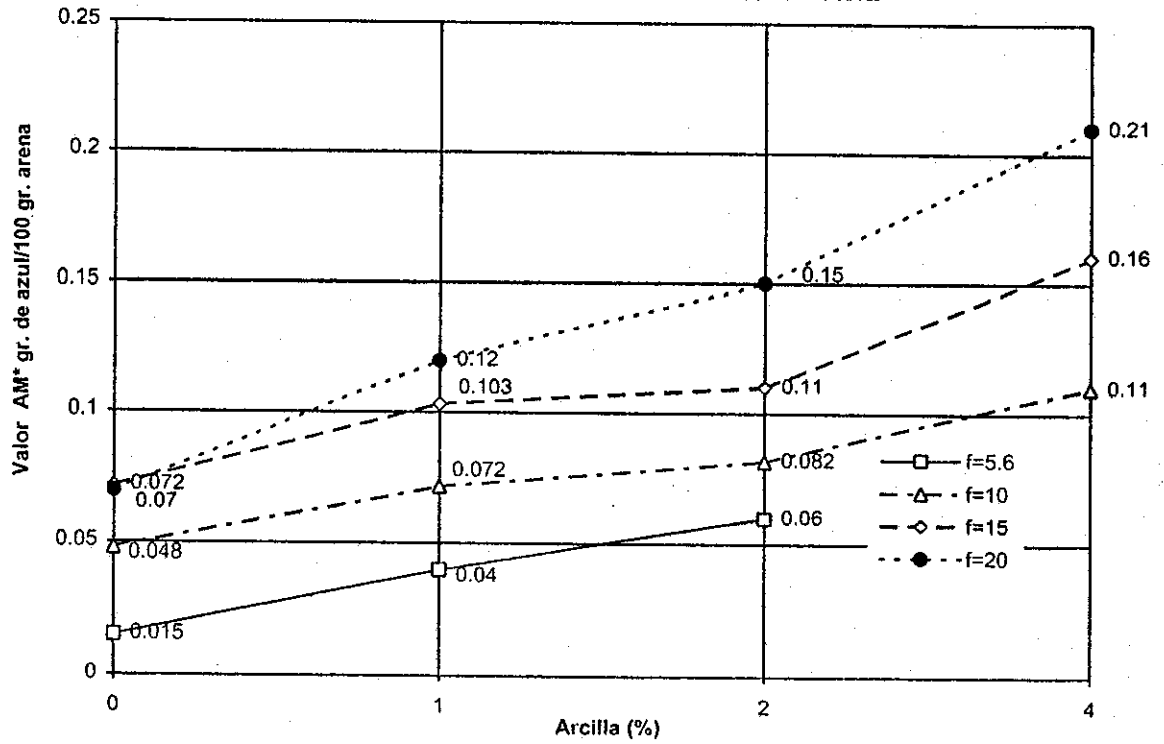


Gráfico No.16

### 5.1.9 Gráficos de concreto con arena andesítica

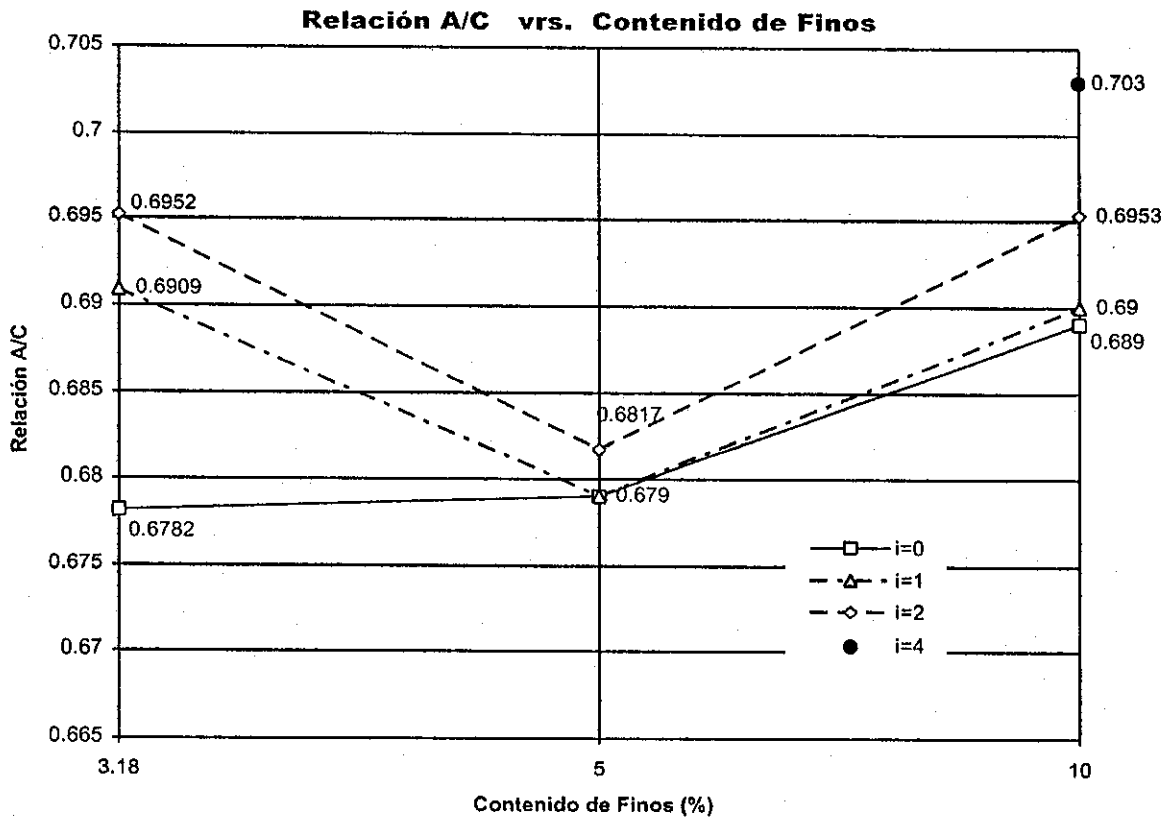


Gráfico No.17

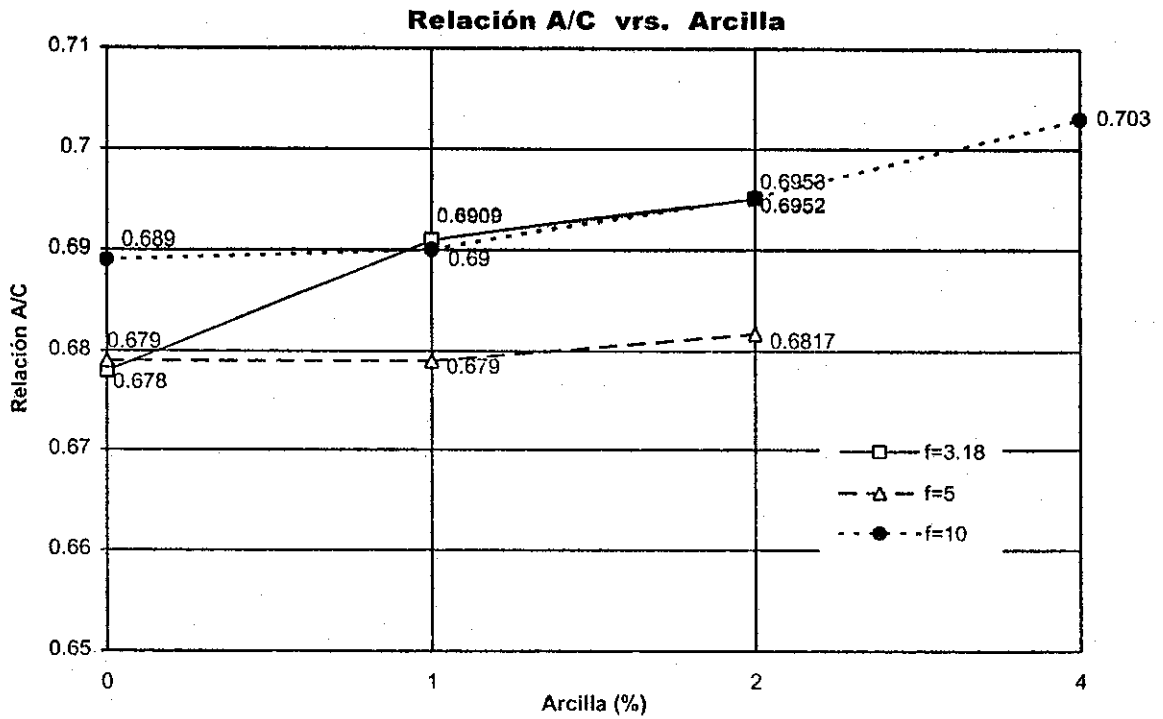


Gráfico No.18

### Densidad vs. Contenido de finos

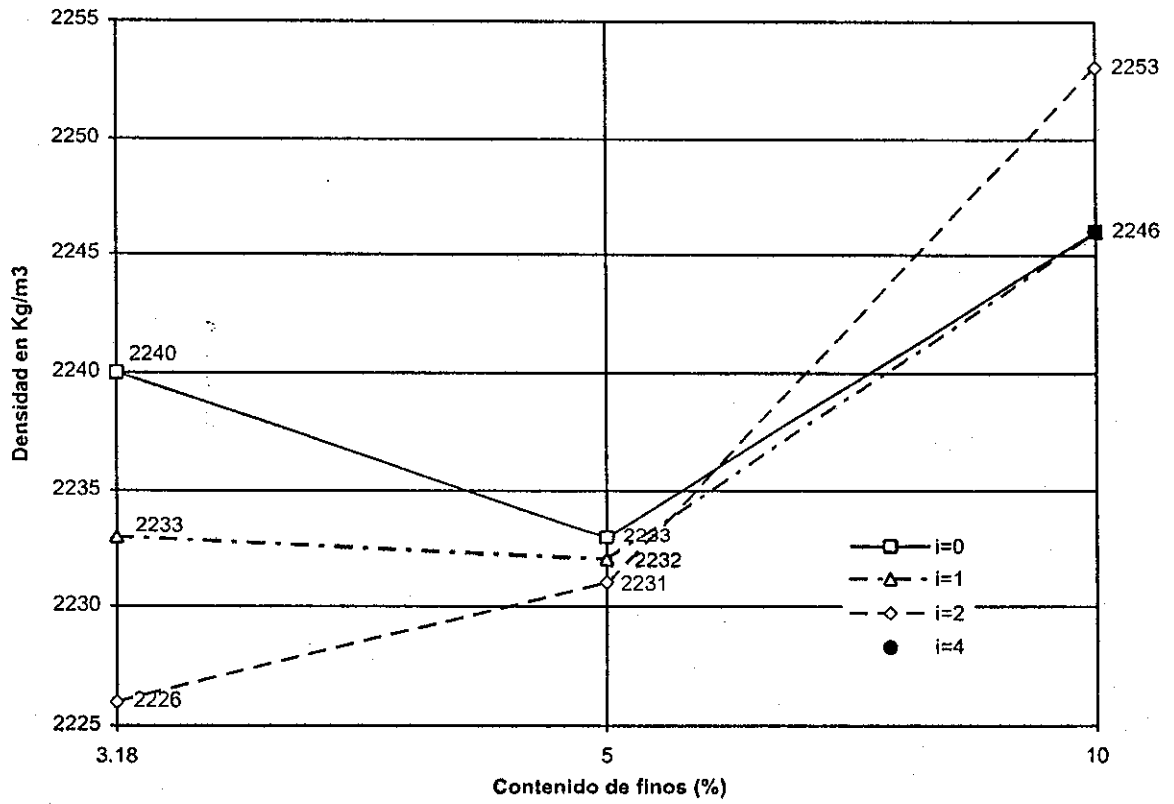


Gráfico No.19

### Densidad vs. Arcilla

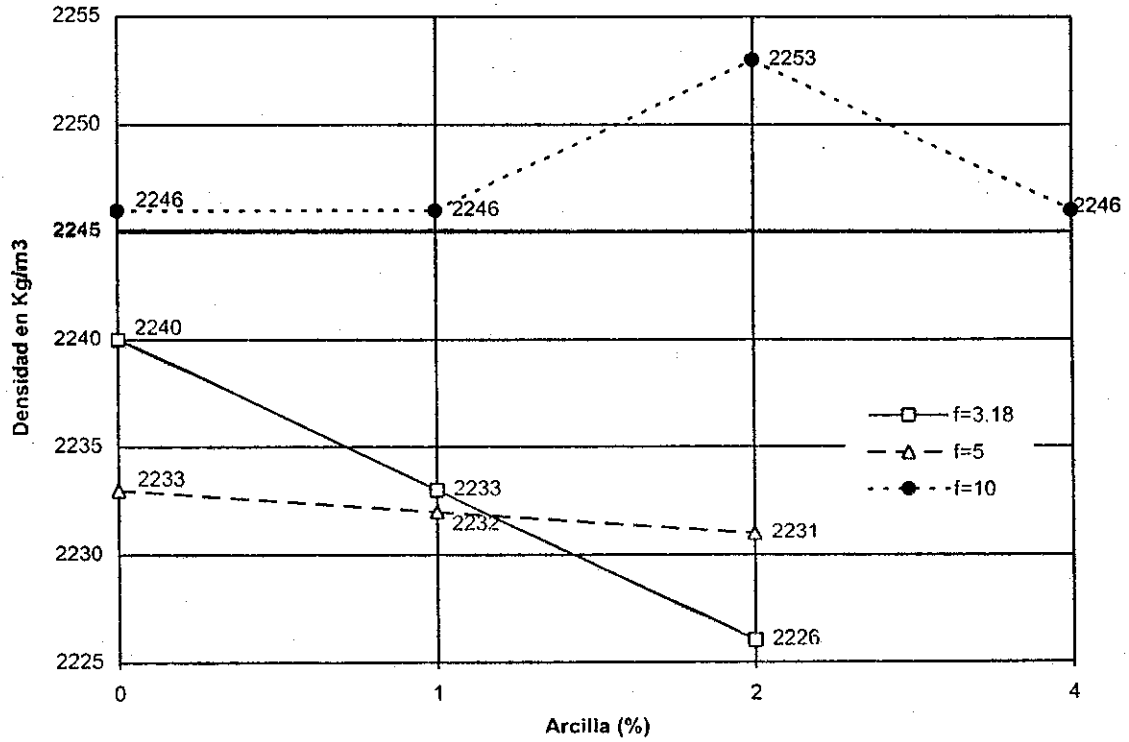


Gráfico No.20

**Porcentaje de aire atrapado vs. Contenido de finos**

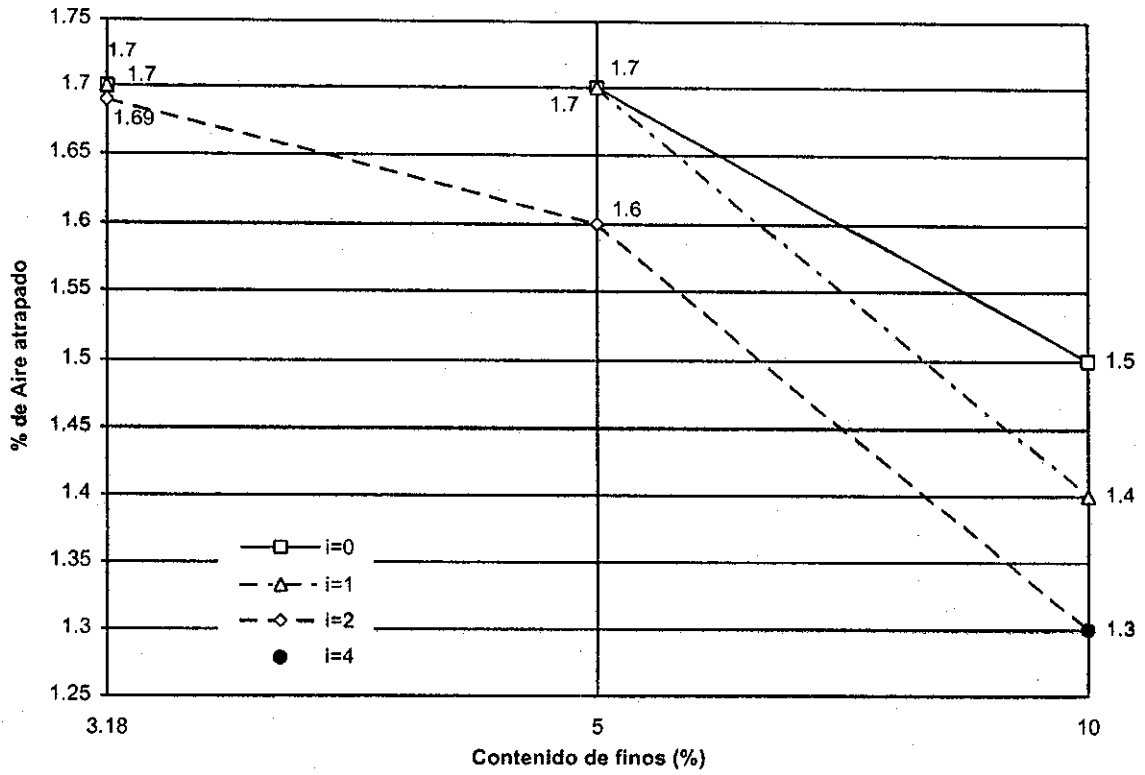


Gráfico No.21

**Porcentaje de aire Atrapado vs. Arcilla**

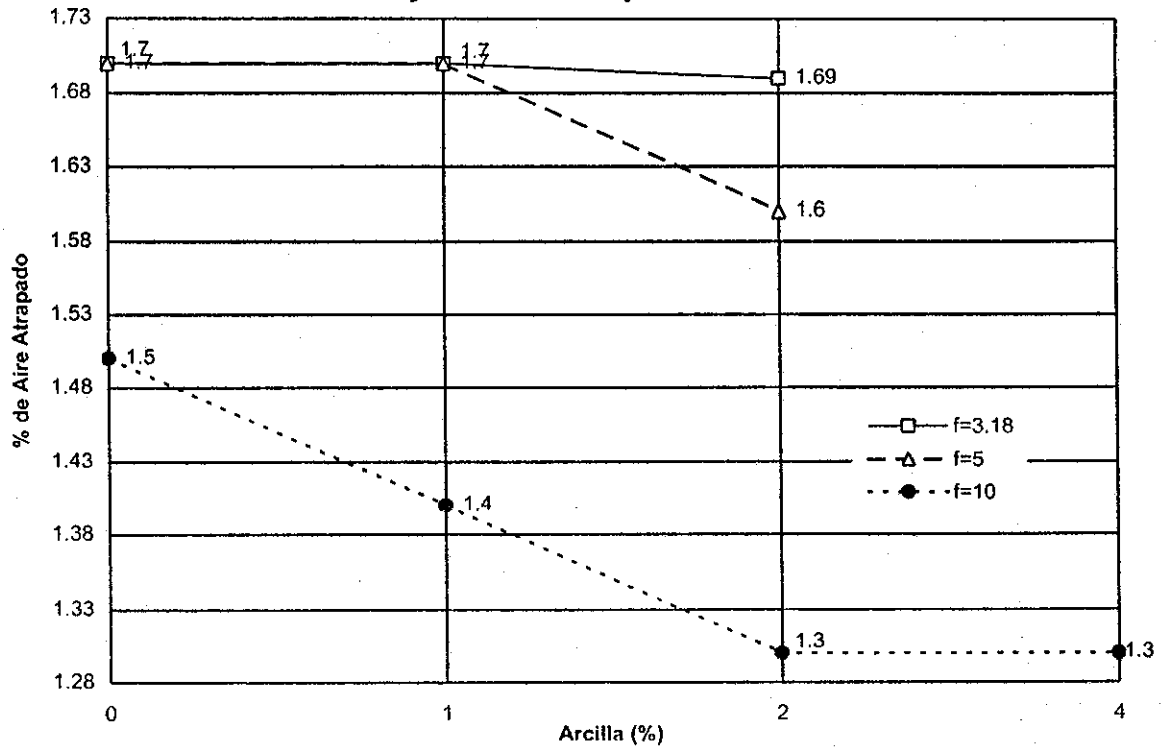


Gráfico No.22

**Resistencia a compresión 7 días vs. Contenido de finos**

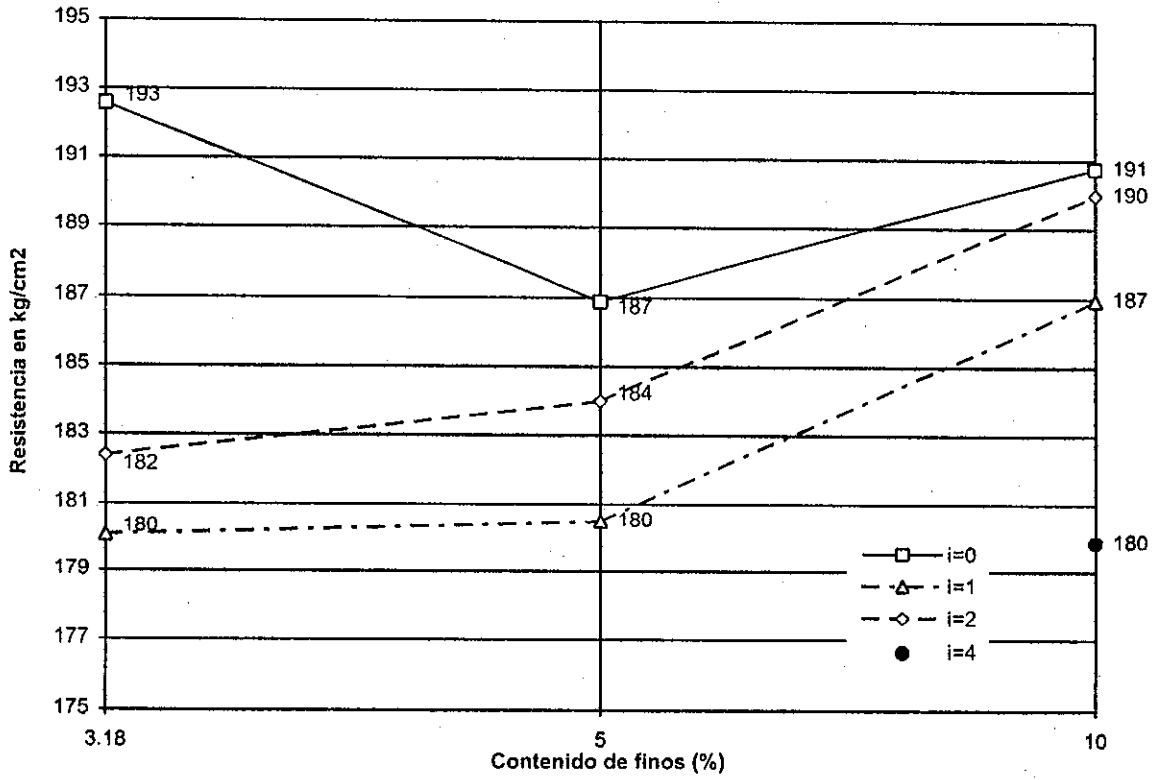


Gráfico No.23

**Resistencia a compresión 7 días vs Arcilla**

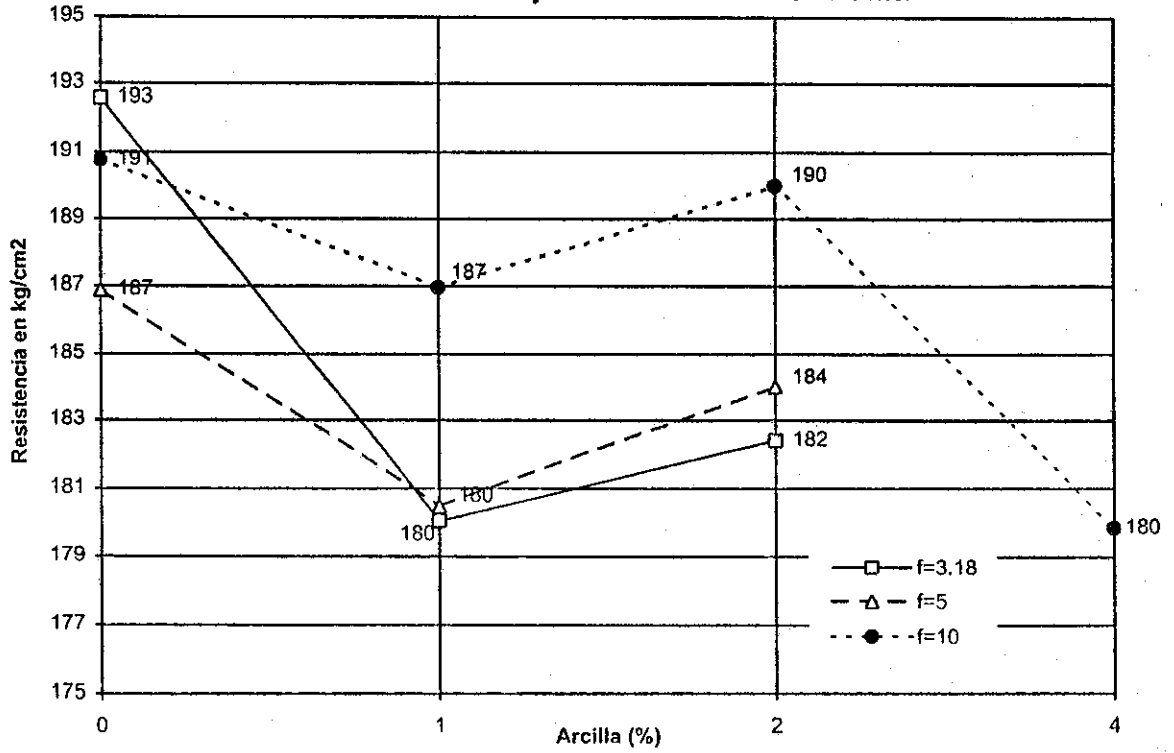


Gráfico No.24

### Resistencia a compresión 28 días vrs. Contenido de finos

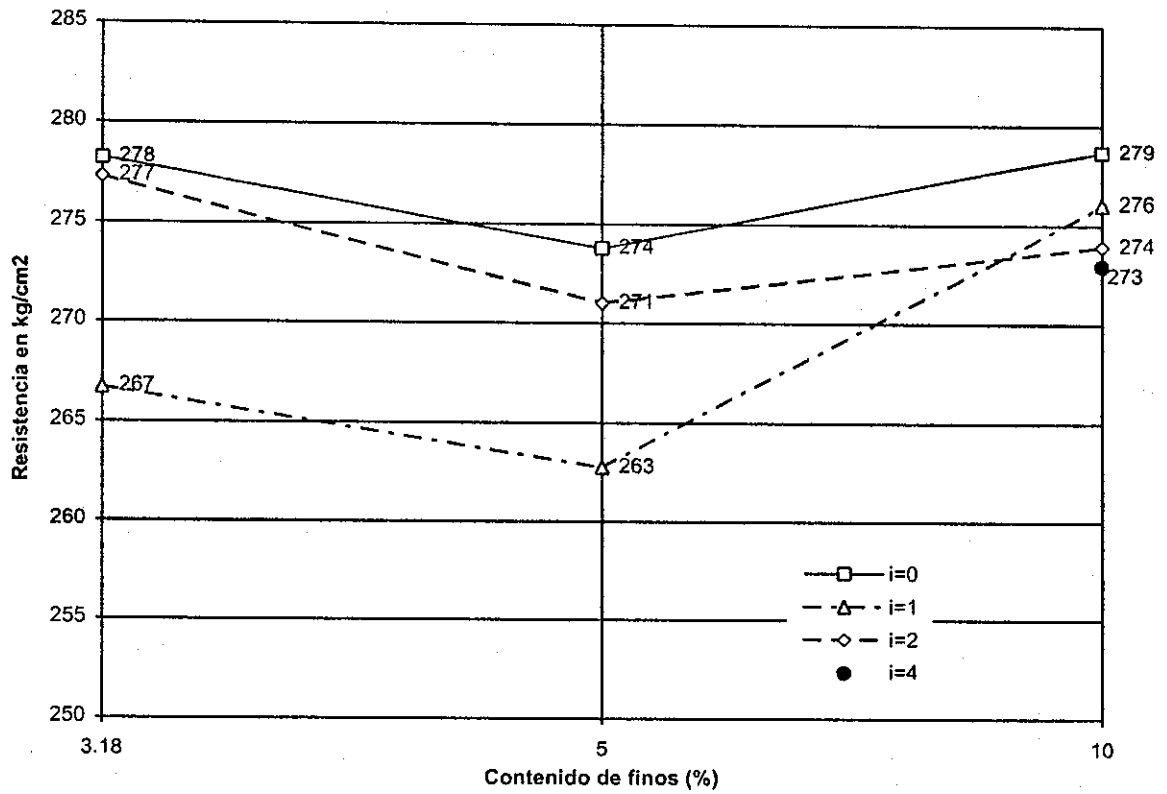


Gráfico No.25

### Resistencia a compresión 28 días vrs. Arcilla

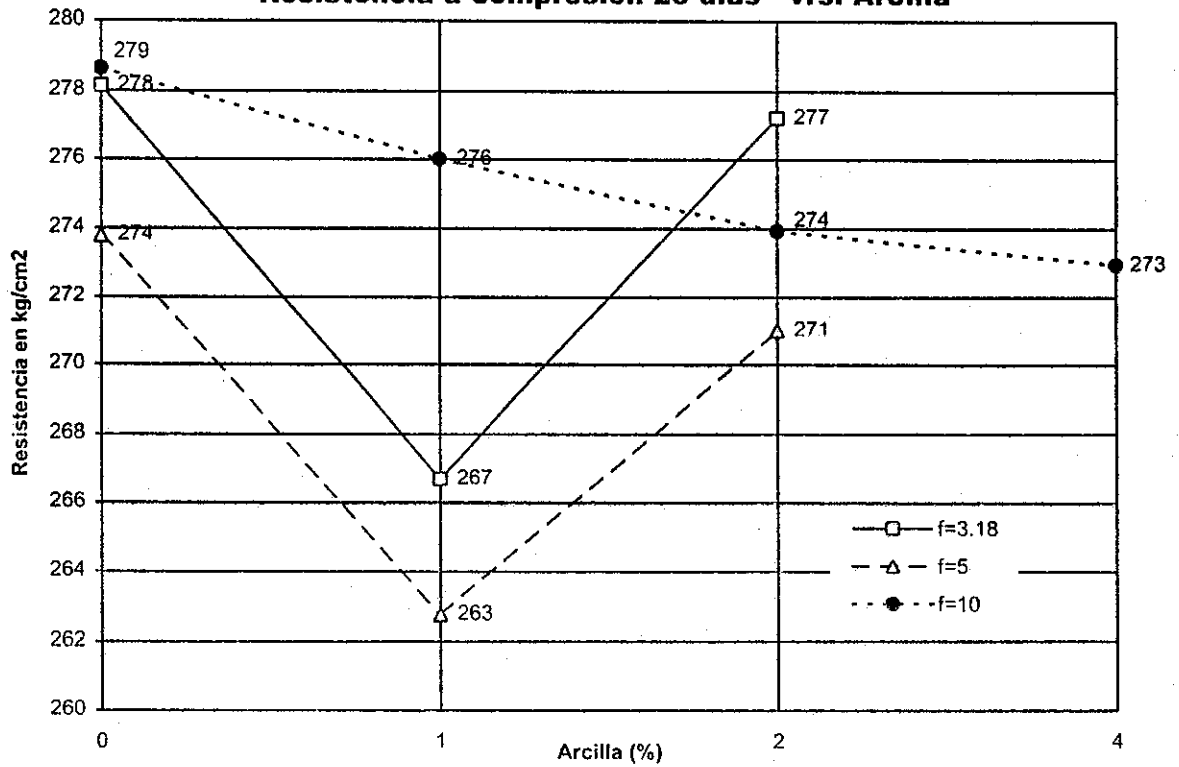


Gráfico No.26



**Resistencia a compresión 56 días vs. Contenido de finos**

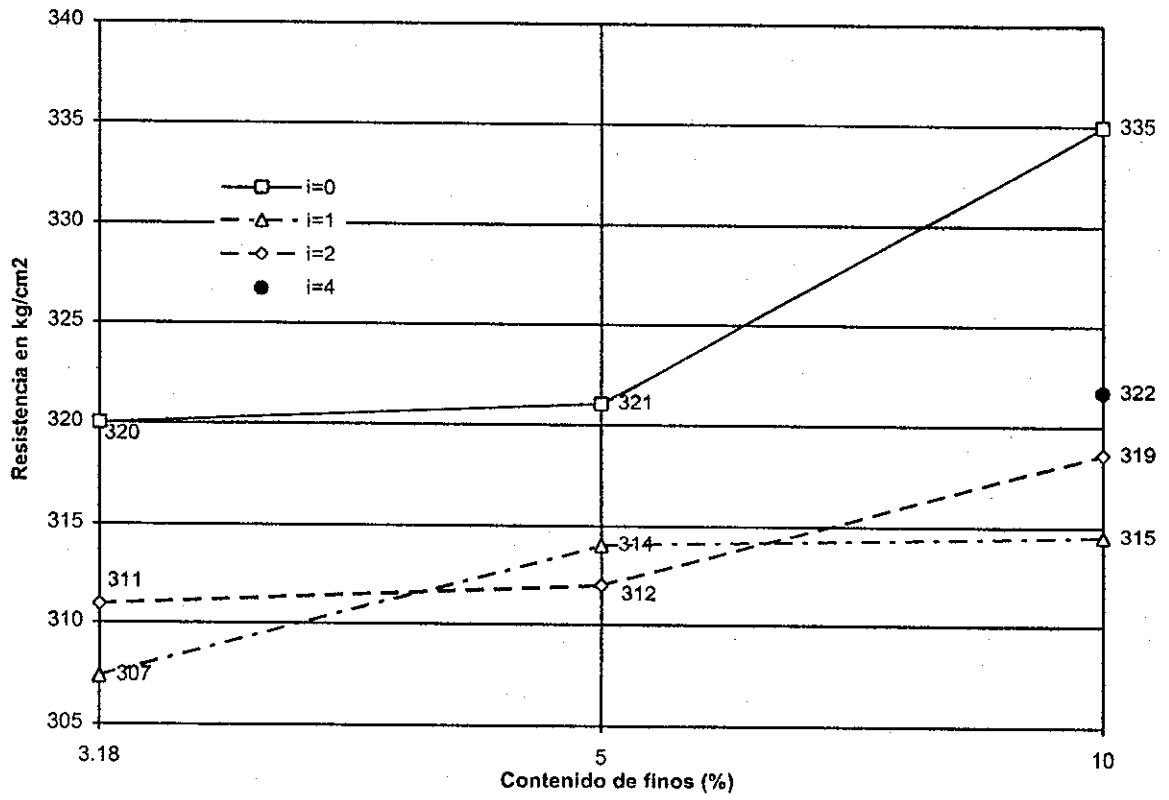


Gráfico No.27

**Resistencia a compresión 56 días vs Arcilla**

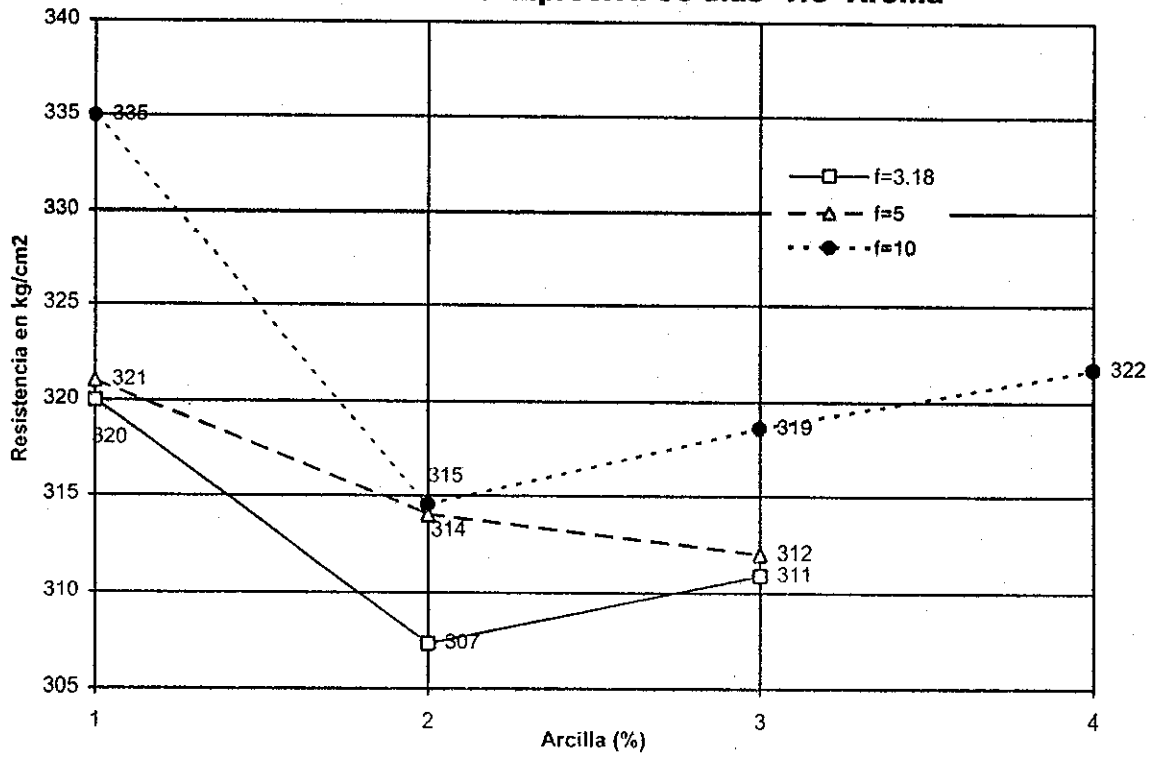


Gráfico No.28

### 5.1.10 Dosificación del azul de metileno en la arena andesítica

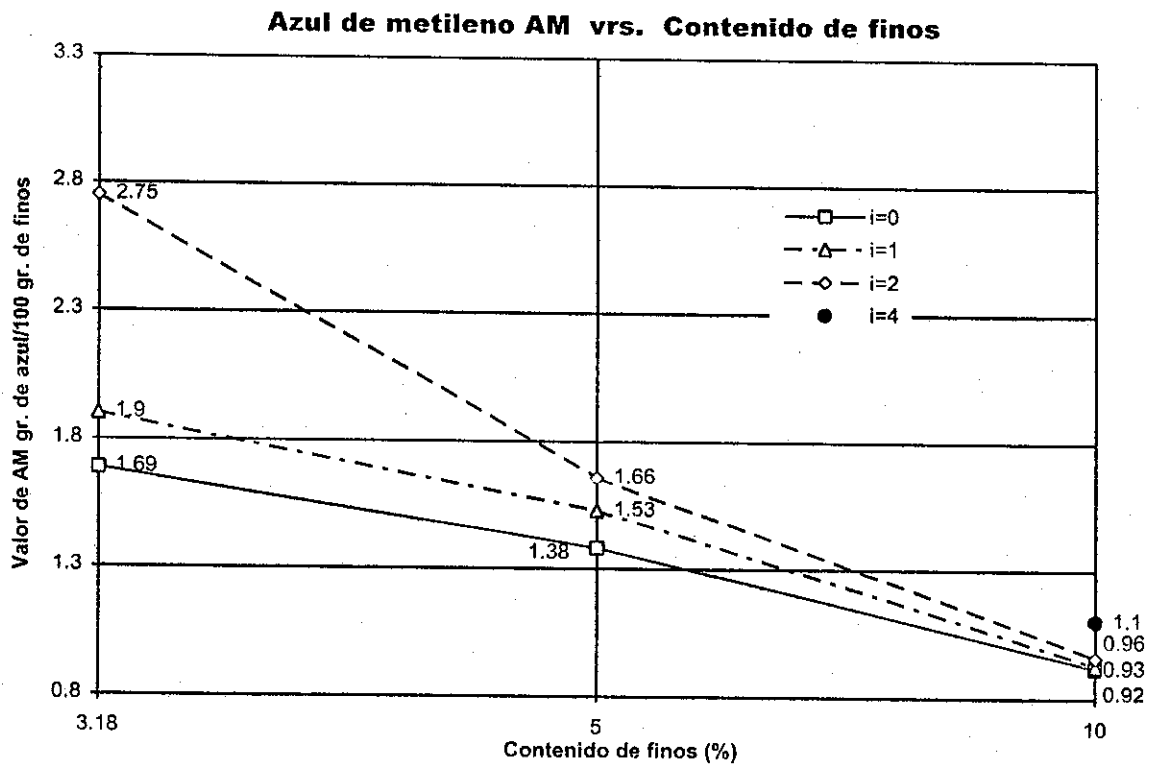


Gráfico No.29

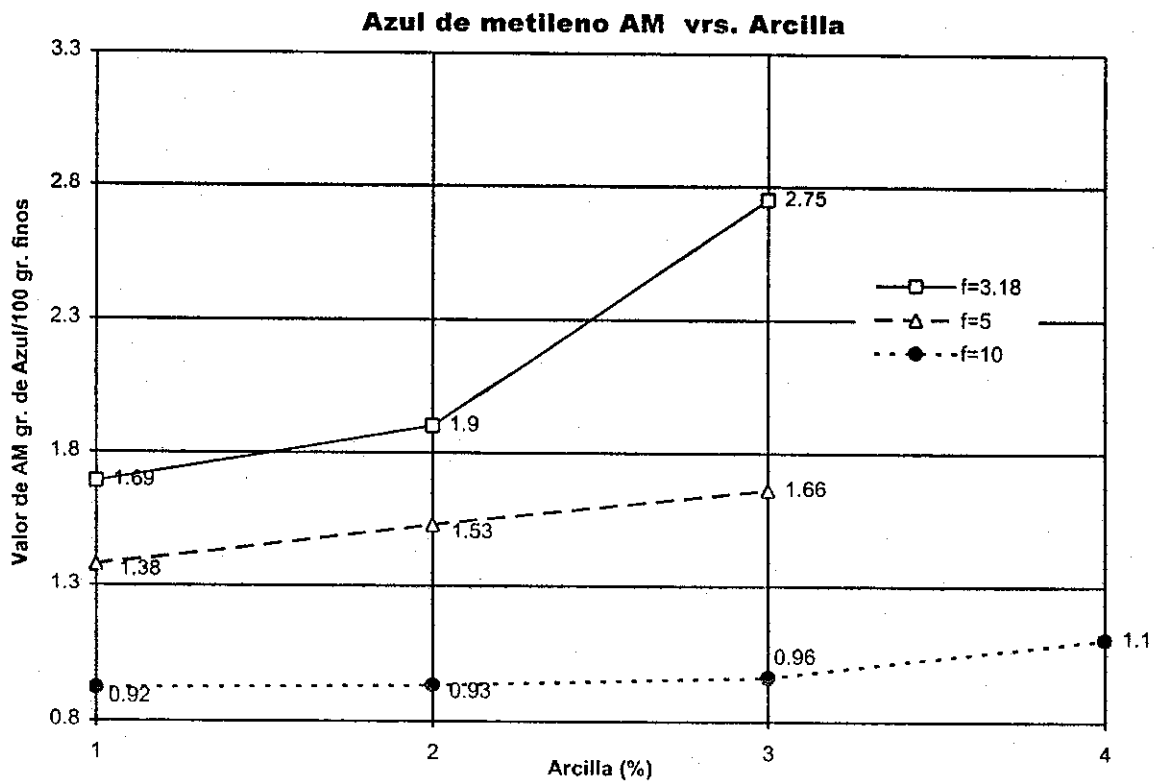


Gráfico No.30

### Azul de metileno AM\* vrs. Contenido de finos

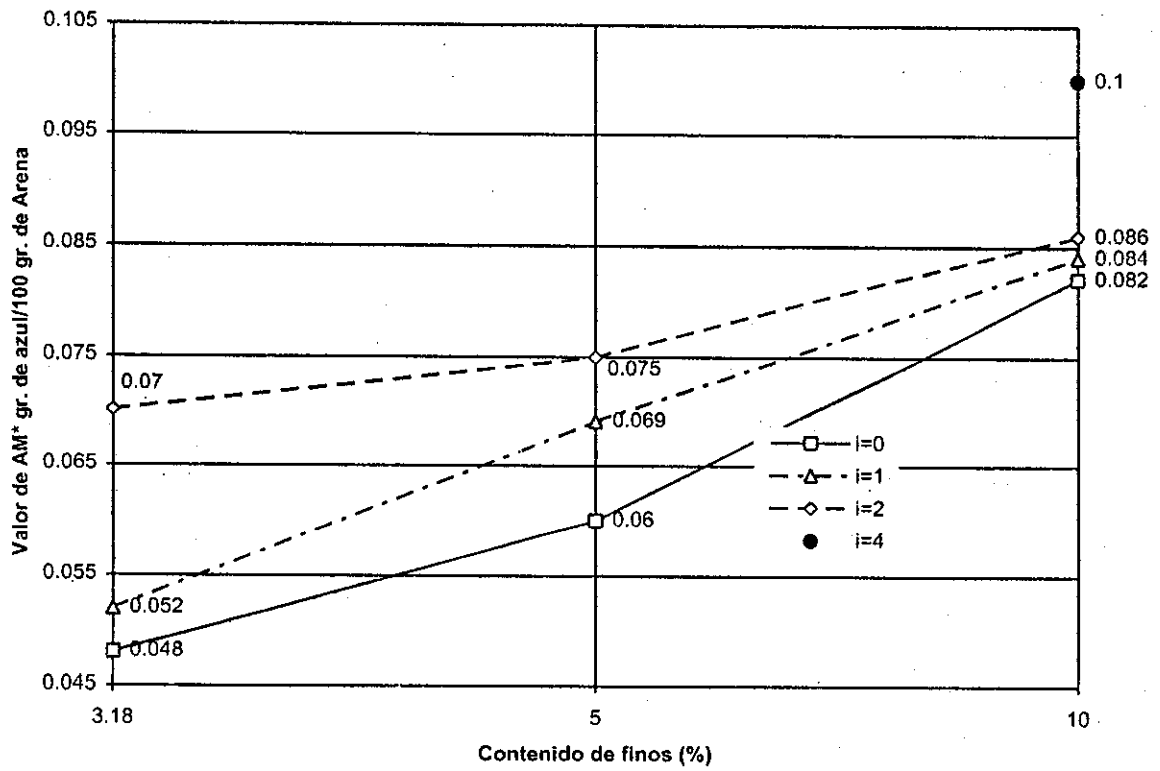


Gráfico No.31

### Azul de metileno AM\* vrs. Arcilla

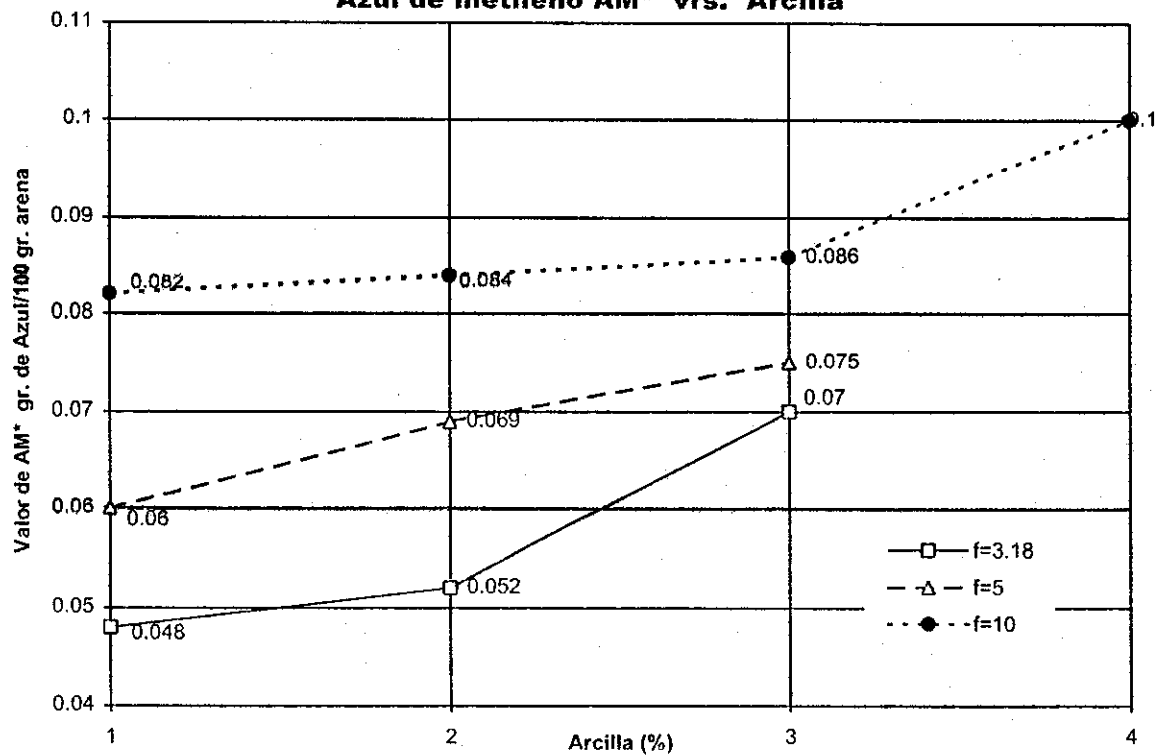


Gráfico No.32

### 5.1.11 Gráficos de mortero con arena caliza

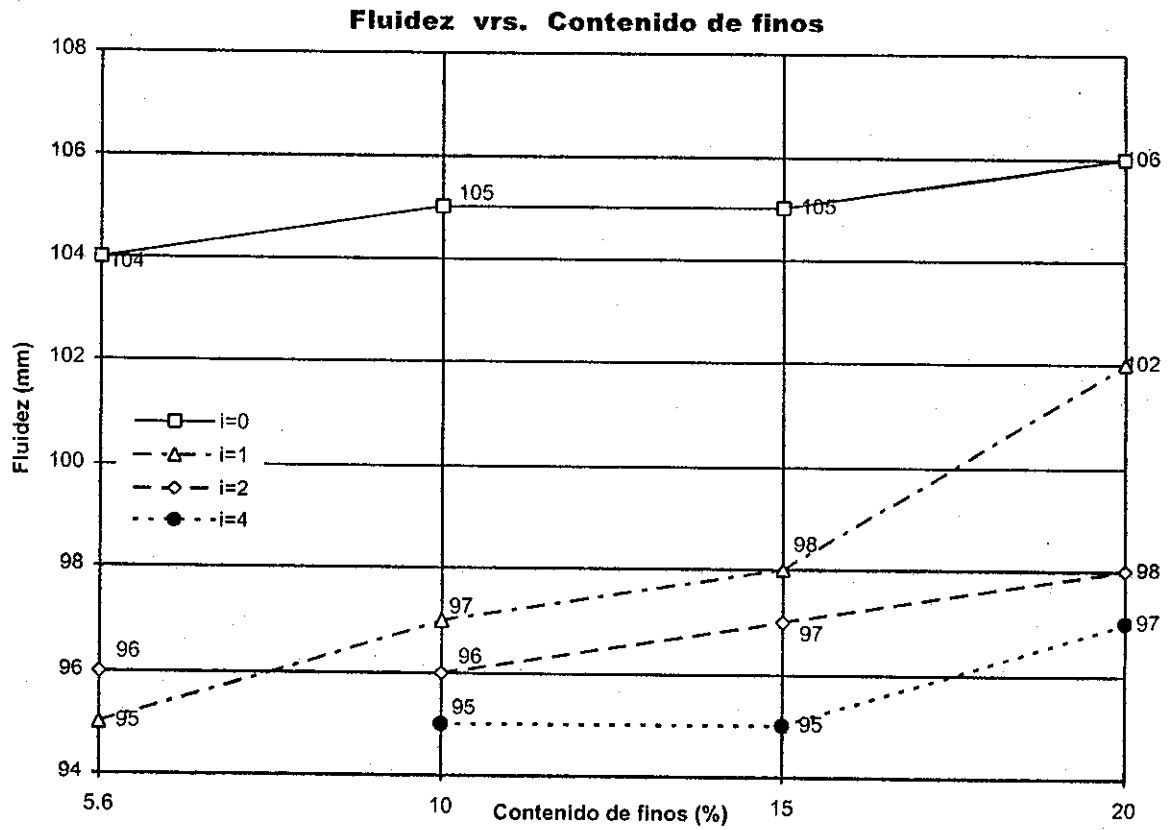


Gráfico No.33

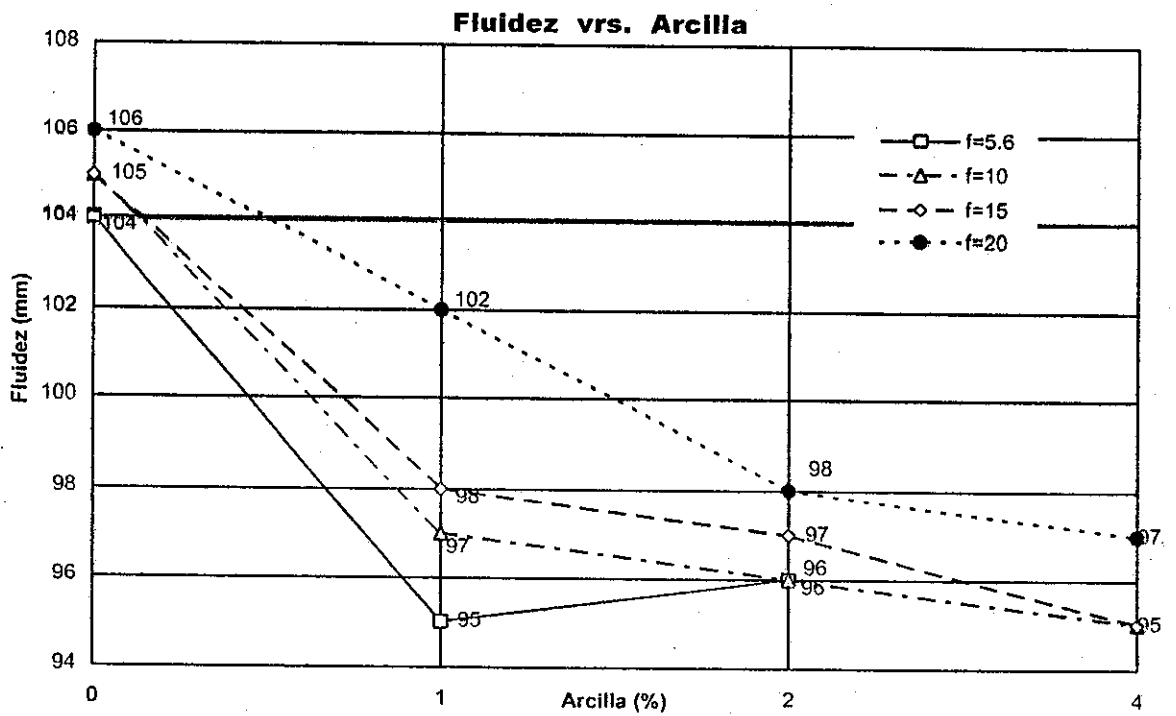


Gráfico No.34

**Porcentaje de Agua vs. Contenido de finos**

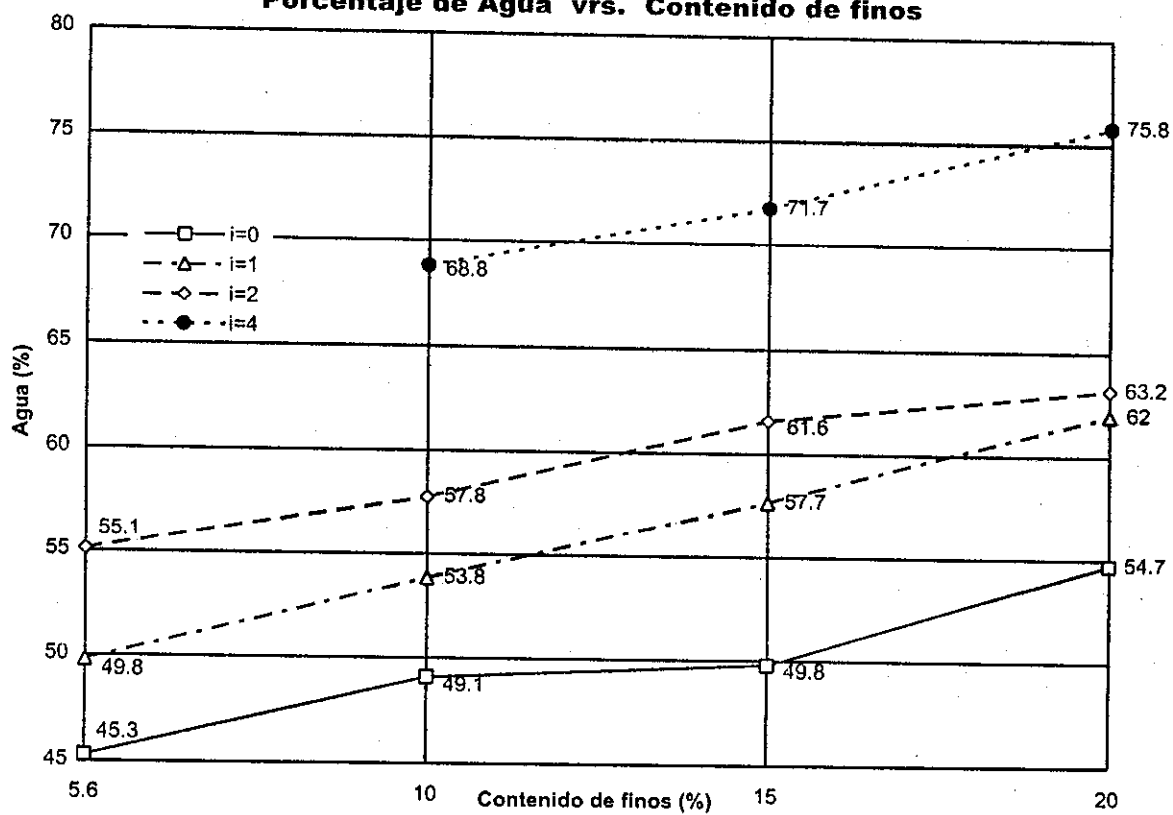


Gráfico No.35

**Porcentaje de Agua vs. Arcilla**

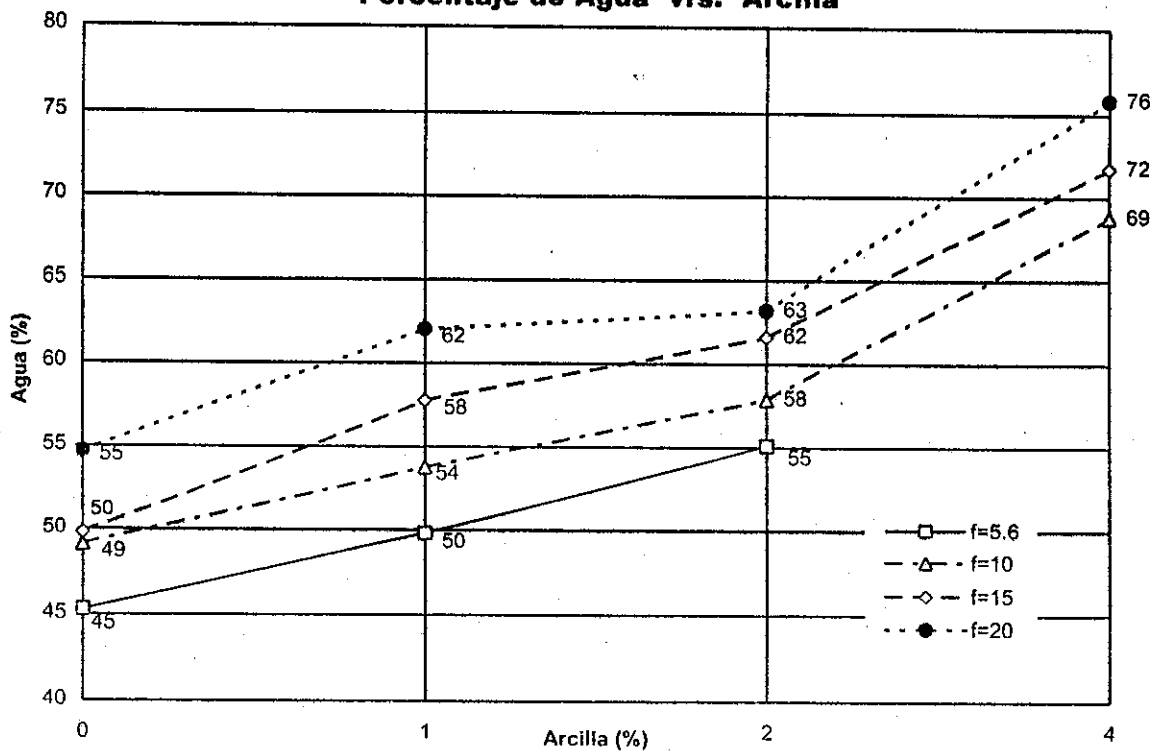


Gráfico No.36

### Resistencia a compresión 3 días vs. Contenido de finos

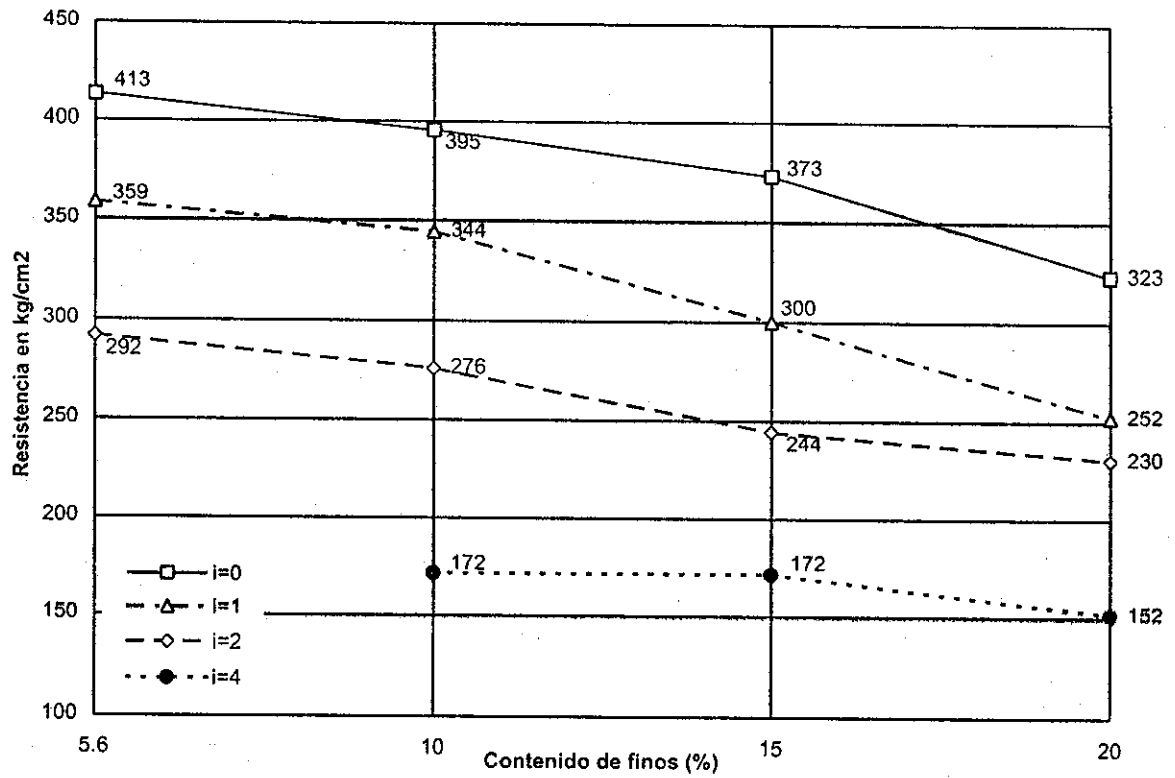


Gráfico No.37

### Resistencia a compresión 3 días vs. Arcilla

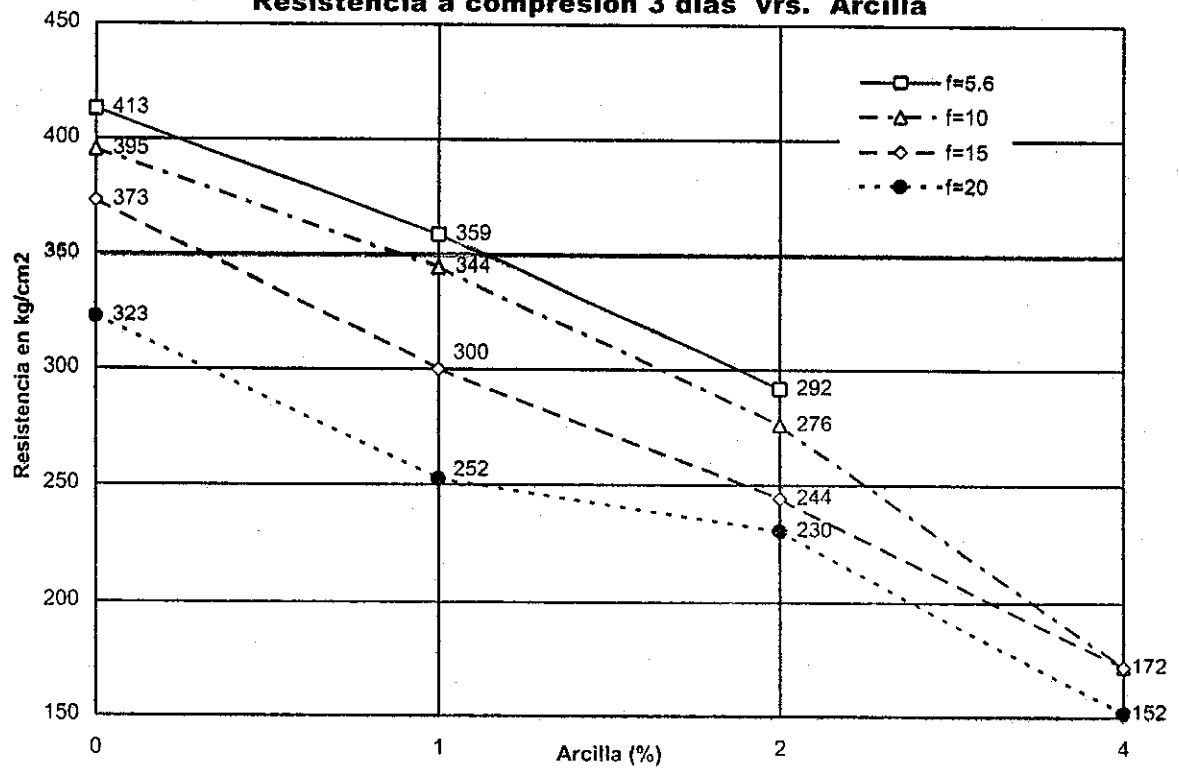


Gráfico No.38

### Resistencia a compresión 7 días vrs. Contenido de finos

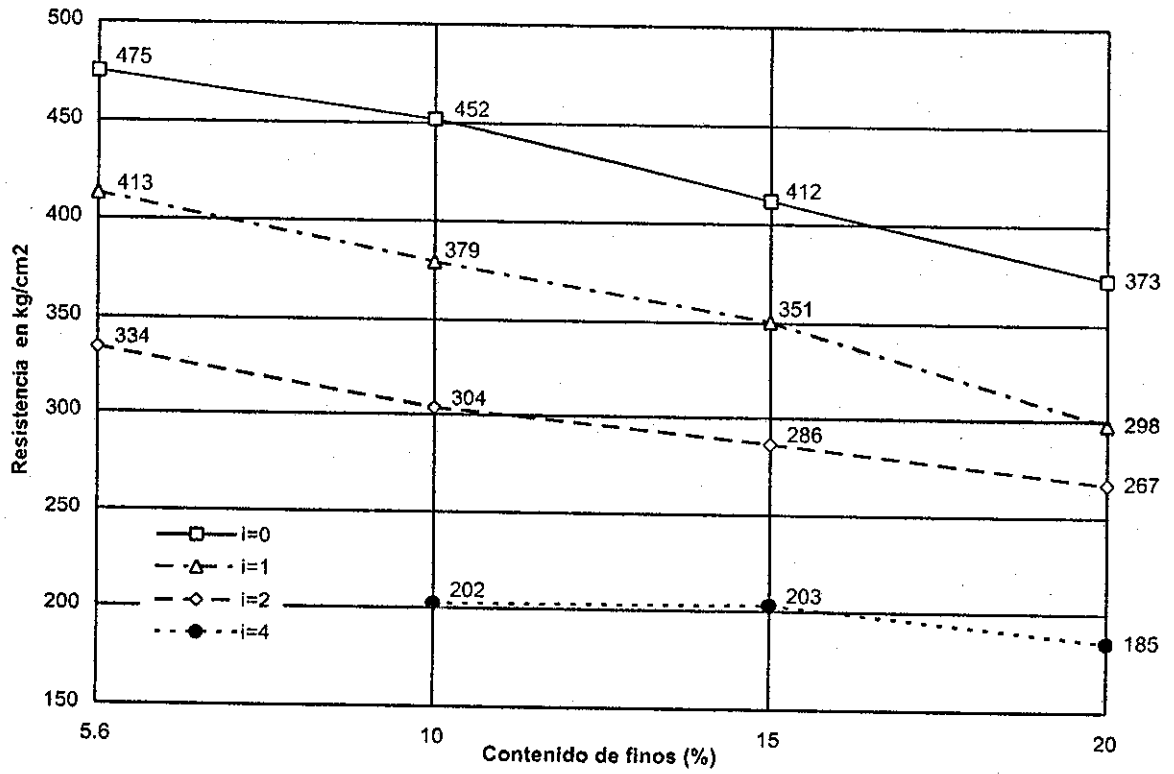


Gráfico No.39

### Resistencia a compresión 7 días vrs. Arcilla

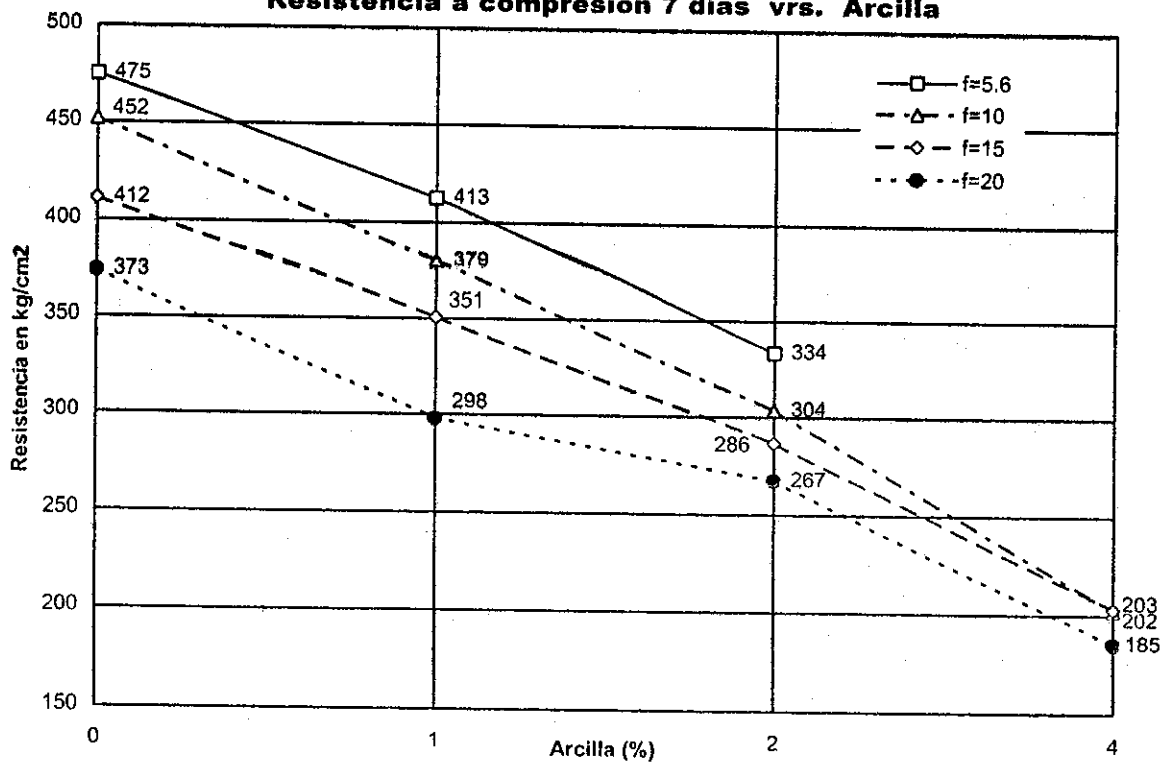


Gráfico No.40

### Resistencia a compresión 28 días vrs Contenido de finos

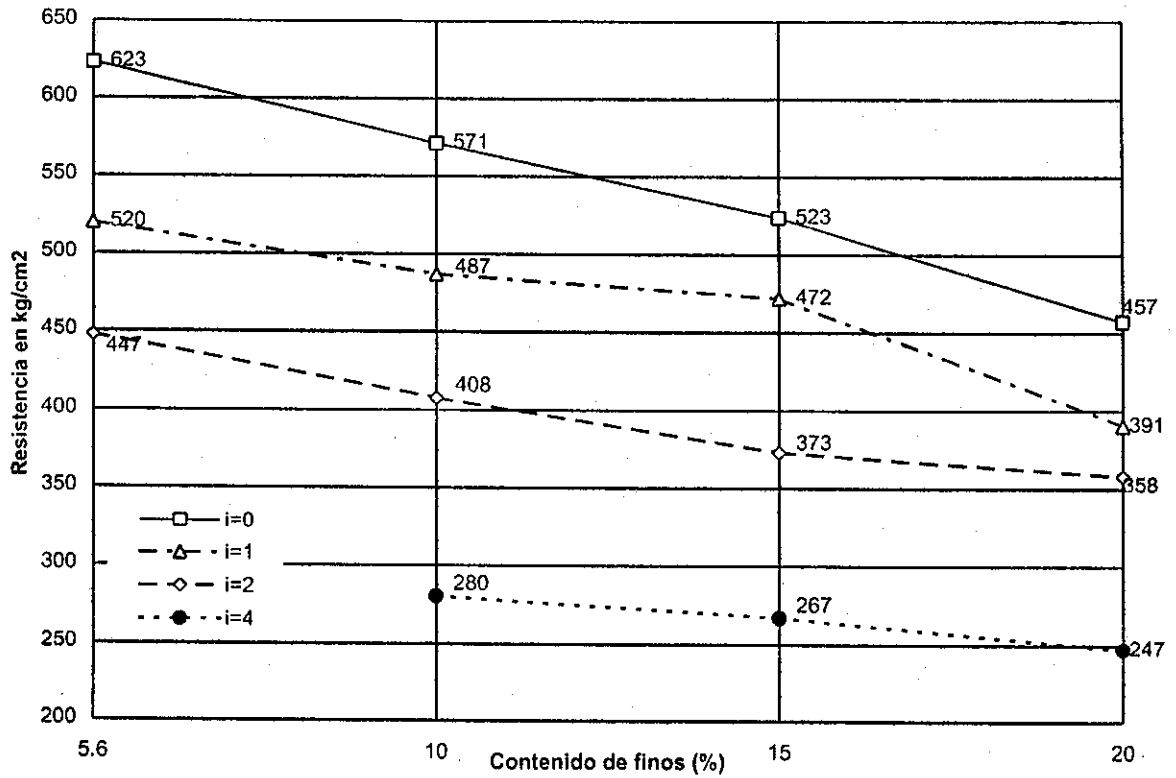


Gráfico No.41

### Resistencia a compresión 28 días vrs. Arcilla

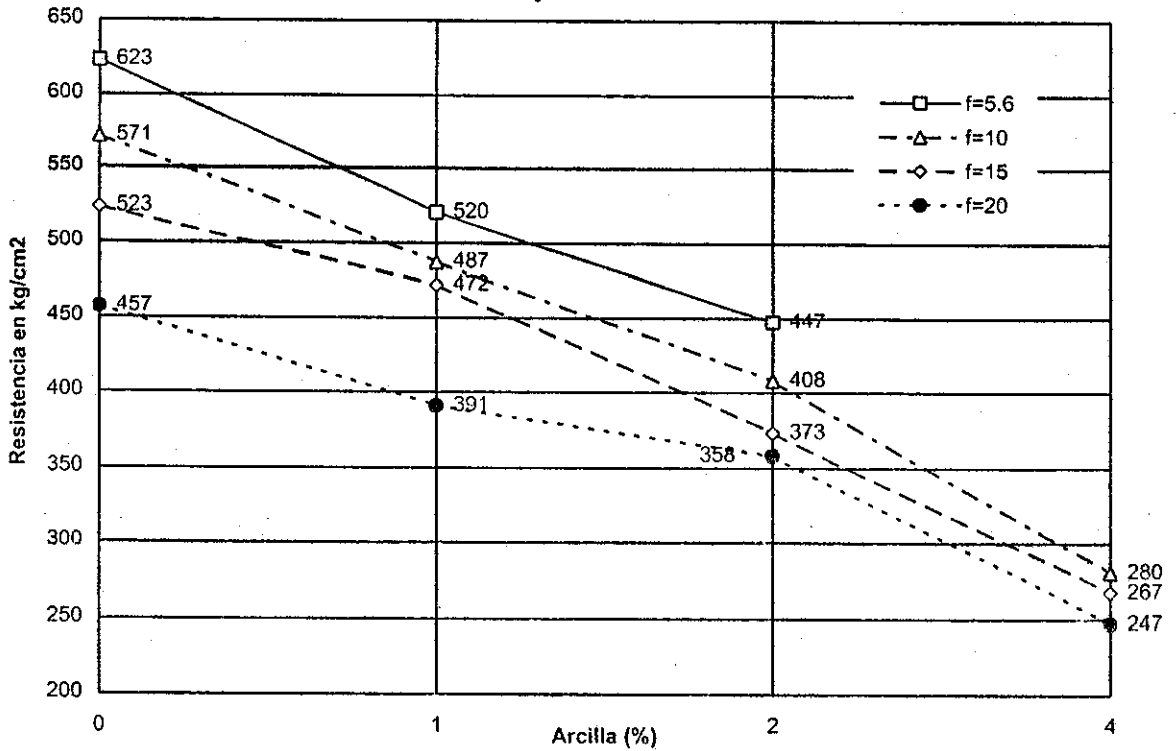


Gráfico No.42



### 5.1.12 Gráficos de mortero con arena andesítica

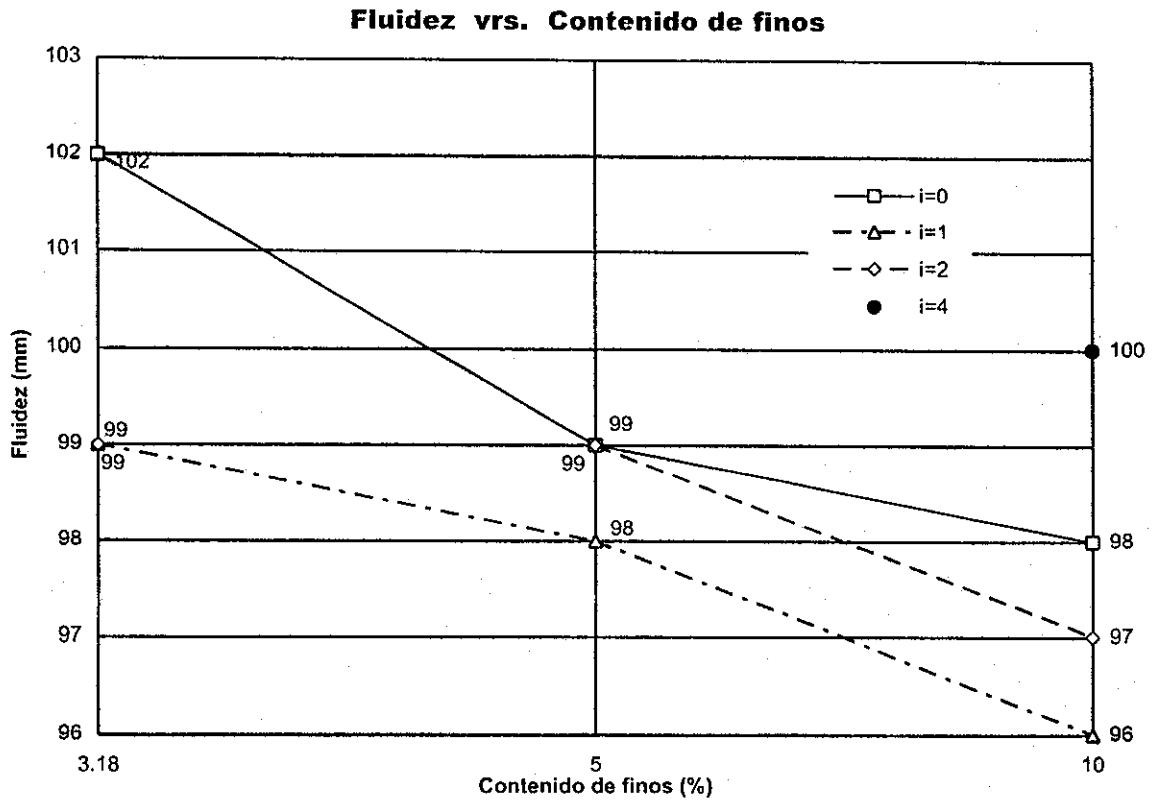


Gráfico No.43

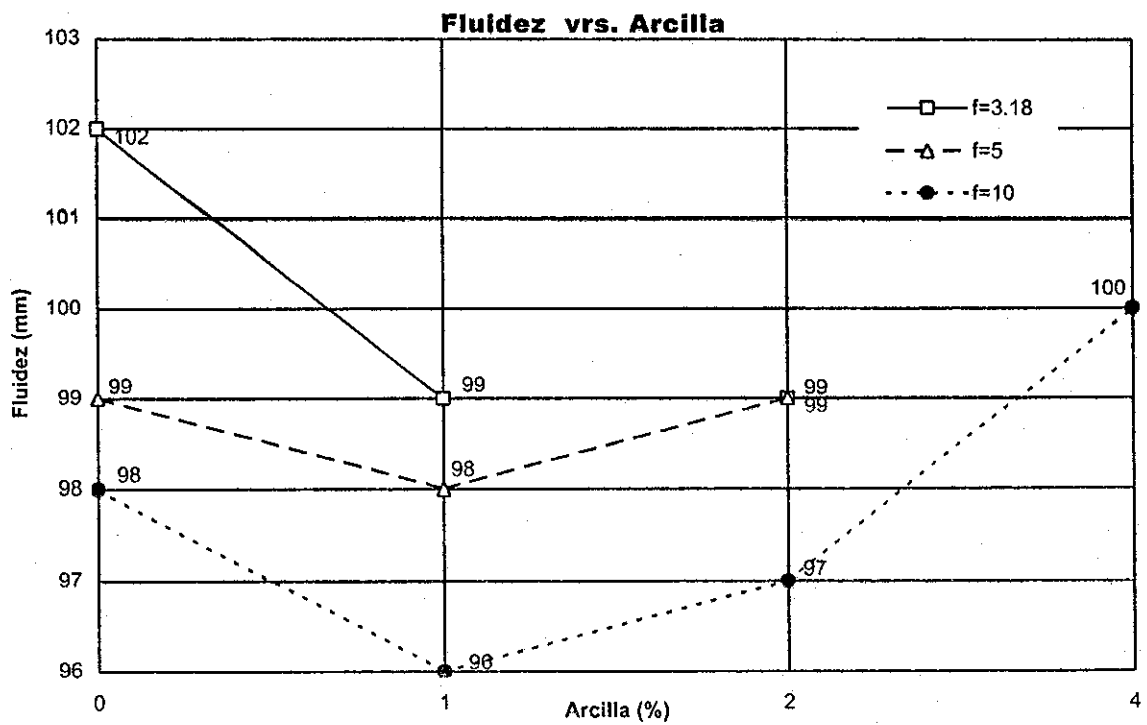


Gráfico No.44

**Porcentaje de agua vs. Contenido de finos**

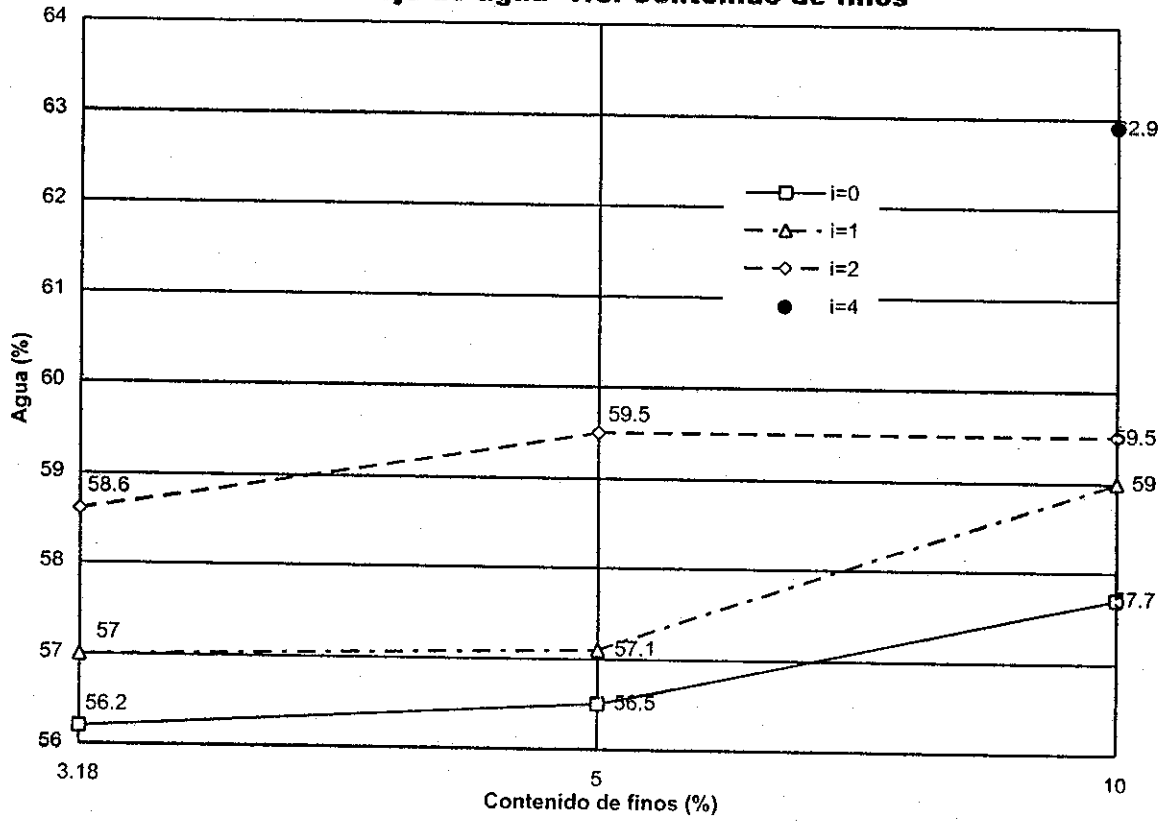


Gráfico No.45

**Porcentaje de Agua vs. Arcilla**

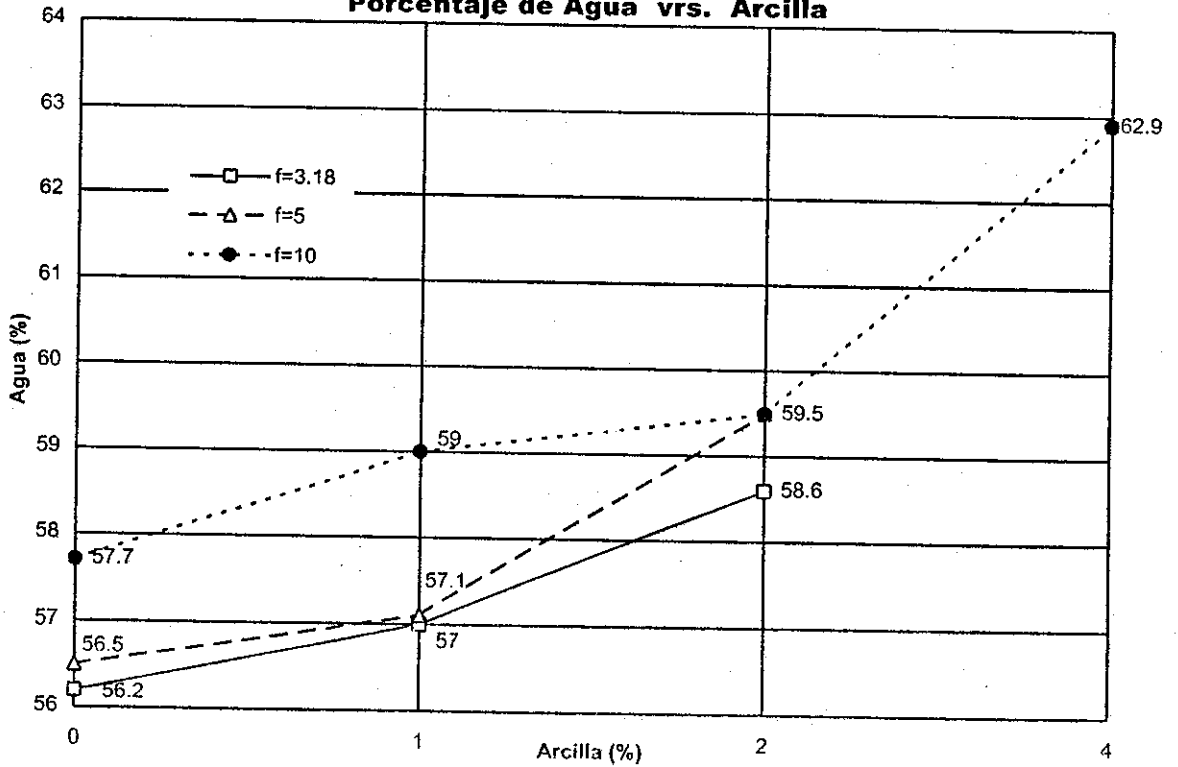


Gráfico No.46

### Resistencia a compresión 3 días vrs Contenido de finos

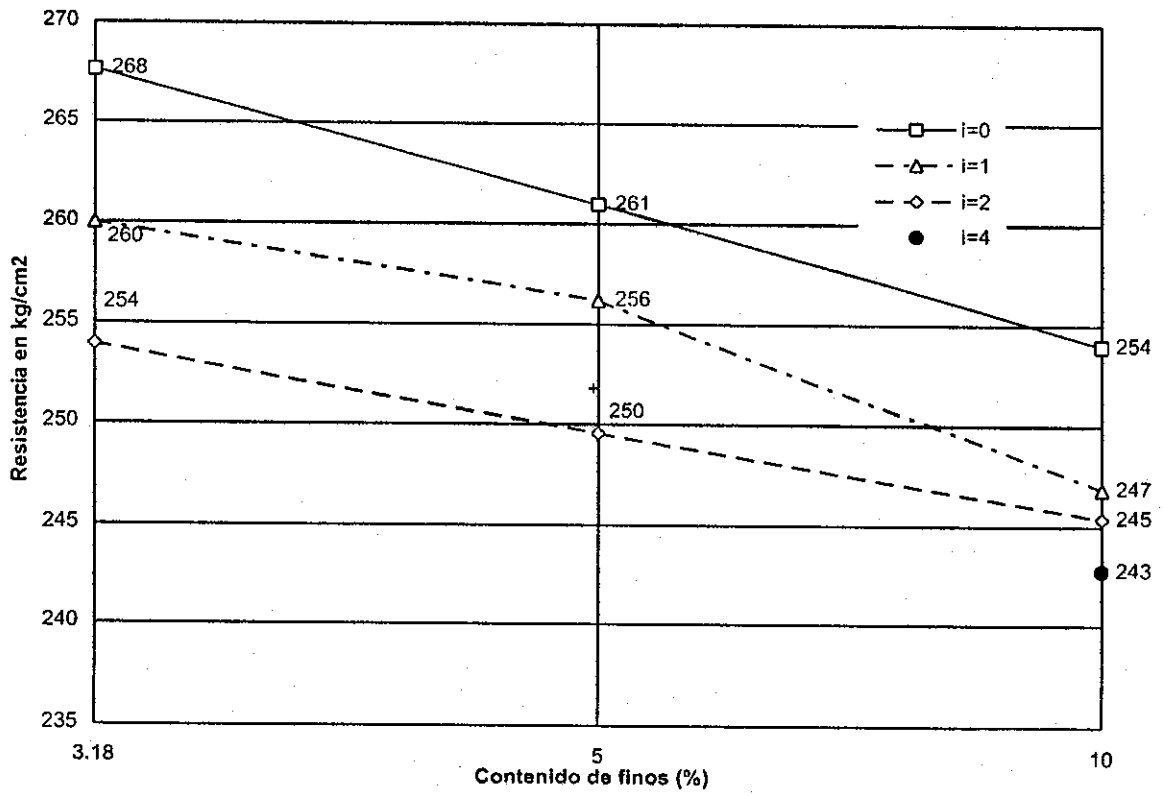


Gráfico No.47

### Resistencia a compresión a 3 días vrs. Arcilla

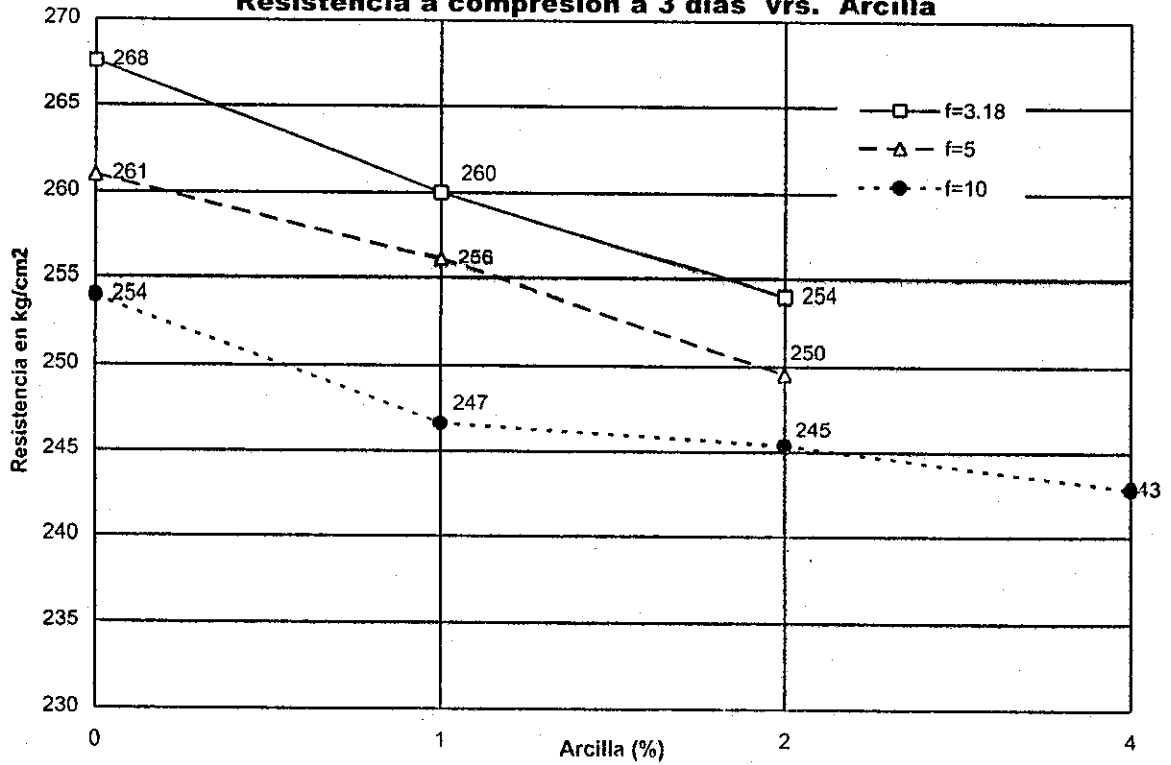


Gráfico No.48

### Resistencia a compresión 7 días vs. Contenido de finos

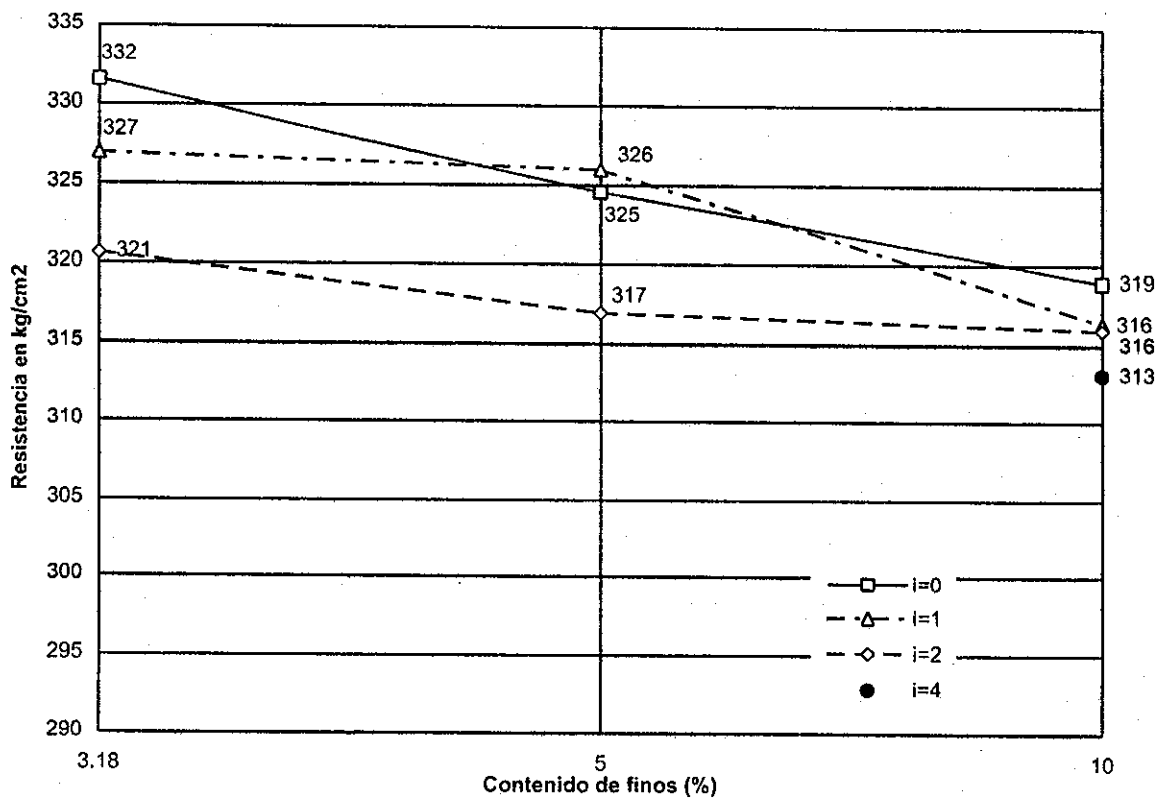


Gráfico No.49

### Resistencia a compresión 7 días vs. Arcilla

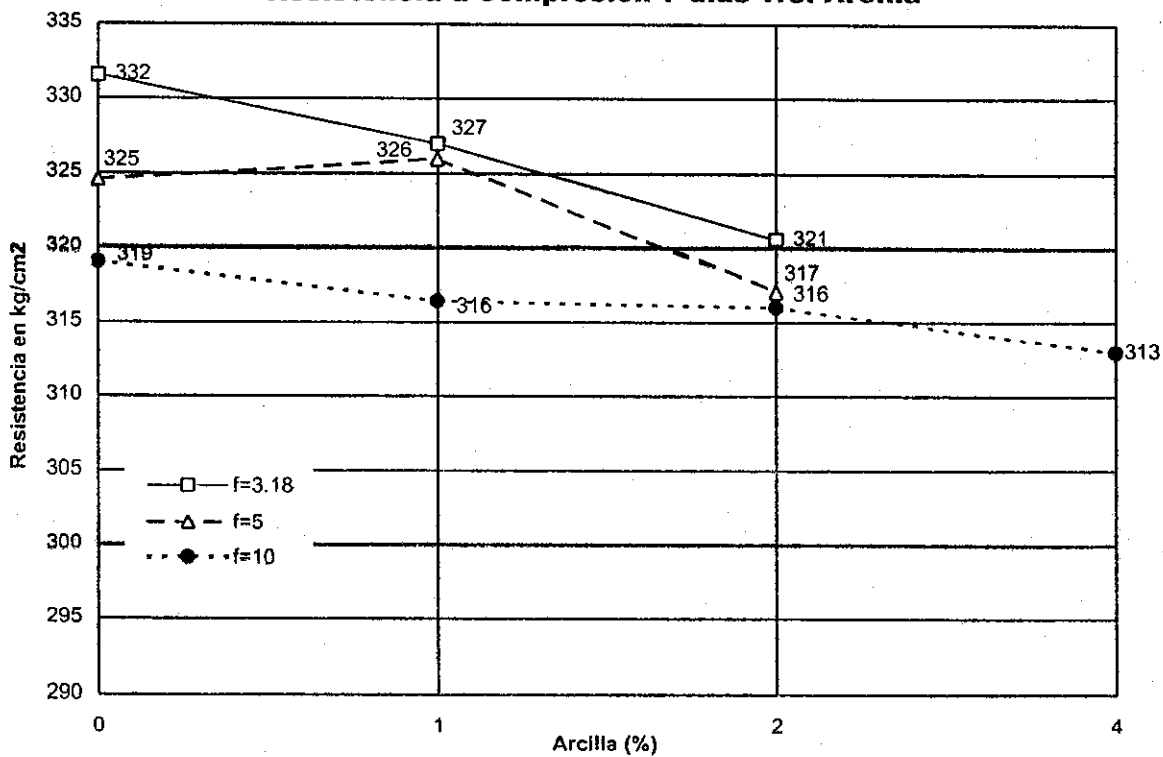


Gráfico No.50

### Resistencia a compresión 28 días vs. Contenido de finos

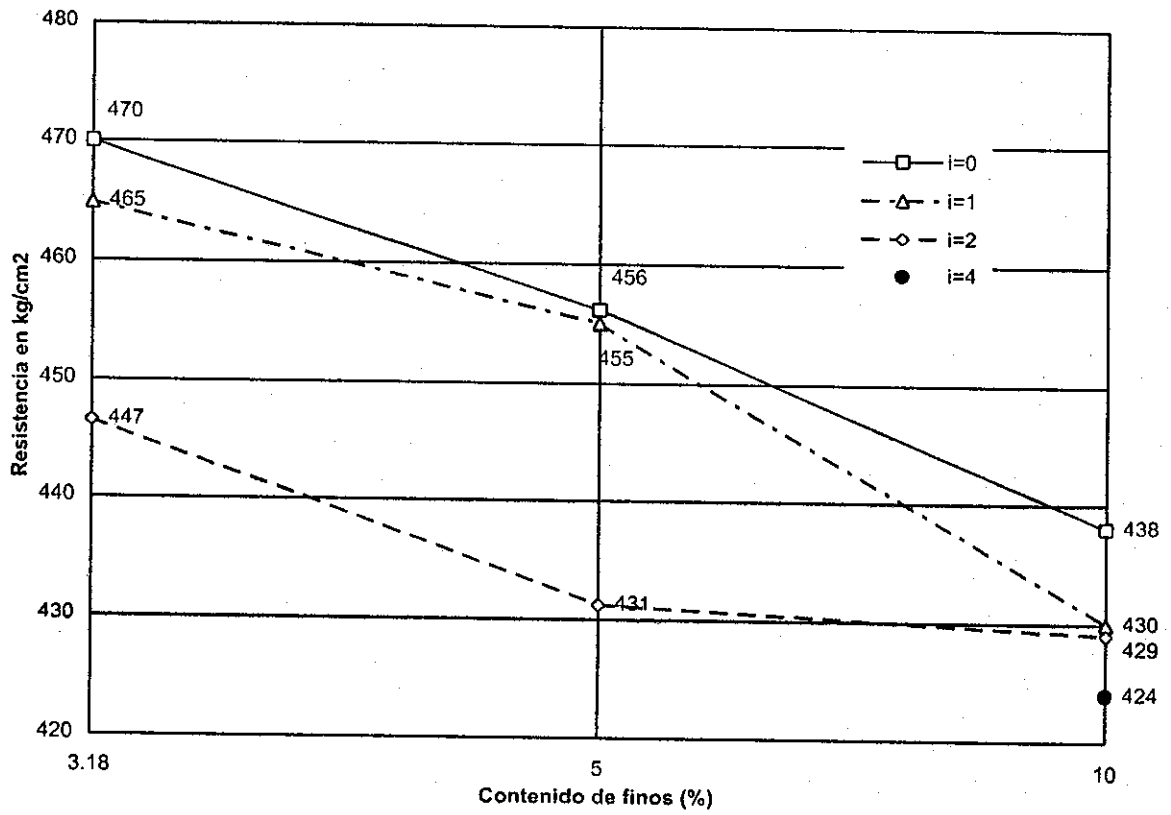


Gráfico No.51

### Resistencia a compresión 28 días vs Arcilla

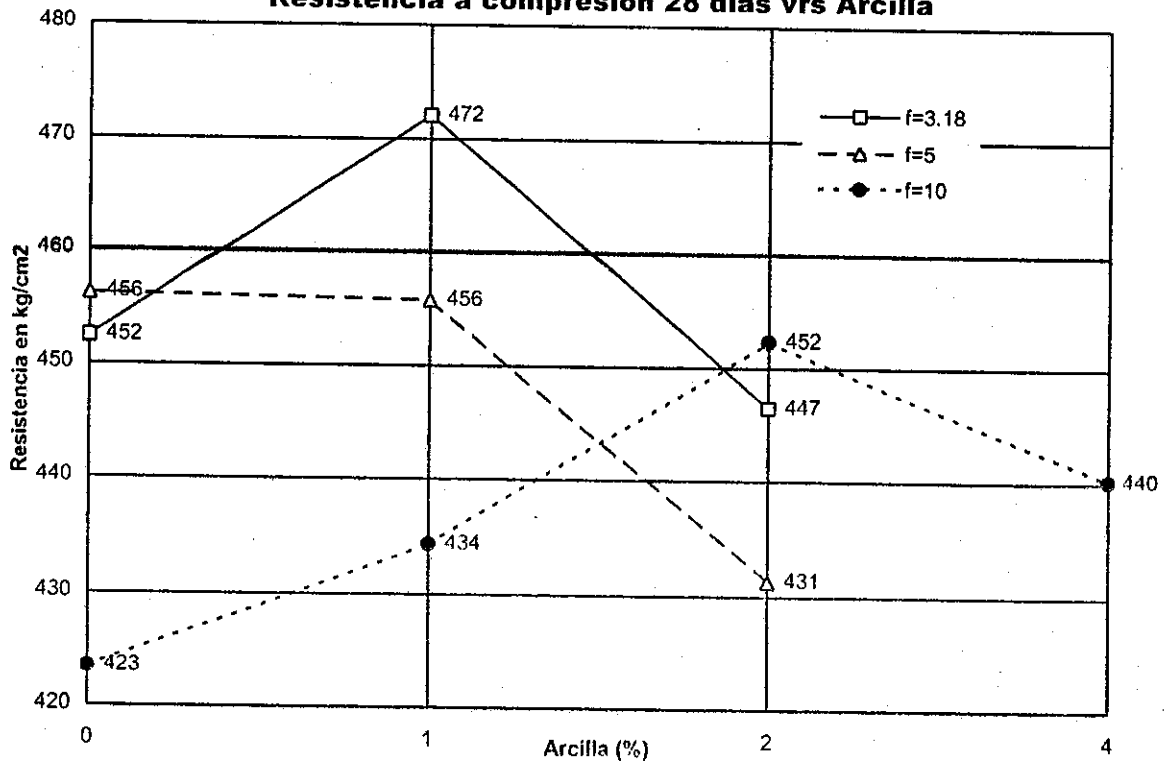


Gráfico No.52

### 5.1.13 Análisis de resultados por regresión lineal

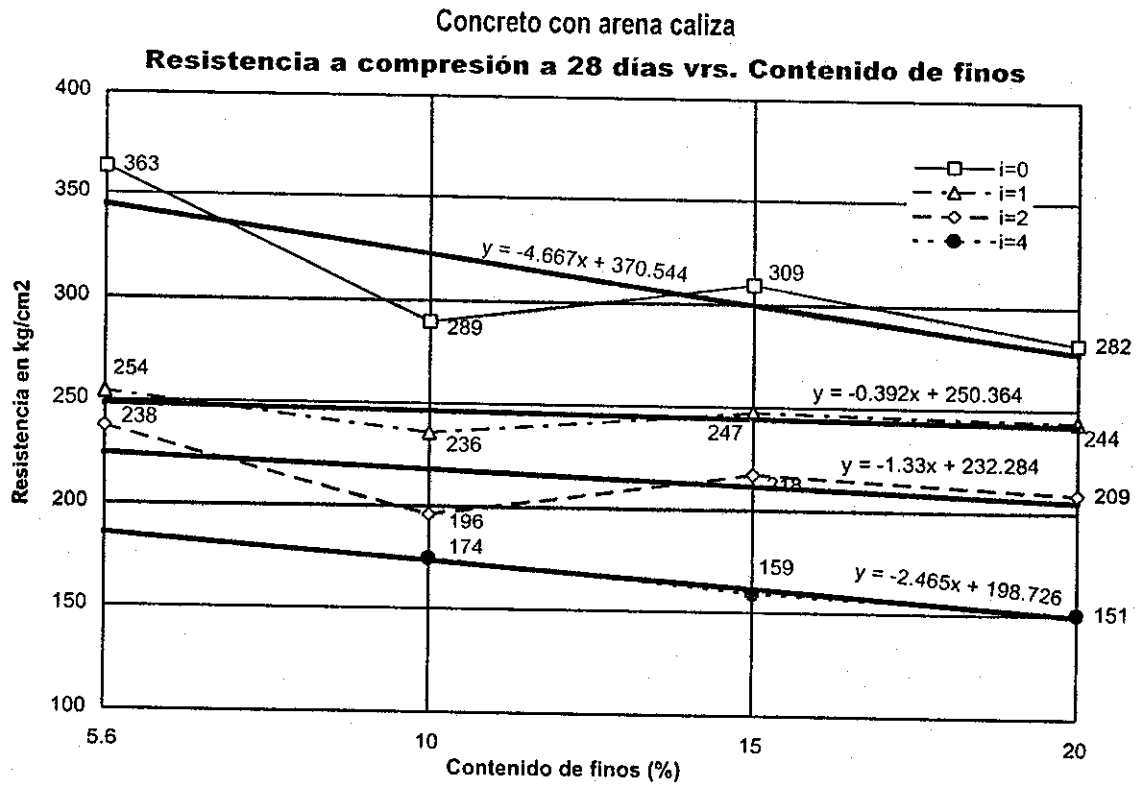


Gráfico No.53

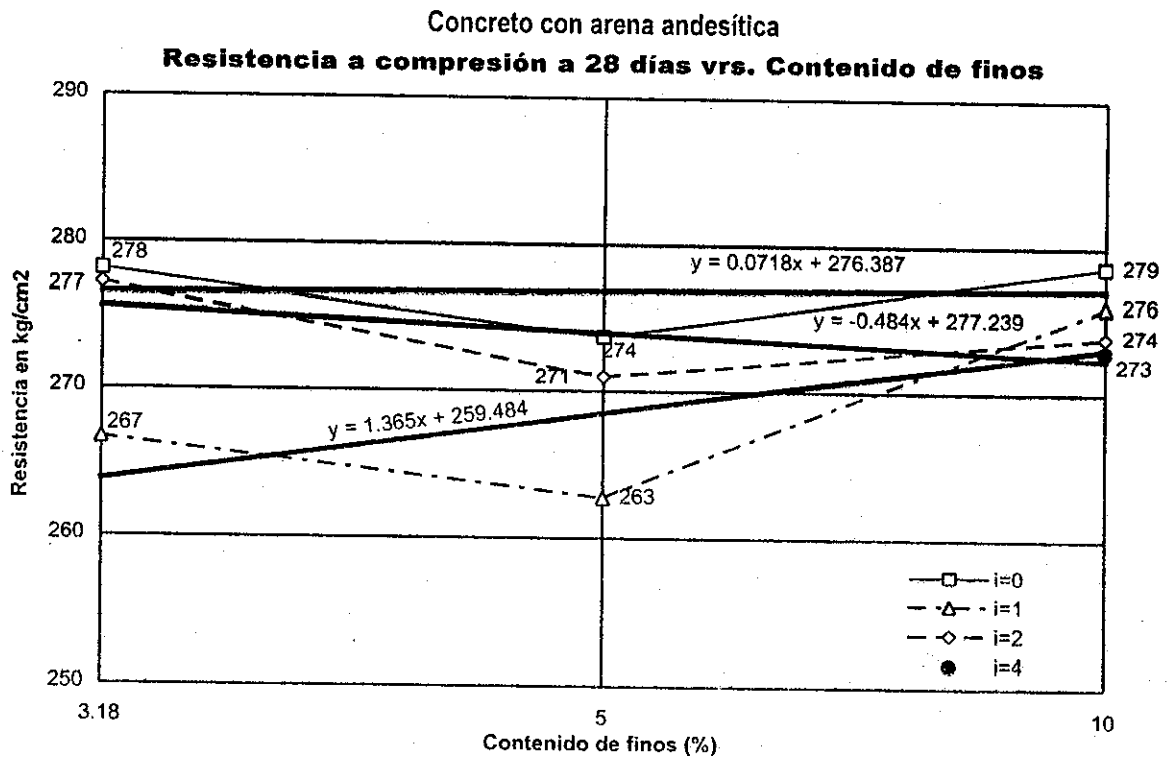


Gráfico No.54

**Mortero con arena caliza**  
**Resistencia a compresión a 28 días vrs Contenido de finos**

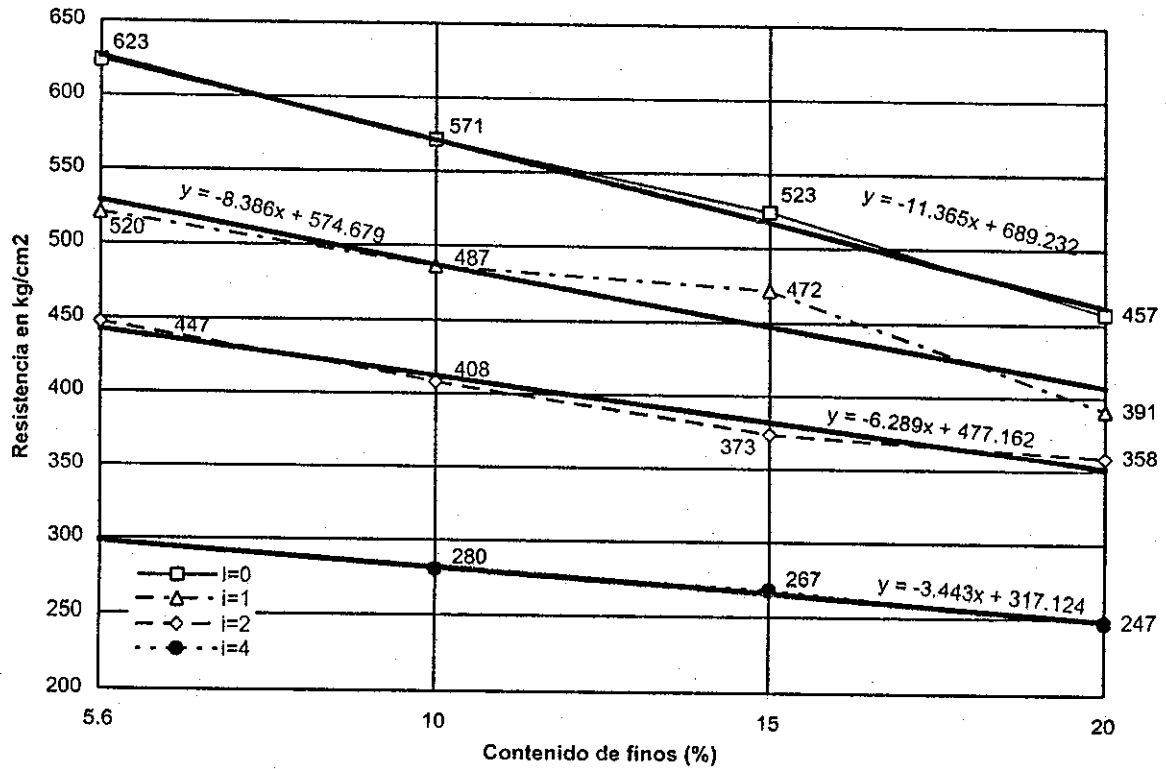


Gráfico No.55

**Mortero con arena andesítica**  
**Resistencia a compresión a 28 días vrs. Contenido de finos**

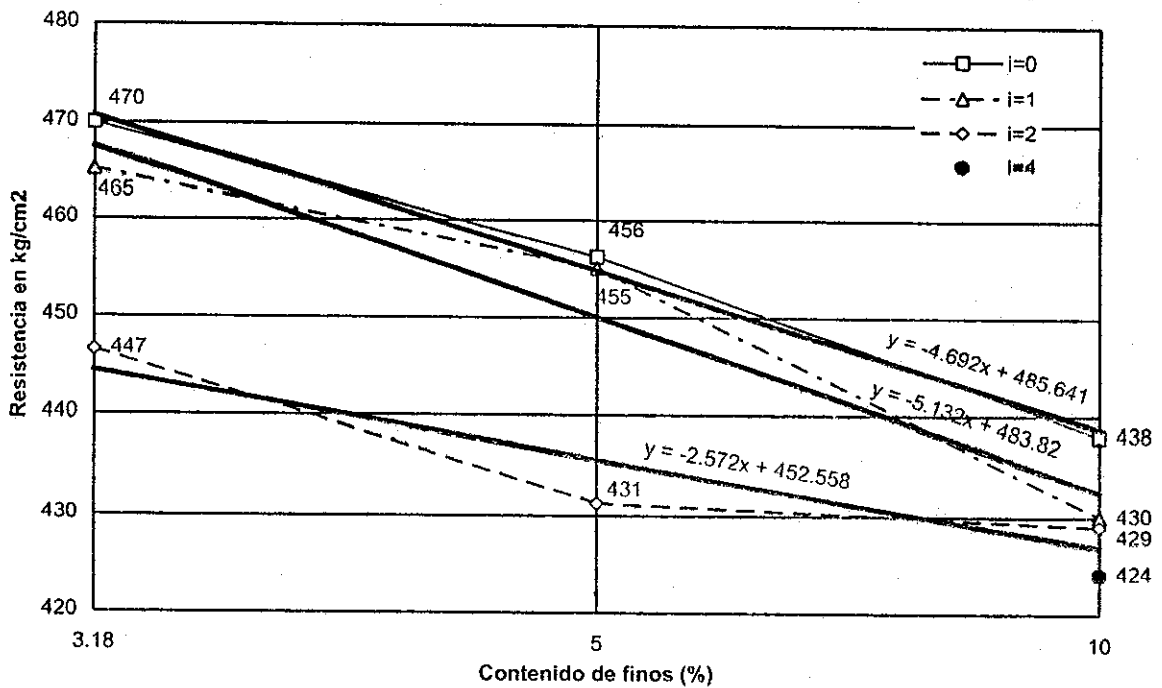


Gráfico No.56

**Dosificación en arena caliza**  
**Azul de metileno AM\* vrs Contenido de finos**

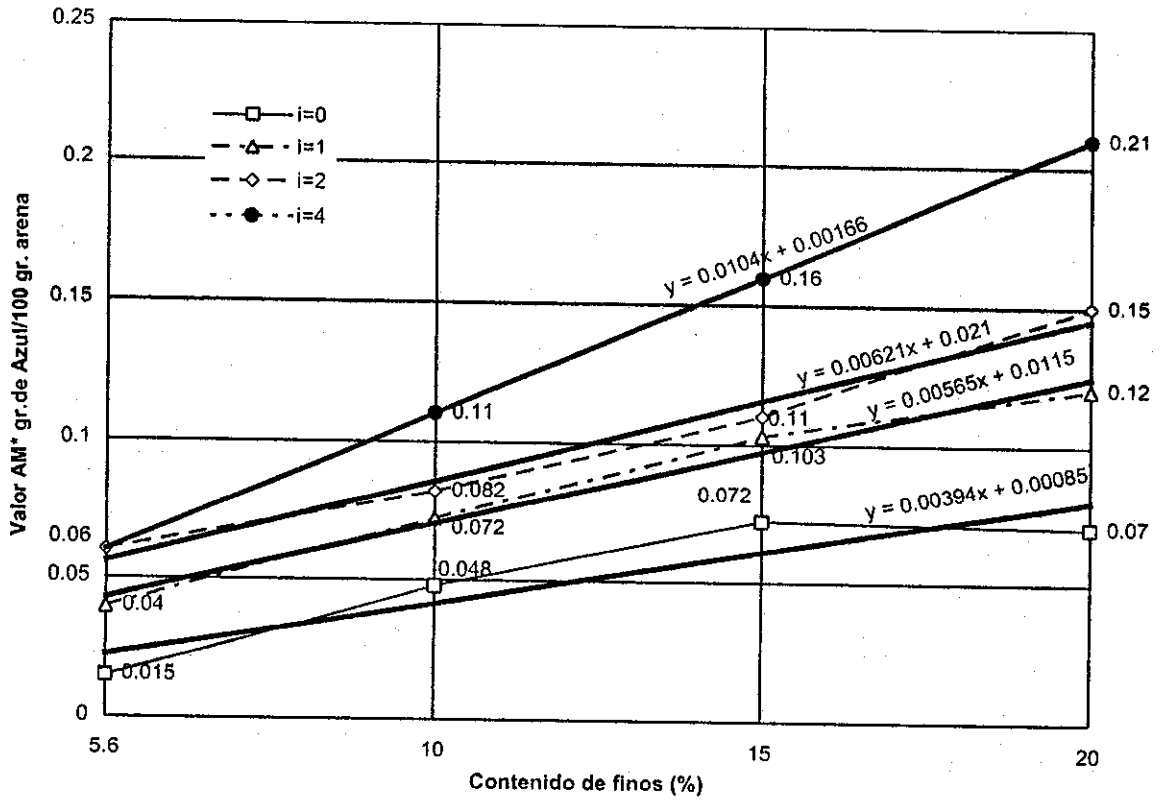


Gráfico No.57

**Dosificación en arena andesítica**  
**Azul de metileno AM\* vrs. Contenido de finos**

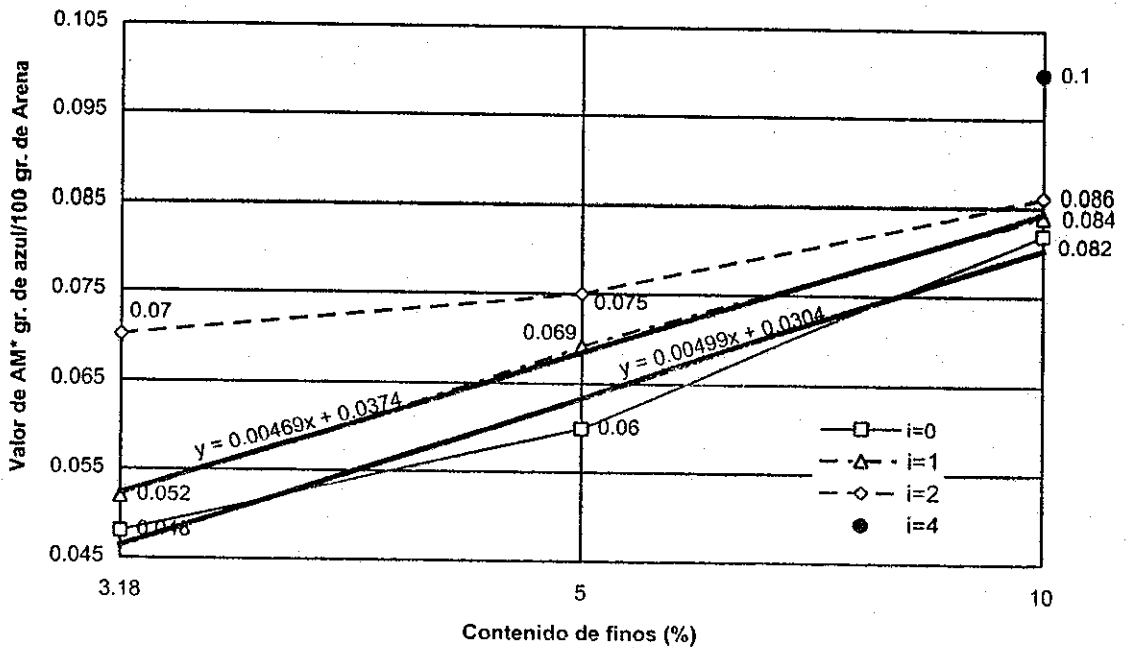


Gráfico No.58



Adicionalmente al análisis de regresión lineal, en los ensayos de resistencia a la compresión y de los ensayos del azul de metileno en función de 100 gramos de arena, fue necesario realizar un gráfico que representara las variaciones combinadas de dichos ensayos.

Este tipo de gráfico identificará las tendencias y efectos por causa del incremento de finos arcillosos y finos de trituración, que pasan en el tamiz No. 200.

Después de analizar detenidamente las tablas de resultados 15 y 16, como también los gráficos de regresión lineal, se procedió a representar de forma cuantitativa y cualitativa los límites posibles para el contenido de finos y arcillas en las arenas de trituración, expresados en los gráficos Nos. 59 al 62, denominados como combinación de regresión lineal.

El proceso para elaborar este tipo de gráfico, se realizó de la siguiente manera:

- 1) Se tomó como base únicamente los gráficos de regresión lineal de resistencia a compresión a 28 días vrs. contenido de finos, tanto de los concretos como para los morteros, gráficos Nos. 53 al 56.
- 2) De las tablas de resultados Nos. 15 y 16, como también de las regresiones lineales de los ensayos del azul de metileno, por 100 gramos de arena vrs. contenido de finos, gráficos Nos. 57 y 58, se realizaron las evaluaciones de los valores de azul para los diferentes contenidos de finos y arcillas, luego se incorporaron al gráfico, únicamente las tendencias obtenidas de la regresión lineal.
- 3) Una vez formado el gráfico denominado combinación de las regresiones lineales se realizó una interpretación en función de la resistencia diseñada en las dosificaciones (1): con arena caliza y  $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$  (2): con arena andesítica y  $f_c = 270 \text{ kg/cm}^2$ , para concreto y en los morteros las dosificaciones (3): con arena caliza y  $f_c = 550 \text{ kg/cm}^2$  y (4): con arena andesítica y  $f_c = 420 \text{ kg/cm}^2$ .
- 4) Con el análisis realizado en función de las resistencias requeridas, se establecieron los posibles límites, para luego crear una propuesta que fuera compatible con las normas europeas.

### 5.1.14 Combinación de las regresiones lineales

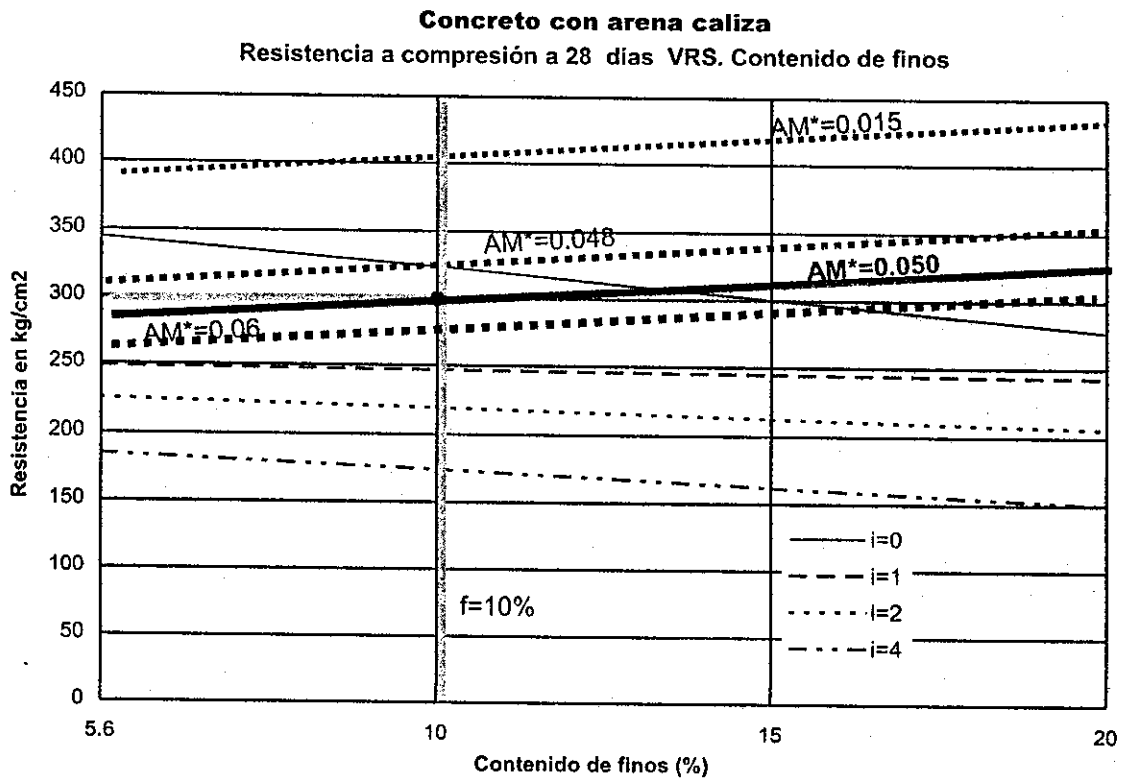


Gráfico No. 59

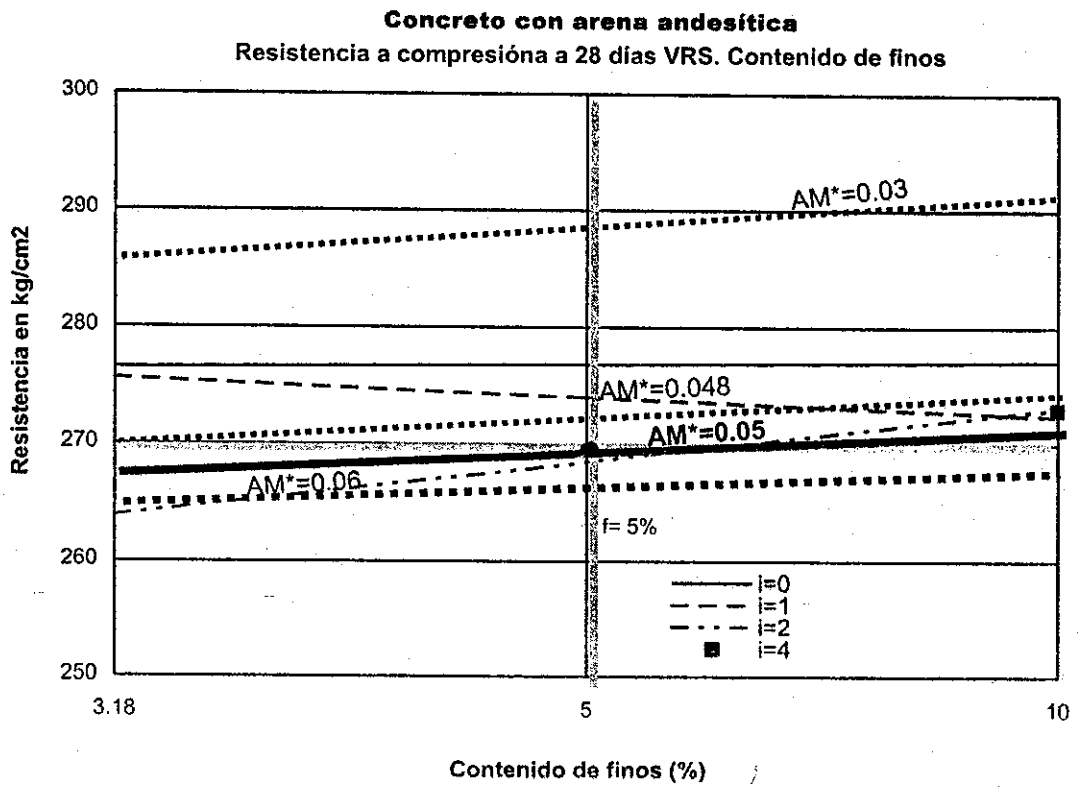


Gráfico No. 60

**Mortero con arena caliza**  
Resistencia a compresión a 28 días VRS. Contenido de finos

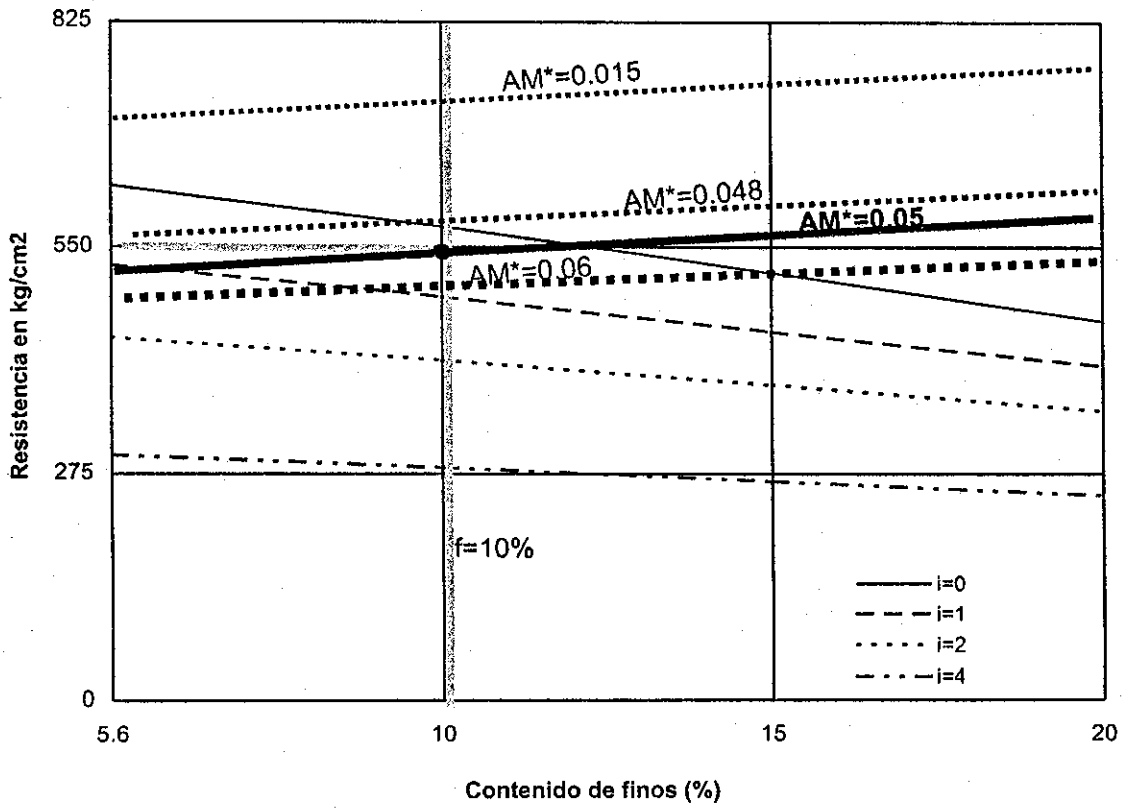


Gráfico No.61

**Mortero con arena andesítica**  
Resistencia a compresión a 28 días VRS. Contenido de finos

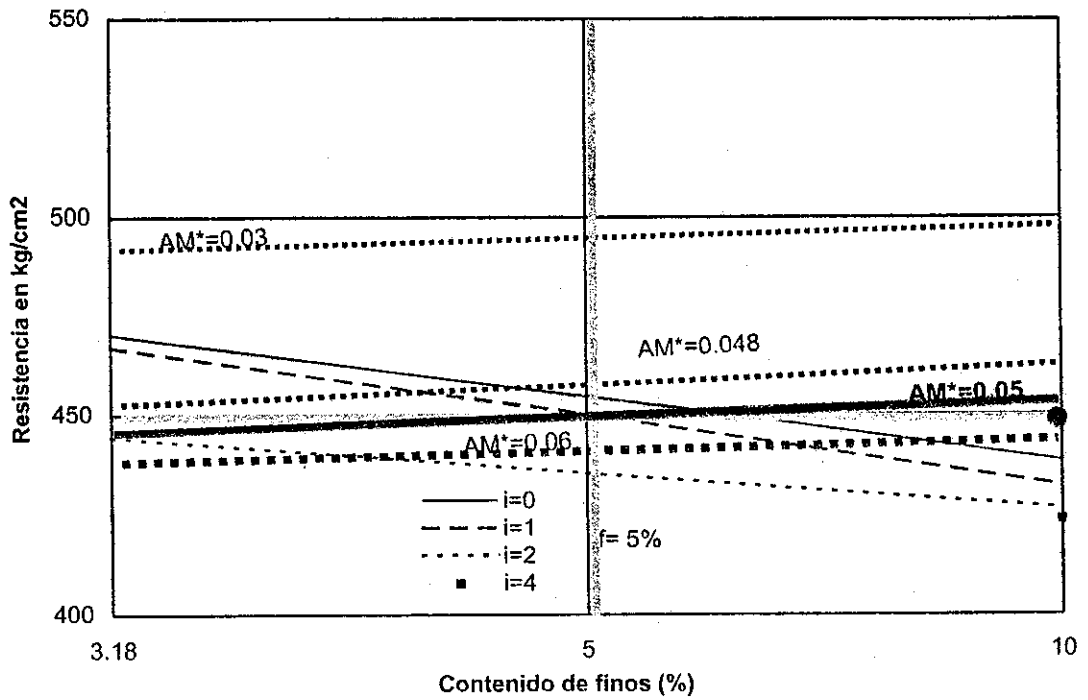


Gráfico No.62

Después de analizar detenidamente los gráficos anteriores; es posible realizar una valoración global en función de las expresiones y resultados de los gráficos de regresión lineal, teniendo como único fin, proporcionar límites máximos aceptables de materiales finos en las arenas trituradas para concreto y mortero. Luego se realizará una comparación contra los límites de las normas ASTM C-33 y AENOR UNE 7.050.

### Relación entre resistencia a compresión y azul de metileno

<i>Ensayo</i> <i>Si aumenta</i>	<i>Resistencia a compresión</i>	<i>A.M.</i>	<i>A.M.*</i>
Contenido de finos f (%)	Baja	Baja rápidamente	Sube
Contenido de arcilla en arena i (%)	Baja rápidamente	Sube rápidamente	Sube rápidamente
	(1)	(2)	(3)

AM= Valor de azul de metileno (gr de azul / 100 gr de finos)  
 AM\*= Valor de azul de metileno (gr de azul / 100 gr de arena)  
 (1) - (3): Relación inversa  
 (1) - (2): No existe relación

Tabla No. 19

### Propuesta para límites máximos de material fino que pasa tamiz No.200 en arenas trituradas de caliza

Tipo de ensayo	Cantidad máxima en % del peso total de la muestra	
	Obras ordinarias	Obras en ambientes más rigurosos sujetas a abrasión
<i>Material fino que pasa tamiz No. 200</i>	$\leq 10$	$\leq 8$
<i>AM*= Valor de azul de metileno en gramos de azul por 100gr de arena P 18-592 AFNOR y AENOR UNE 83-131-90</i>	$\leq 0.05$	$\leq 0.03$

Tabla No. 20

**Comparación de los límites máximos de material fino que pasa tamiz No. 200 en arenas trituradas para concreto con las normas internacionales**

Norma	ASTM C-33	Propuesta Del estudio	AENOR UNE 7.050
Obra ordinaria	$\leq 7$	$\leq 10$	$\leq 15$
Obra en ambiente riguroso sujeto a abrasión	$\leq 5$	$\leq 8$	$\leq 10$

ASTM- Normas americanas

AENOR UNE = Normas españolas

*Tabla No. 21*

En la tabla No.21, se observa que los límites propuestos en el estudio, se mantienen en un rango intermedio entre las normas americanas y europeas, teniendo un aumento del 3% respecto a la norma ASTM C-33 y una diferencia del 5% en obras ordinarias, como también el 2% para obras en un ambiente riguroso sujeto a abrasión, respecto en a la norma AENOR UNE 7.050.

Finalmente se realiza la siguiente observación: que por la variación y diferencia de resultados entre la arena caliza de CEPESA y la arena andesítica de PROHINSA; no es posible establecer una relación entre ambas arenas. Por tal motivo, es necesario proponer por aparte los límites para arenas trituradas que provienen de cantera con una combinación de arena natural de mina, siendo el caso de la arena triturada de PROHINSA.

**Propuesta para límites máximos de material fino que pasa tamiz No.200 en arenas trituradas andesíticas**

Tipo de ensayo	Cantidad máxima en % del peso total De la muestra	
	Obras ordinarias	Obras en ambientes más rigurosos sujetas a abrasión
<i>Material fino que pasa tamiz No. 200</i>	<b>≤ 5</b>	<b>≤ 3</b>
<i>AM*= Valor de azul de metileno en gramos de azul por 100gr de arena P 18-592 AFNOR y AENOR UNE 83-131-90</i>	<b>≤ 0.055</b>	<b>≤ 0.048</b>

Tabla No. 22

**Comparación de los límites máximos de material fino que pasa tamiz No. 200 en arena triturada andesítica para concreto**

Norma	ASTM C-33		Propuesta Del estudio	AENOR UNE 7.050
	Arenas naturales	Arenas Trituradas		
Obra ordinaria	<b>≤ 5</b>	<b>≤ 7</b>	<b>≤ 5</b>	<b>≤ 15</b>
Obra en ambiente riguroso sujeto a abrasión	<b>≤ 3</b>	<b>≤ 5</b>	<b>≤ 3</b>	<b>≤ 10</b>

ASTM- Normas americanas

AENOR UNE = Normas españolas

Tabla No. 23

De la tabla No. 23, se puede comentar que solo es posible comparar los límites propuestos para la arena de Prohinsa con los límites especificados para arenas naturales según la norma ASTM C-33.

## CONCLUSIONES

- 1- Con base en los resultados obtenidos en las probetas de concreto y mortero, se logró demostrar que los finos arcillosos tienen mayor influencia en la reducción de la resistencia a la compresión, que los finos producidos por la misma trituración de la roca (ver gráficos Nos. 59 al 62).
- 2- De los valores del ensayo del azul de metileno, se ha logrado realizar una relación entre la resistencia a la compresión y azul de metileno (ver tabla No. 19), esta relación se realizó con el único fin de evaluar de forma rápida la limpieza y efecto posterior de la arena triturada.
- 3- Luego de realizar los respectivos ensayos, análisis y comparaciones, fue posible establecer una propuesta de límites aceptables en el contenido de finos que pasan tamiz No. 200, observando en la tabla No.21, que los límites propuestos para las arenas de roca caliza están en rango intermedio entre las normas ASTM C-33 y AENOR UNE 7.050. En el caso de las arenas de rocas andesíticas, los límites propuestos son iguales a los límites establecidos para las arenas naturales, según la norma ASTM C-33, (ver tabla No. 23).
- 4- En conclusión con este estudio se ha logrado demostrar que es admisible en las arenas de trituración hasta un máximo de 1% del volumen de la muestra de finos arcillosos y 10% en los finos de trituración que pasan el tamiz No. 200, siempre y cuando se controle la proporción de los finos por medio del equivalente de arena, pero en especial y aun mejor, por el ensayo del azul de metileno.

## RECOMENDACIONES

- 1- El estudio de tesis realizado demuestra que es evidente la necesidad de realizar los ensayos de laboratorio adecuados, para determinar la influencia de los finos arcillosos en las arenas que se utilizaran en la producción de concreto y mortero, por lo tanto se deben seguir las siguientes recomendaciones:
  - a) Evitar que los agregados gruesos, que se dosifican en las mezclas de concreto, estén contaminados de finos arcillosos<sup>1</sup>. Ya que este caso puede provocar problemas de adherencia entre la pasta y los agregados; que posteriormente producirán fallas por agrietamiento y una reducción de la resistencia a compresión.
  - b) Aumentar el control de calidad en la producción de arena triturada en época de invierno, ya que es la época crítica para obtener materia prima libre de arcilla<sup>2</sup>.
- 2- Es necesario detectar la cantidad de arcilla activa en las arenas, por medio del ensayo de azul de metileno, por lo que se recomienda:
  - a) Que en cada ensayo del azul de metileno se realice la prueba de conformidad para comprobar la exactitud del ensayo y asegurar que los valores de azul cumplen con las especificaciones<sup>3</sup>.
  - b) Se recomienda que el ensayo de azul de metileno se realice por la forma de dosificar gramos de azul por 100 gramos de arena; ya que de esta forma se comprobó que el ensayo es más rápido e igual de efectivo que por la forma de dosificar gramos de azul por 100 gramos de finos.
- 3- Se recomienda realizar, a la mayor brevedad, un estudio acerca de las arcillas limosas volcánicas, que se encuentran en las canteras y minas de las empresas que mezclan arena natural volcánica en el proceso de trituración. Ya que este tipo de arcilla volcánica demostró, en el estudio, que reduce la resistencia a la compresión en un rango mayor, que la arcilla que se encuentra en las canteras de roca caliza.

---

<sup>1</sup> Referencia 7-1

<sup>2</sup> Referencia 7-2

<sup>3</sup> Referencia 7-3



## REFERENCIAS

- 7-1. ASTM BOOK OF STANDARDS. Standard specification for concrete aggregates.  
USA: ASTM C33-86 Vol. 04.02 1986. P 11-20.
- 7-2. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, (AENOR).  
Áridos para hormigones. Ensayo del equivalente de arena.  
España: AENOR UNE 83-131-90. 1990. 4 pp.
- 7-3. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, (AENOR).  
Áridos para hormigones. Ensayo del azul de metileno.  
España: AENOR UNE 83-130-90. 1990. 3 pp.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM BOOK OF STANDARDS. Standard specification for concrete aggregates.  
USA: ASTM C33-86 Vol. 04.02 1986. Páginas Nos.11-20.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, (AENOR).  
Áridos para hormigones. Ensayo del azul de metileno.  
España: AENOR UNE 83-130-90. 1990. No. de páginas 3
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN, (AENOR).  
Áridos para hormigones. Ensayo del equivalente de arena.  
España: AENOR UNE 83-131-90. 1990. No. de página 4.
- HERRERA RODAS, Plinio Estuardo. Evaluación preliminar de la arena manufacturada de caliza como agregado fino para concreto. Tesis de graduación de Ingeniero civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala 1994.  
No. de páginas 65.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y CONCRETO, A.C. Manual de supervisión de obras de concreto. México:  
IMCYC. 1994. No. de páginas 260.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y CONCRETO, A.C. Cartilla del concreto. México:  
IMCYC. 1994. No. de páginas 43.
- RAMÍREZ ORTÍZ José Luis Et. al. Análisis de la nocividad de los finos calizos y arcillosos en diversas propiedades de hormigones de árido calizo. España:  
Labein. 1987. No. de páginas 22.
- RAMÍREZ ORTÍZ José Luis Et. al. Influencia de los finos calizos y arcillosos de arenas calizas de machaqueo en las propiedades del hormigón. España:  
Labein. 1986. No. de páginas 209.
- RAMÍREZ ORTÍZ José Luis Et. at. Nuevo procedimiento de verificación de la calidad de las arenas para hormigón. España:  
Labein. 1987. No. de páginas 20.