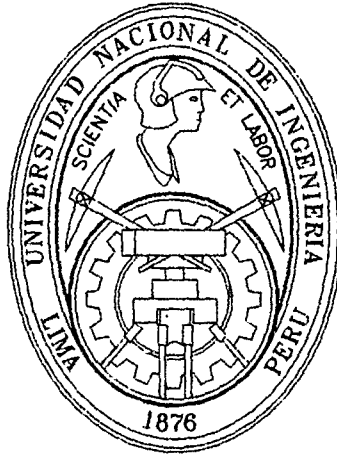


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



INVESTIGACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA:
METODOLOGIA DE OBTENCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LAS
PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS DE 550 - 1200 Kg/cm²

TESIS

Para optar el Título Profesional de :
INGENIERO CIVIL

MARY PATRICIA MORALES ALFARO

Lima - Perú
2000

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

DEDICATORIA

A SARA, mi madre por su amor, fortaleza a quien admiro por su dedicación y a quien le debo lo que soy.

A MICHELLE, mi hermana por su apoyo, valor y por ser nuestro orgullo.

A CESAR, mi padre por darme la vida.

A MIS AMIGOS, a quienes llevo siempre presentes por su alegría y compañía desinteresada en todo momento, por el cariño sincero con el que siempre compartimos los momentos felices y los no tan buenos, como si fueran propios.

A todos mis amigos que con su entusiasmo me apoyaron, impulsaron y participaron en el desarrollo de la tesis.

A todos y cada uno de mis compañeros, amigos y colegas con los que ingresamos a esta casa de estudios, en el año 88.

A todos y cada uno de mis compañeros, amigos y colegas con los que ingresamos a esta casa de estudios de mi generación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar mis pasos,
por ser mi refugio y mi paz.

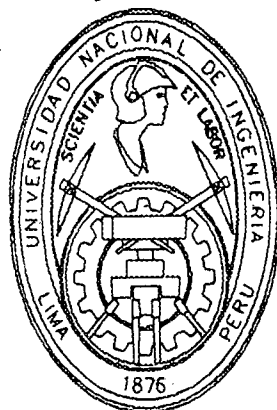
Al Ing. Carlos Barzola Gastelú, por su desinteresada guía, dedicación a la carrera, a los alumnos y por su confianza al asignarme este tema de tesis con el que he tenido solo gratos momentos como mi ingreso al CISMID y

la satisfacción de conocer a los especialistas en concreto

Ing. Enrique Riva López, Ing. Manuel Gonzales, Ing. Jorge Pérez ,
Ing. Ana Biondi, Ing. Carlos Tapia, Ing. Hernando Sanchez, así como al
Ing. en Geología José Dominguez. Del mismo modo al Ing. Vanna
Giofatti, y al Ing. Martín Ballabeni entre otros.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, A LA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, por brindarme la oportunidad de
realizarme como profesional en especial al Dr. Javier Piqué Del Pozo,

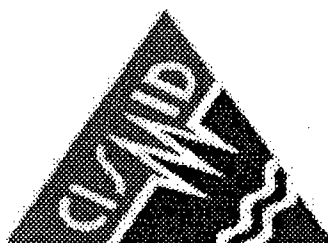
Ing. Nemesio Canelo, al Dr. Juan Ríos, Ing. Roberto Morales,
Ing. Francisco Coronado, Ing. Luis Huaman, Ing. Oscar Casas,
Ing. Ana Torre, Ing. Rafael Cachay y a todo el personal del departamento
de Construcción y L.E.M.



AL CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES
SISMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES NATURALES (CISMID),

en especial al Dr. Javier Arrieta , Dr. Carlos Zavala, Dr. Rafael Torres,

Dr. Zenón Aguilar, Ing. Joge Gallardo, Ing. Francisco Ríos,
Ing. Victor Rojas, Ing. Denys Parra, Ing. Milagros Castro Cuba,
Ing. Evaristo Minaya y al personal que me apoyó.



INDICE

INVESTIGACION DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA: METODOLOGIA DE OBTENCION Y DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS CONCRETOS DE 550 kg/cm² - 1200 kg/cm²

INTRODUCCION

I-1	Generalidades	1
I-2	Metodología de la Investigación	3
I-3	Etapas de la Tesis	4
I-4	Presentación de la Tesis	6

CAPITULO I

ENSAYOS SOBRE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO

1.0	Programa de Investigación	7
1.1	Ensayos en los Agregados	8
1.1.1	Partículas débiles, laminares y la limpieza de los agregados	12
1.1.2	Influencia del tamaño máximo del agregado	13
1.1.3	Influencia de la matriz aglomerante	14
1.1.4	Estudio del contenido de finos de la arena gruesa	15
1.1.5	Influencia del origen geológico de los agregados gruesos	16
1.2	Ensayos en la microsílíce	17
1.3	Estudios de la influencia del tipo de cemento	18
1.4	Estudio del material de capeado de las probetas	20
1.5	Estudio del factor de correlación en probetas de 4" x 8" y 6" x 12"	21

CAPITULO II

II-1 Diseño de mezclas

2.1	Método de diseño de mezcla utilizado	26
2.2	Secuencia de diseño del concreto patrón	27
2.3	Secuencia de diseño del concreto con aditivo	32
2.4	Secuencia de diseño del concreto con aditivo más microsílíce	33

II-2	Estudio de la secuencia de mezclado	34
------	-------------------------------------	----

CAPITULO III

III-1 Determinación De Las Propiedades Del Concreto

3.1.1	En estado endurecido.	39
3.1.2	En estado fresco	42
3.1.3	Consistencia de los ensayos realizados	45

III-2 Estudio de curado de las probetas de alta resistencia

3.2.1	Metodología del estudio	55
-------	-------------------------	----

III-3 Estudio de la preparación, moldeo, desmolde y del número de probetas aplicando criterios estadísticos

58

CAPITULO IV

Análisis de resultados	61
Análisis de Costos	85

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

86

CONCEPTOS Y BASES TEÓRICAS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO Y DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

T-1	Agregados para concreto	94
	Definiciones y conceptos generales	95
	Clasificación de los agregados	95
1.1	Agregados para concretos de normales y medianas resistencias	100
1.2	Agregados para concretos de alta resistencia	101
1.3	Ensayos de la características físicas	102
1.4	Ensayos efectuados sobre los agregados para diseño de mezcla	107
1.4.1	Granulometría	107
	Granulometría por el método mecánico de tamizado	108
	Granulometría por suspensión de finos por el método de hidrómetro	114
	Ensayos granulometricos efectuados en la tesis	119
1.4.2	Módulo de Finura	126
1.4.3	Superficie específica	129
1.4.4	Contenido de Humedad	130
1.4.5	Absorción	131
1.4.6	Peso Específico	135

1.4.7	Peso unitario	139
1.4.8	Análisis petrográfico de los agregados	142
1.5	Aditivos para concreto	144
1.5.1	Aditivos	145
	Clasificación, modo de aplicación, compatibilidad	145
	Descripción general de los aditivos	145
	Modo de Acción	145
	Normas para los aditivos	149
	Tipos de Aditivos	150
	Aditivos utilizados en la tesis	158
	Reportes de ensayos realizados con aditivos de los grupos SMF y SNF	161
1.5.2	Microsilíce	166
	Normas para la microsilíce	166
	Características físicas de la microsilíce	167
	Propiedades, composición, modo de acción	168
	Modo de aplicación	168
	Microsilices utilizadas en la tesis	175
1.6	Cementos	179
T-2	Bases teóricas de los métodos de diseño de mezclas utilizados	185
T-6	Bases teóricas de los ensayos efectuados	189
	Resistencia a la compresión	192
	Resistencia a la Tracción	194
	Peso unitario	196
	Exudación	198
	Fluidez	202

ANEXOS

ANEXO I :	Resultados y gráficas de los ensayos de las características físicas en los agregados.	205
ANEXO II:	Diseño de Mezcla	222
ANEXO III:	Propiedades del concreto	231
ANEXO IV:	Certificados de los ensayos de rotura de las etapas primera, segunda y tercera	254

BIBLIOGRAFIA

Introducción

GENERALIDADES METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

I-1 GENERALIDADES.-

La investigación en la tecnología del concreto ha estado orientada en los últimos 30 años a buscar la evolución del comportamiento del concreto sobre todo desde el punto de vista de la durabilidad, obteniéndose exitosos resultados con lo que la industria de la construcción se vio favorecida.

Entre estas tecnologías se desarrolló el concreto de alta resistencia, en países como Japón, Alemania, Francia, Italia, Holanda, Estados Unidos, Canadá, últimamente en Sud América en Brasil, Colombia y Argentina.

En la mayoría de ellos se edifica con concretos de más de 600 kg/cm², habiéndose registrado en la actualidad concretos desde 800-1200 kg/cm² hasta 2000 kg/cm².

Hay aplicaciones concretas en el Perú, en nuestro país se obtuvieron en el pasado concretos de 450 kg/cm² de resistencia; en el año 1995 se obtuvo 600 kg/cm² de resistencia a 60 días y una reducción significativa en el tiempo de fraguado; en 1997 se obtuvo 750 kg/cm² a 90 días y en 1998; en la presente tesis de investigación se alcanzaron 1100 kg/cm² a 42 días.

- Aplicaciones del Concreto de Alta Resistencia.-

El concreto de alta resistencia se utiliza en construcciones que se encuentren en condiciones muy adversas de servicio tales como en pilares y losas de puentes, en estructuras sujetas a ciclos de hielo-deshielo, etc.

Se pueden obtener grandes luces en puentes de concreto, estimándose incrementos del orden de 300% en la longitud del tramo en pocos años conforme se apliquen los

avances del concreto de alta resistencia; como ejemplos tenemos el puente Bear River, ubicado en Nueva Escocia, en 1972, consta de 6 tramos de 81 metros cada uno; también está el puente de Sames Point, ubicado en Florida, construido en 1987, consta de un tramo de 396 metros.

Así mismo se emplea en elementos estructurales de edificaciones altas entre 40 a 130 niveles con alturas de 500 m. a 610 m., donde las estructuras de acero ya no son la solución óptima. Ejemplos importantes de estas aplicaciones tenemos por ejemplo:

- Las torres Kuala-Lumpur; ubicadas en Malasia de 95 niveles con una altura de 452m.
- La torre Miglin Beitler, de 609 m, hasta el momento, la edificación más alta del mundo.

- Ventajas y Desventajas.-

Los concretos de alta resistencia poseen ventajas y desventajas tanto técnicas como económicas, algunas de estas son:

Ventajas:

- Alta resistencia a la compresión por unidad de peso, volumen o costo, parámetro importante para la construcción de pilares y columnas en edificios de altura.
- Excelente comportamiento frente al impacto y perforación, esencial en trabajos de fortificación.
- Alta resistencia a tracción, apropiada en la construcción de concreto pretensado.
- Importante Módulo de Elasticidad, permitiendo una gran estabilidad y flechas reducidas en las vigas para iguales valores de carga.
- Escurrimiento plástico mucho menor que los concretos tradicionales, con lo que la pérdida de tensión en los cables de pretensado es menor.
- Mayor durabilidad, especialmente en estructuras expuestas a clima marino.
- Mayor aptitud para su transporte mediante bombeo.
- La relación beneficio-costos es satisfactoria para estos concretos, a pesar que su costo por metro cúbico es del triple al quintuple con respecto al concreto sin aditivos resultan económicos por aplicarse a obras de condiciones especiales en las que las propiedades de los concretos convencionales no funcionan.

Desventajas:

- Necesidad de materiales y componentes de muy alto comportamiento.
- Control de calidad muy exigente.
- Curado muy cuidadoso.
- Rotura frágil.

El avance tecnológico de estos materiales hace necesario intensificar las investigaciones, y encontrar diseños de mezclas óptimos con la utilización de agregados usuales, cementos, agua combinándolos con los aditivos más adecuados compatibles con las condiciones de clima y temperatura. En el producto final debe conseguirse el costo más favorable posible manteniendo la calidad establecida.

Así, en este estudio el uso de un aditivo super plastificante, la Microsílice en polvo y un constante control de calidad son las herramientas para lograr un concreto trabajable, más durable, más resistente, y económico que esta en concordancia con los avances y beneficios tecnológicos actuales.

I-2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La tesis ha sido realizada con el objetivo de determinar las proporciones de mezcla de un CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, del orden de los 1000 kg/cm² de resistencia a la compresión con el consiguiente alto desarrollo de sus demás propiedades, debiendo elaborarse a la vez a un costo económico.

Siendo pocos los estudios detallados sobre la tecnología del concreto de alta resistencia, desde el inicio de esta tesis hubo la preocupación de identificar y evaluar convenientemente los principales elementos que influyen en el comportamiento.

Es así que los estudios se realizaron por etapas en función a la búsqueda de respuestas acertadas a las interrogantes o incertidumbres que fueron apareciendo. Se ilustran en el Cuadro N° 1, los materiales componentes del concreto utilizados así como los ensayos de investigación sobre los mismos.

La metodología aplicada se centró a dos aspectos principales:

- La optimización del diseño de mezclas y de sus componentes.
- La evaluación de las propiedades del concreto.

En el diseño de mezclas se aplicaron los métodos del Agregado Global y del ACI 211, para la obtención de un concreto plástico y trabajable con una relación agua a cemento de 0.40 y el asentamiento de 2"- 3"; con estas características se elaboraron tres tipos de concretos: patrón, con aditivo, con aditivo más microsílíce.

El comportamiento del concreto se estudió através de la comparación de los resultados en cada uno de los tipos de concretos; las propiedades tratadas se refieren a los principales parámetros que caracterizan el comportamiento del concreto los cuales son: en estado fresco, la trabajabilidad, consistencia, tiempo de fraguado, exudación; en estado endurecido, resistencia a compresión, resistencia a tracción, módulo elástico.

Se determinó el factor de correlación entre los moldes de 4" x 8" y de 6" x 12" pulgadas mediante comparación de resultados, para posteriormente usar solo los pequeños por ser menos pesados y por requerir una máquina de compresión de menor capacidad.

Se determinó la resistencia a la compresión en cada tipo de concreto hasta encontrar su máximo rendimiento antes de pasar al siguiente; para ello se tuvieron que realizar investigaciones adicionales para optimizar y determinar la influencia de diversos parámetros (calidad, tamaño, origen geológico del agregado grueso, tipo de cemento, secuencia y tiempo de mezclado, tiempo de curado, etc) en el comportamiento del concreto obtenido. En la tesis estos estudios constituyen las etapas, las que se describen en I-3 y se resumen en el Cuadro N° 1.

1-3 ETAPAS DE LA TESIS

Se presenta una breve descripción de los ensayos efectuados en cada etapa y se muestra un resumen en el cuadro N° 1:

- La Etapa Preliminar. -

Se realizaron ensayos de caracterización de los materiales ha emplearse, escogiéndolos por tener las características de comercialización estándar, solo identificándose la calidad de los agregados.

- En la Etapa Primera:

Se mejoró la calidad de los agregados y se les compararon con los resultados de la etapa anterior de comprobarse aspectos positivos, como fue el caso, se consideró que habría que investigar el cemento tipo I, Sol, con el aditivo y la microsílíce de Sika.S.A.

- En la Etapa Segunda:

Se controla la calidad de los agregados y se determinan las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido así mismo se realizan las investigaciones adicionales sobre la influencia de ciertos parámetros en la resistencia a la compresión como el tamaño máximo del agregado grueso, del origen geológico (por lo que se elaboró en el laboratorio del Ministerio de Transportes, piedra chancada utilizando cuarcita), de la secuencia de mezclado, del tipo de cemento, del tiempo de curado.

Además se determinó en esta etapa la correlación entre los moldes de 4"x 8" y 6"x 12" y el contenido de finos en la arena gruesa aplicando el método de suspensión de finos por hidrómetro.

Finalmente, los ensayos de resistencia a la compresión comprenden además un estudio sobre los resultados obtenidos en la etapa segunda con el fin de proponer criterios estadísticos para optimizar la elaboración de las muestras y preparar la mínima cantidad de testigos para cada uno de los ensayos.

- En la Etapa Tercera:

Se utilizaron los materiales que dieron los mejores resultados en las etapas anteriores y se investigó la influencia del origen geológico de los agregados gruesos utilizándose las ígneas y las cuarcitas comparándose posteriormente los resultados.

CUADRO N° 1 ETAPAS DE LA TESIS				
Etapas	Preliminar	Primera	Segunda	Tercera
MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO				
Cemento	Andino I	Andino, Sol: I	Andino, Sol: I	Andino: V
Aditivos Superplastificantes	Euco 537	Euco 537 Sikament 10	Euco 537 Sikament 10	Euco 537 Sikament 10
Micro sílice	Euco MSA.	Euco MSA Sika Fume	Euco MSA Sika Fume	Euco MSA Sika Fume
Agregado Grueso	Dior.+10%And.	Dior.+10% And.	Dior.+10% And.	Dior.+10%And. Cuarcita
Agregado Fino M.F 3.14	Arena gruesa	Arena gruesa	Arena gruesa	Arena gruesa
PROPIEDADES DETERMINADAS				
Tipos de concreto ensayado	Patrón Con aditivo	Patrón Con aditivo Con aditivo+MS	Patrón Con aditivo Con adit. +MS	Con adit. +MS
Tamaños de los moldes usados	De material de PVC de 6" x 12"	De material de fierro de 4"x8" 6"x12"	De material de fierro de 4"x8" , 6"x12"	De material de fierro de 4"x8" y "x12"
Propiedades determinadas	Resistencia a compresión	Resistencia a compresión	Las descritas en I-2	Resistencia a compresión
ENSAYOS EN CONCRETO SOBRE LOS AGREGADOS PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE:				
Cantidad de Partíc. Débiles en 1 m ³ .	45%	20%	10%	
Tam nom máx de los Agreg. Gruesos			3/4", 5/8", 1/2"	
Origen Geológ de los Agreg Gruesos		Análisis Petrográfico		Ignea Intrusiva Metamórfica
Matriz aglomerante		Combinación de Arenas Fina y Gruesa	Cantidad de Finos en la Arena Gruesa	
ENSAYOS EN MORTEROS PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DE:				
Tipo de cemento en la reacción con MS			Mortero Patrón Mort c/Aditivo Mort c/Adit+MS	
Secuencia óptima y tiempo de mezclado			Fluidez, % Aire, Resist a compres en dados 5x5 cm.	
Tiempo de Curado			Concreto Patrón Concreto c/Adit Mort c/Ad +MS	
ENSAYOS EN CONCRETO PARA DETERMINAR LA CORRELACIÓN DE				
Resultados entre			4"x8" y 6"x12"	

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

I-4 Presentación de la Tesis.-

La tesis comprende una parte experimental del estudio que corresponde a los ensayos de laboratorio en concordancia con el marco teórico y la normas nacionales o internacionales respectivas.

A continuación se describe el alcance de los temas tratados en cada capítulo; en los primeros capítulos se refieren a la parte experimental mientras que el capítulo VI se dedica al marco conceptual.

CAPÍTULO I.-

Se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre los materiales componentes del concreto utilizado con sus respectivas gráficas comparativas.

CAPÍTULO II.-

Trata del diseño de mezclas aplicado a concreto patrón, concreto con aditivo, concreto con aditivo más microsilíce; así como los ensayos de investigación para la determinación de la óptima secuencia de mezclado del concreto.

Las mezclas utilizadas en estos estudios fueron en mortero, analizando diversas posibilidades referentes al orden de ingreso de los materiales al trompo; eligiéndose las tres mezclas que proporcionaron mayor resistencia a la compresión y adecuada fluidez los cuales fueron probados en concreto. Finalmente se logró una secuencia óptima de mezclado.

CAPÍTULO III.-

Se refiere a la presentación de los resultados y gráficas de la determinación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, en esta etapa se realiza el estudio de la influencia del curado realizado en morteros con aditivo más microsilíce, utilizando probetas de 5 x 5 cm, también se realizó sobre el concreto patrón.

Finalmente se presentan los criterios estadísticos para optimizar la elaboración de las muestras y para preparar la mínima cantidad de testigos para ensayo.

CAPÍTULO IV.-

Se refiere al análisis de los resultados obtenidos presentándose los Cuadros y gráficas siguiendo el mismo orden del capítulo tres, así mismo se presenta los análisis comparativos de costos para los concretos tratados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -

Se comentan las conclusiones a las que se llegan presentándose recomendaciones que permitan continuar estudios sobre el tema.

CONCEPTOS Y BASES TEÓRICAS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO Y DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS -

Comprende las definiciones y conceptos teóricos sobre los materiales componentes del concreto y la determinación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido; así mismo se hace referencia a las normas aplicables.

Capítulo I

ENSAYOS SOBRE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO

1.0 Programa de Investigación -

Los ensayos de investigación se han realizado sobre los materiales componentes del concreto por la necesidad de conocer los parámetros que influyen en el comportamiento del concreto de alta resistencia; estos estudios están relacionados con:

- Las características de los agregados.
- Las propiedades absorbentes de la microsílíce.
- La influencia por el uso de distintos tipos de cementos.
- Las propiedades de las mezclas (incluido el material de capeado).
- El factor de correlación de los ensayos usando moldes de 4"x8" y 6"x12".

Las mezclas de cemento estudiados en los ensayos conformaron concreto o mortero y entre las propiedades que se determinaron tenemos:

- En Estado Fresco:
 - Trabajabilidad..... Concreto.
 - Fluidez.....Mortero.
- En Estado Endurecido:
 - Resistencia a Compresión.....Concreto y Mortero.
 - Resistencia a la Tracción.....Concreto.

1.1 ENSAYOS EN LOS AGREGADOS

Los ensayos realizados en los agregados finos y gruesos se orientaron a evaluar cuantitativamente la influencia en la resistencia a la compresión de ciertas características físicas de los agregados, tales como:

- Calidad y forma de las partículas através de la influencia del porcentaje de partículas débiles.
- Tamaño máximo del agregado grueso.
- La matriz aglomerante del concreto.
- La cantidad de finos de la arena gruesa.
- Granulometría del agregado grueso
- Origen geológico de los agregados.

A continuación se presenta en el Cuadro N° 1.1 un resumen de la secuencia de los ensayos efectuados sobre los agregados:

CUADRO N° 1.1 RESUMEN DE LOS ENSAYOS SOBRE LOS AGREGADOS EN LAS ETAPAS DE LA TESIS				
Ensayos relacionados con	Preliminar	Primera	Segunda	Tercera
La cantidad de partículas débiles	45%	20%	10%	
La variación de la matriz aglomerante		Arenas: fina de río y gruesa de cerro	Granulometría de los finos de la arena gruesa	
La variación del tamaño máximo de agregado grueso			3/4", 5/8", 1/2"	
La variación del origen geológico de los agregados gruesos				Ignea intrusiva Metamórfica
Condición de los agregados en cada etapa				
Agregado grueso	Dioritas + 10% de andesitas	Dioritas + 10% de andesitas	Dioritas + 10% de andesitas	-Dioritas + 10% de andesitas - Cuarcita
Agregado fino	Arena gruesa M.F 3.14	Arena gruesa M.F 3.14	Arena gruesa M.F 3.14	Arena gruesa M.F 3.14
Estado de limpieza	Sin lavar	Sin lavar	Lavada	Lavada

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

Los resultados de estos ensayos mostraron la decisiva influencia de estos factores en el incremento de la resistencia a la compresión del concreto; por tanto se concluye que los requisitos dados por las normas para agregados con los que se elaboran concretos de resistencias estándar resultan ser muy generales para el caso de agregados destinados a preparar concretos de alta resistencia.

Se presenta en el Cuadro N° 1.2, un listado comparativo de las características observadas al realizar los ensayos con las que se podrían especificar los requisitos físicos de los agregados; en el capítulo V, ítems 5.1.1 y 5.1.2 se encuentra una ampliación de este tema.

CUADRO N° 1.2 LISTADO COMPARATIVO DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS		
Requisitos Ag gruesos	Para concretos de resistencias estándar según las normas	Para concretos de altas resistencias según se propone
Procedencia	Natural, elaborados, subproductos	Elaborados: piedra chancada
Tamaño máx.	de 3/8" a 4"	de 1/2" a 1"
Forma	Redondeadas, sub-redondeadas, angulares, cuboides	Cuboides, según la referencia N° 3 (las demás a estudiar)
Origen	Igneas, areniscas	Igneas
Estructura Interna	Sin: fracturas, alteraciones, planos de falla, porosidad	Sin: microfisuraciones internas, fracturas, etc
% Lajas	Menor al 15%	Menor al 10% (a estudiar)
Ag finos	Módulo de finura de 2.3 a 3.2	Módulo de finura de 3.0 a 3.2

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

- Características Físicas.-

En el Cuadro N° 1.3 se presenta un resumen de las características físicas de los agregados utilizados en la determinación de las propiedades del concreto. Los procedimientos, cálculos y gráficas de los ensayos se encuentran en el anexo A-1.1

CUADRO N° 1.3 CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS							
Agregado	P.E	P.U.C	P.U.S	C.H	% Abs	S.E	M.F
Arena Gruesa	2,64	1798	1637	0,53%	0,71%	39,5	3,14
P.Ch. Diorita (3/4")	2,75	1660	1575	0,55%	0,67%	1,52	7,60
P.Ch. Cuarzita (1/2")	2,58	1656	1479	0,11%	0,80%	1,61	6,90

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

- Granulometría: En el Cuadro N° 1.4 se presentan las granulometrías de cada uno de los agregados descritos. Así mismo para la granulometría del agregado global, las proporciones óptimas de arena y piedra fueron de 50% de Arena + 50% de Piedra.

CUADRO N° 1.4 RESUMEN DE LAS GRANULOMETRIAS DE LOS AGREGADOS EN % PASA				
Malla	Arena Gruesa	Piedra Chancada 3/4"	Piedra Chancada 1/2"	Agregado Global 50%P + 50% A
3/4"		56%		78%
1/2"		20%	76%	60%
3/8"	100%	10%	10%	55%
N° 4	98,8%	0%	0%	49%
N° 8	82%			40%
N° 16	55,1%			28%
N° 30	30,7%			15%
N° 50	14,1%			7%
N° 100	5,6%			3%
Fondo	0%			0%

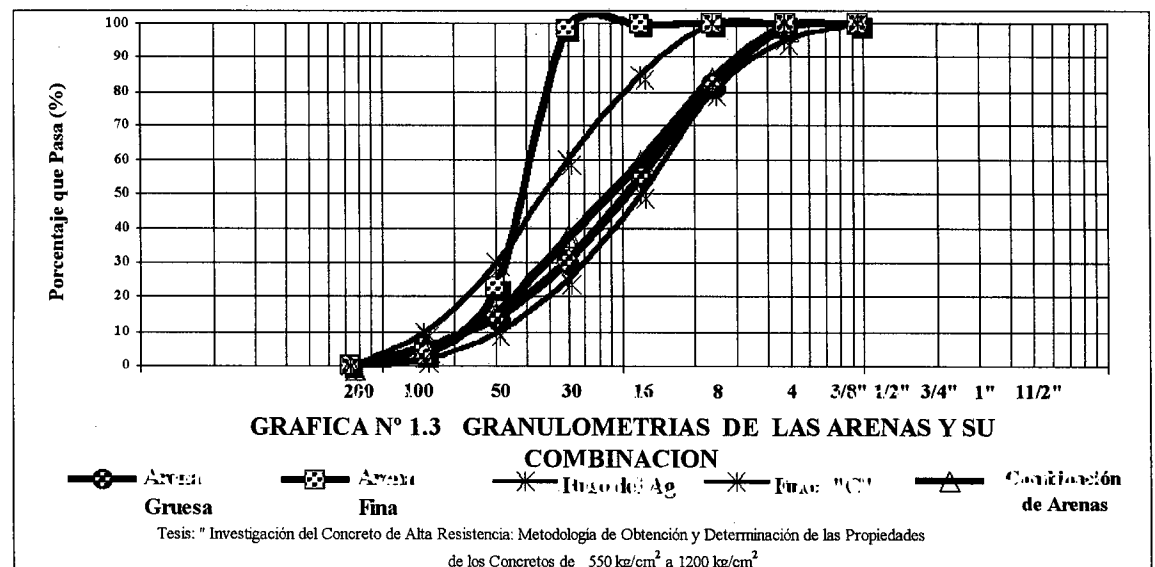
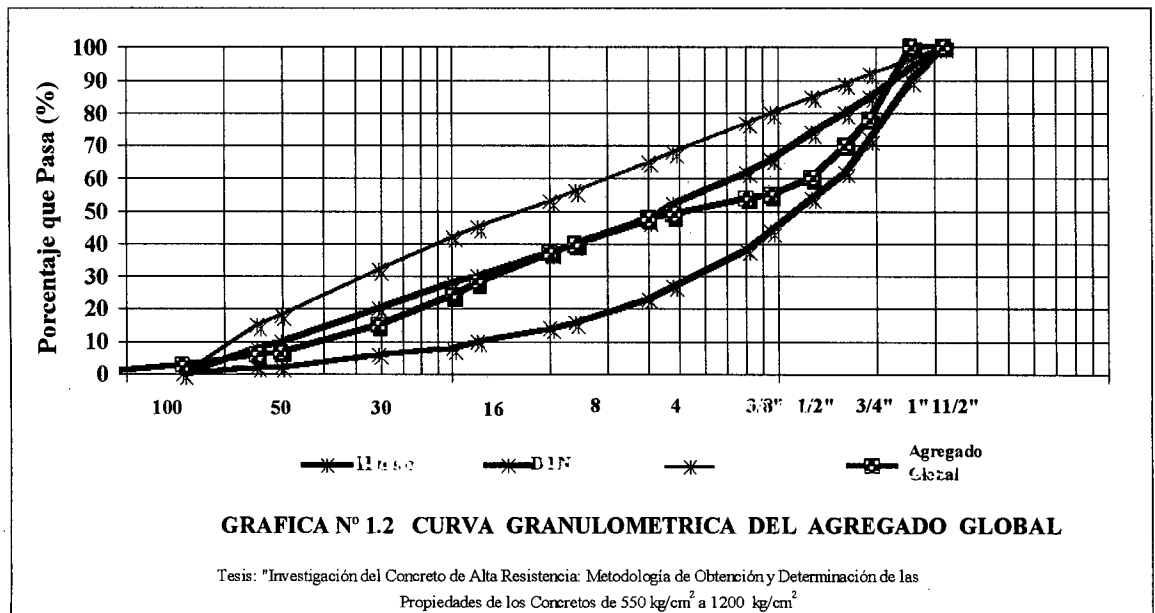
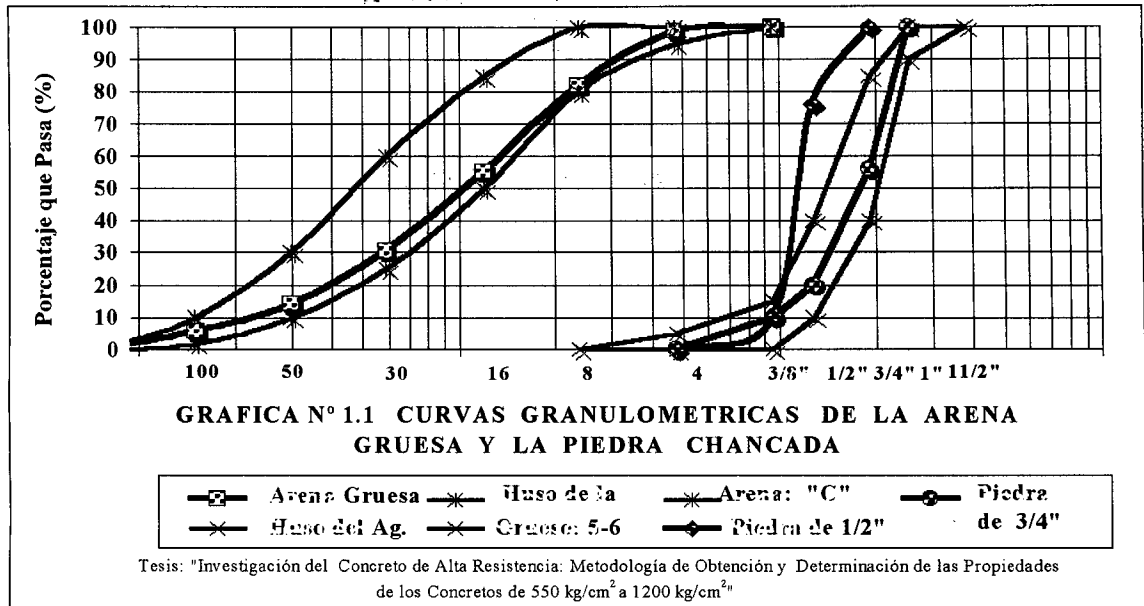
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

- Arena para el estudio de la matriz aglomerante. -
Esta arena se obtuvo combinando la arena fina con la arena gruesa (descrita anteriormente). En el Cuadro N° 1.5 se presentan las características físicas de la arena fina utilizada, ver así mismo el Cuadro N° 1.6 la granulometría de la misma así como de la arena combinada.

CUADRO N° 1.5 CARACTERISTICAS FISICAS							
Agregado	P.E	P.U.C	P.U.S	C.H	% Abs	S.E	M.F
Arena Fina	2,51	1605	1400	0,73%	0,85%	68,86	1,76

CUADRO N° 1.6 RESUMEN DE GRANULOMETRIAS DE LAS ARENAS			
Arenas:	Gruesa	Fina	Combinación
Malla	% Pasa	% Pasa	90%A.G+10%A.F
3/8"	100%	100%	100%
N° 4	98,8%	100%	98,9%
N° 8	82%	100%	83,8%
N° 16	55,1%	99,60%	59,6%
N° 30	30,7%	98,40%	37,5%
N° 50	14,1%	22,60%	15,0%
N° 100	5,6%	3,40%	5,4%
Fondo	0%	0%	0%

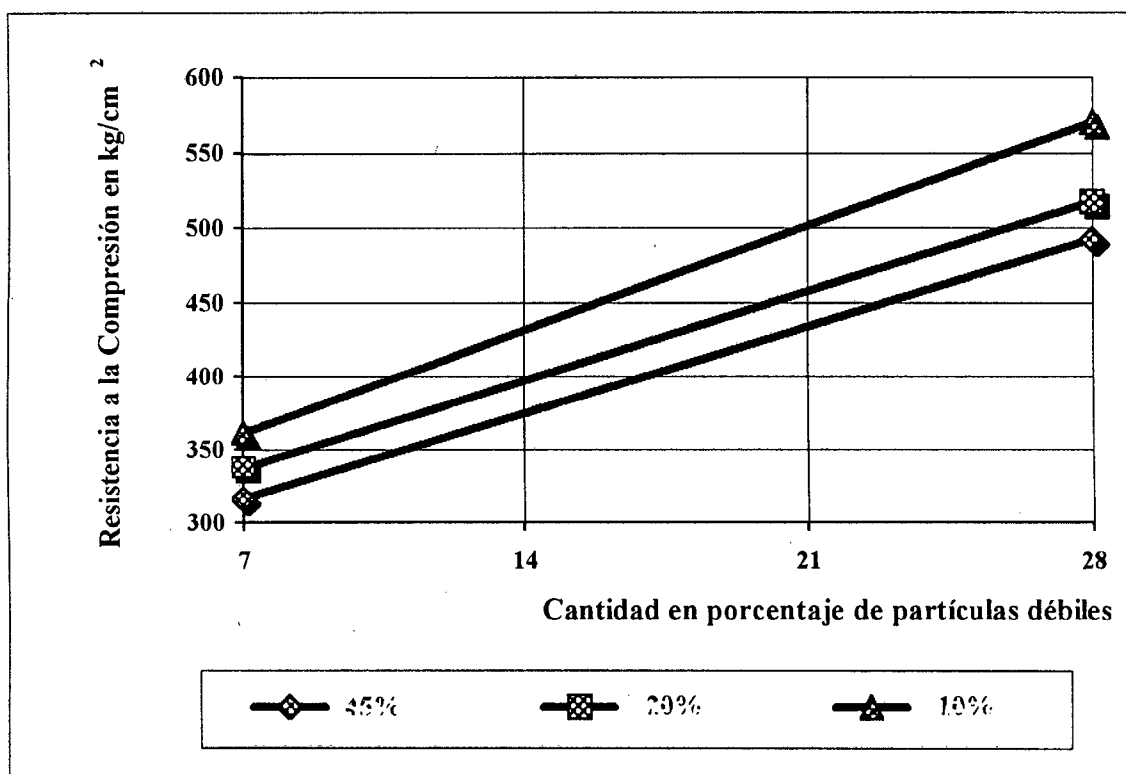
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "



1.1.1 Influencia de: Las Partículas Débiles, Laminares y la Limpieza de los Agregados

Estas características son las que crean las etapas de la tesis las cuales se desarrollaron paso a paso al suponer la importancia de mejorar la calidad de las partículas tanto en su forma (siendo las laminares perjudiciales) así como su condición (de encontrarse sanas y lavadas). Los resultados posteriores confirman lo expuesto pues la resistencia a la compresión se incrementa según se mejora el control de calidad de las partículas. El Cuadro N° 1.7 muestra una recopilación de los resultados obtenidos en estas etapas.

CUADRO N° 1.7 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VARIACION DE LA CALIDAD DE LAS PARTICULAS			
Concreto Patrón a 28 días de edad			
Etapa	Preliminar	Primera	Segunda
7 días	336 kg/cm ²	360 kg/cm ²	382 kg/cm ²
28 días	492 kg/cm ²	517 kg/cm ²	555 kg/cm ²
Partículas débiles	45%	20%	10%
Agregados	sin lavar	sin lavar	lavados



GRAFICA N° 1.4 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION DE LA CALIDAD DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO GRUESO

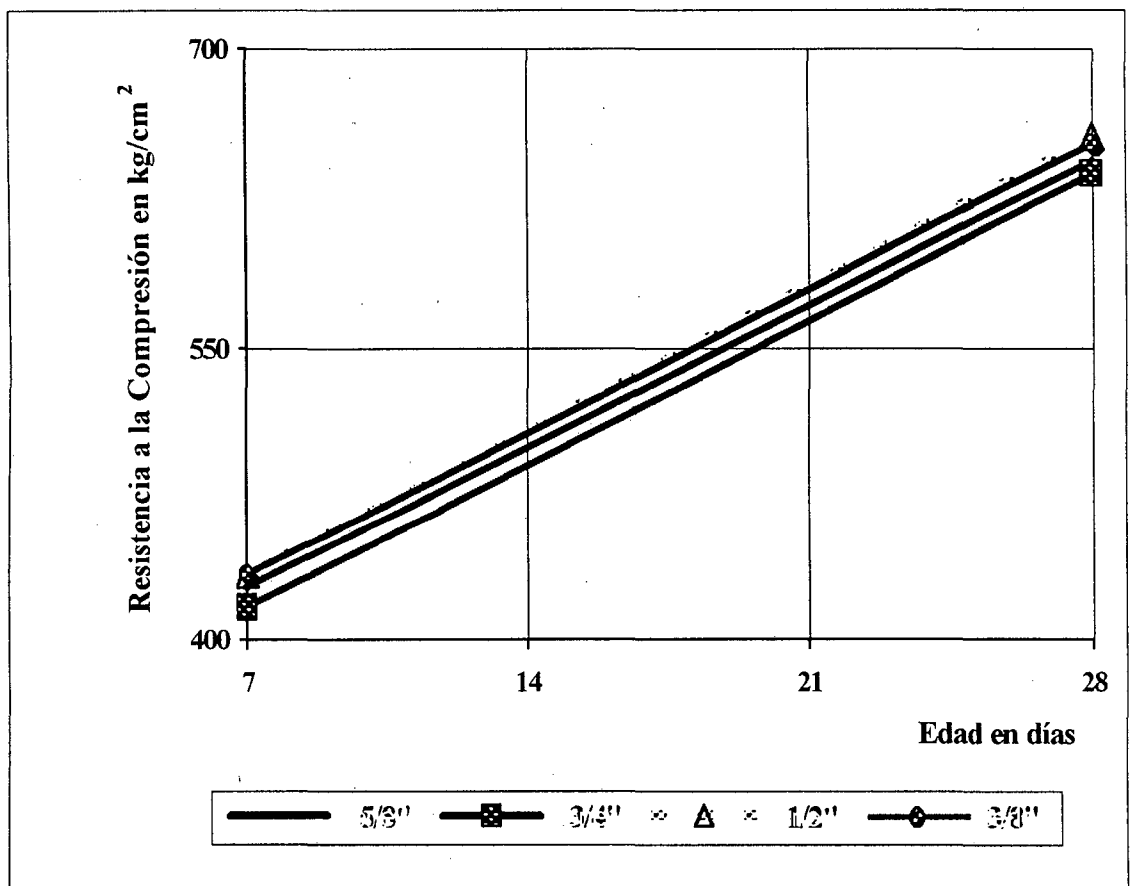
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

1.1.2 Influencia del Tamaño Máximo del Agregado Grueso

Es conocido para el caso de los concretos la resistencia se incrementa con la disminución del tamaño del agregado; por tal motivo se realizaron ensayos en concreto patrón para determinar cuantitativamente este incremento.

Los resultados de los ensayos, se muestran en el Cuadro N° 1.8.

CUADRO N° 1.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VARIACION DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO GRUESO				
T nom máx.	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"
7 días	416,9	426,5	432,9	433,74
28 días	636,8	644,1	656,1	651,48



GRAFICA N° 1.5 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION
VARIACION LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm²"

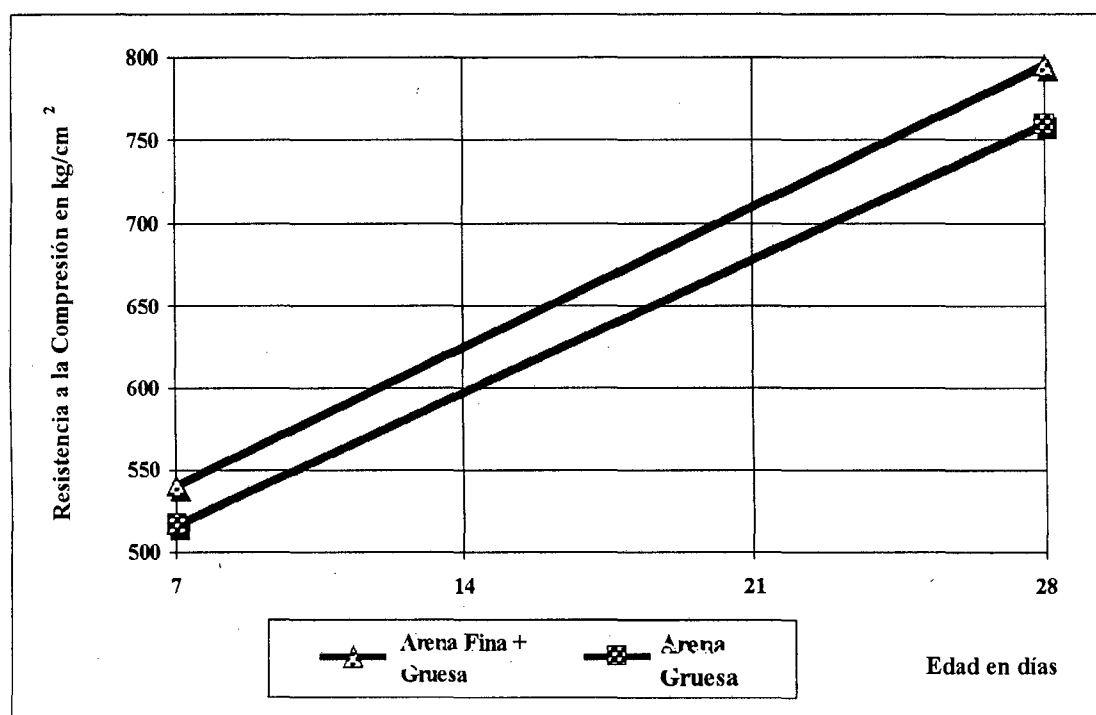
1.1.3 Influencia en la Resistencia a la Compresión de la matriz Aglomerante de la Pasta del Concreto

Se realizaron éstos ensayos con el objetivo de mejorar la matriz aglomerante de la pasta del concreto, teniendo para ello que combinar la arena gruesa con la arena fina.

Se observa que en el concreto patrón los resultados incrementaron muy poco su valor sin embargo con el uso de los aditivos y la microsílíce se hace más notoria la diferencia, resultando aproximadamente 35 kg/cm²; sin embargo aún estos incrementos son poco significativos y no justifica el esfuerzo y costo adicional de elaborar estas arenas. Por tal motivo en la tesis no se utilizó esta combinación de agregados finos.

Los resultados de los ensayos se muestran en el Cuadro N° 1.9.

CUADRO N° 1.9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VARIANDO EL MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO		
Tipo de concreto: con aditivo más microsílíce		
Edad	Arena Gruesa + Fina	Arena Gruesa
Módulo de Finura	3.00	3.14
7	540 kg/cm ²	517 kg/cm ²
28	795 kg/cm ²	760 kg/cm ²



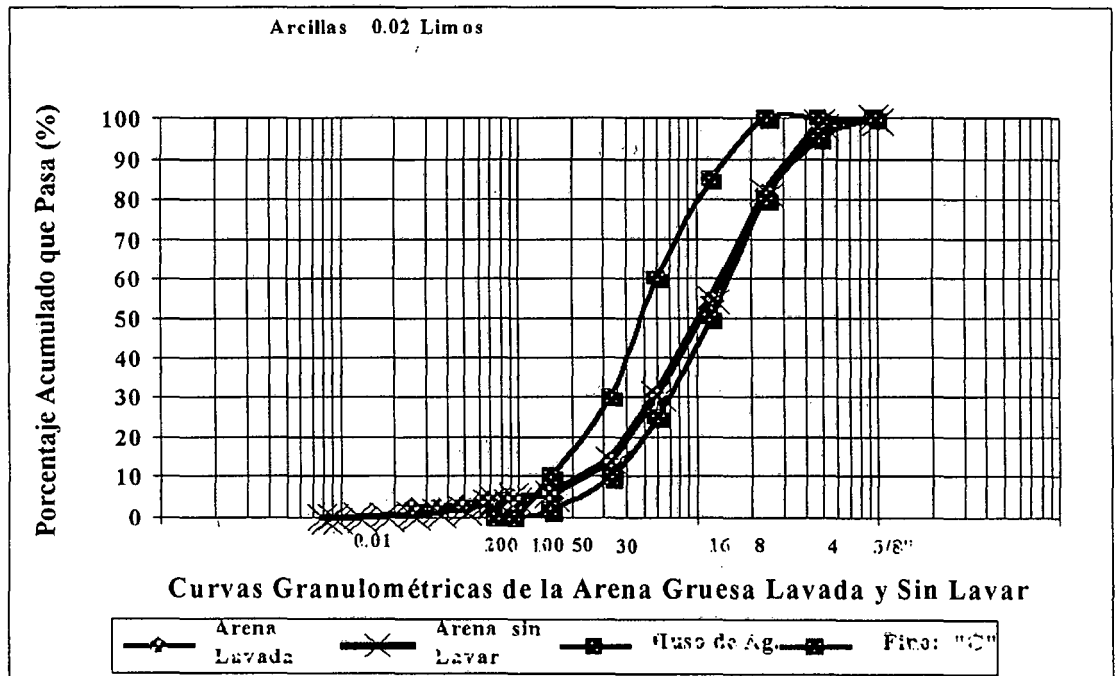
GRAFICA N° 1.6 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION DEL MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

1.1.4 Estudio del Contenido de Finos de la Arena Gruesa

Este estudio se realizó para determinar la cantidad de finos que posee y conocer si el porcentaje es significativo como para que justifique el lavado; de la arena. El ensayo se hizo por el método del hidrómetro según la norma ASTM D - 422, se describe en la sección teórica T-1, (pag 114). Los resultados se muestran en el Cuadro N° 1.10.

CUADRO N° 1.10 GRANULOMETRIA DE LOS FINOS DE LA ARENA GRUESA EN PORCENTAJE QUE PASA			
Tamiz	Sin Lavar	Tamiz	Lavada
0,0929	92%	0,0939	144%
0,074	74%	0,074	88%
0,0673	67%	0,0697	76%
0,0485	41%	0,05	54%
0,0347	26%	0,0354	50%
0,0248	15%	0,0252	45%
0,0176	10%		
0,0124	6%		
0,0091	2%		



GRAFICA N° 1.7 COMPARACION DE GRANULOMETRIAS DE LA ARENA LAVADA Y SIN LAVAR

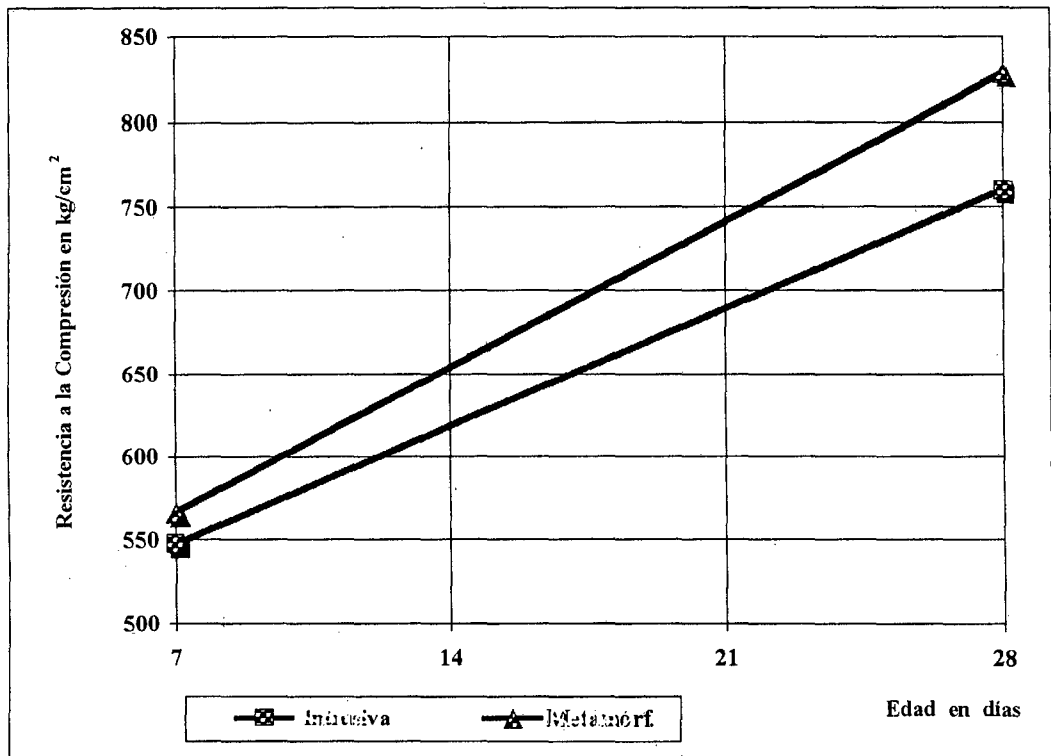
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

1.1.5 Influencia del Origen Geológico de los Agregados Gruesos

Este estudio se realizó con el objetivo de incrementar la resistencia del concreto mejorado la resistencia de las partículas del agregado.

Así se elaboró en el Laboratorio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones la piedra chancada proveniente de roca cuarcita, desafortunadamente las cuarcitas escogidas, presentaron alta porosidad, oxidación y la tendencia a romperse en forma laminar sin embargo a pesar de estas debilidades en su estructura interna resultaron ser muy duras para triturar. La granulometría con la que se le trabajó fue desfavorable también como se puede observar en el Cuadro N° 1.4. Los resultados de los ensayos se muestran en el Cuadro N° 1.11.

CUADRO N° 1.11 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VARIACION DEL ORIGEN GEOLOGICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS .		
Edad	Ignea intrusiva	Metámorfica
7 días	547,5	566,7
28 días	760,5	828,67
42 días	1136,36	1139,55



GRAFICA N° 1.8 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION DEL ORIGEN GEOLOGICO DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

1.2.6 ENSAYOS EN LA MICROSÍLICE

Este estudio se realizó por la necesidad de precisar la influencia de la microsíllice; a causa, de su elevado porcentaje de absorción y que dificultaba la preparación del concreto además de ocasionar un significativo desperdicio al momento del vaciado. Por tales motivos se determinaron algunas características físicas como el porcentaje de absorción, la velocidad de absorción del agua cuando se encuentra con y sin aditivo y el contenido de humedad; estos resultados se utilizaron en el diseño de mezclas. Además se hizo un análisis químico sobre las microsíllices utilizadas para determinar el porcentaje de pureza de SiO_2 .

Ensayo de Absorción:

Se aplicó el ensayo de absorción para agregados a la microsíllice con la finalidad de conocer el porcentaje de absorción que posee.

Los cálculos y resultados del ensayo se encuentran en el Anexo A-I ítem 1.8.

CUADRO N° 1.12 ENSAYO DE ABSORCION DE LA MICROSILICE			
N° de Ensayos	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
Porcentaje de Absorción	46,2%	44%	45%

Además se realizaron ensayos para calcular la velocidad de absorción de la microsíllice con agua y con agua más aditivo, los resultados fueron:

- La velocidad de absorción de la microsíllice en agua es de 0.025 ml/min.
- La velocidad de absorción de la microsíllice en agua con aditivo es de 0.040 ml/min.

Los cálculos y resultados del ensayo se encuentran en el anexo A-1.2.0

Ensayo de Contenido de Humedad:

Se realizó el ensayo de contenido de humedad sobre la microsíllice cuya fecha de caducidad había sido alcanzada.

Los cálculos y resultados del ensayo se encuentran en el anexo A-1.2

CUADRO N° 1.13 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD			
N° de Ensayos	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
Porcentaje de Humedad	0,10%	0,08%	0,09%

Composición Química de las Microsíllices:

Los contenidos de SiO_2 fueron de 93 % y 98.8 % para las microsíllices utilizadas. Estos resultados demuestran una alta reactividad así como la consiguiente capacidad de desarrollar altas resistencias a la compresión en los concretos.

1.3 ESTUDIOS DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO

Estos ensayos se realizaron para determinar la influencia de los tipos de cementos al combinarse con la microsíllice en presencia del aditivo pues como es sabido el cemento desarrolla una serie de reacciones químicas con el agua durante el proceso en el que sus partículas del estado sólido van adquiriendo propiedades cohesivas y plásticas hasta convertirse en un aglomerante; pero los cementos según sus tipos y sus componentes, van reaccionando de distinta forma para desarrollar sus propias características. Por otro lado los aditivos según su naturaleza influyen en este proceso modificando directamente las propiedades del concreto para las que ha sido destinado. Por lo que se considera determinante la compatibilidad química que exista entre estos tres elementos que influirá directamente en el comportamiento del concreto y sus propiedades.

Los estudios se realizaron en morteros por la facilidad de manipulación de éstos y según las normas NTP 334.006, 334.003. Se utilizó la arena gruesa de M.F de 3.14, obteniéndose resultados mediante comparación de características físicas y mecánicas y no por un análisis químico de los componentes del cemento, de los aditivos o de la microsíllice.

Las propiedades mecánicas determinadas fueron de fluidez, contenido de aire, resistencia a la compresión.

Los cementos utilizados fueron:

- Cemento Portland tipo I : Sol, Andino.
- Cemento Portland tipo II : Andino.
- Cemento Portland tipo V : Andino.
- Cemento Puzolánico IP : Atlas, Yura.
- Cemento Puzolánico IPM : Norte Pacasmayo.

Los aditivos utilizados y las microsíllices presentaron concretos con comportamientos muy similares por lo que se utilizó sólo una pareja de aditivo con microsíllice, de una sola marca.

- Diseño de Mezclas del Mortero. -

No se realizó un diseño de mezclas especial para morteros, pues el objetivo de este estudio fue comparar las resistencias de la pasta del concreto de alta resistencia para identificar variaciones marcadas que mostraría incompatibilidad entre los componentes; por tal motivo se utilizaron las mismas proporciones del concreto y la misma secuencia de mezclado.

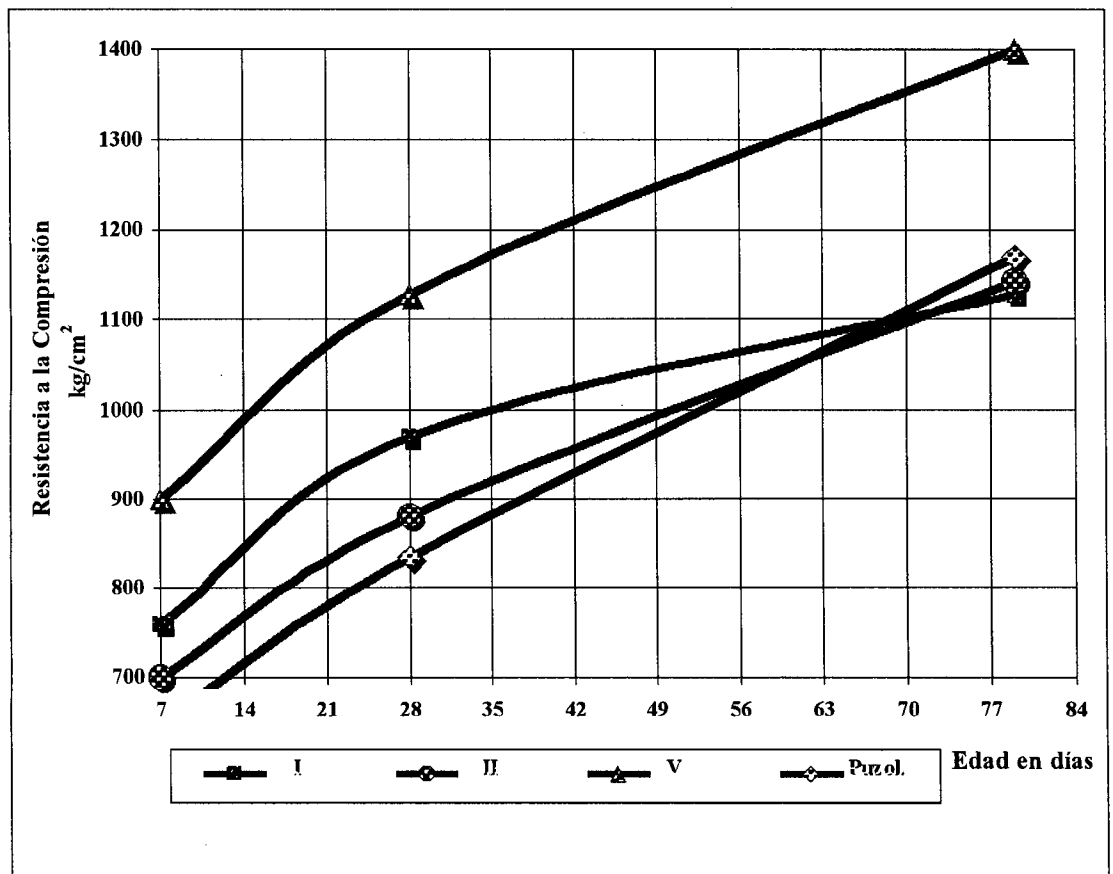
- Compatibilidad del Aditivo y la Microsíllice con el tipo de Cemento. -

Los ensayos se hicieron en probetas de 6" x 12" y de 4" x 8", las tandas de morteros fueron únicas para cada tipo de cemento. Los resultados no mostraron variaciones significativas demostrándose la compatibilidad de todos los cementos peruanos.

Los cementos tipo IPM mostraron resistencias solo de 700 kg/cm² a los 90 días de edad, por tal motivo no se continuó estudiándolos.

CUADRO N° 1.14 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION kg/cm ²					
Morteros	TIPOS DE CEMENTOS				
Días	I	II	V	Puzolánico	IPM
7	759	700	900	650	
28	970	880	1129	834	
42	1015	955	1205	925	
79	1128	1143	1400	1170	
90					700

CUADRO N° 1.15 CARACTERISTICAS FISICAS				
MORTEROS CON DIFERENTES TIPOS DE CEMENTOS				
Cementos	I	II	V	IP
Slump	2"	3 3/4"	3"	3/4"
% de Aire	3,60%	4%	4%	4%



GRAFICA N° 1.9 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION DEL TIPO DE CEMENTO

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

1.4 ESTUDIO DEL MATERIAL DE CAPEADO DE LAS PROBETAS

Este estudio se realizó debido a que en los ensayos de resistencia a la compresión, el capping se destrozaba mucho antes de que la probeta llegue a su estado de rotura.

El material de cabeceo tiene la función de distribuir uniformemente las cargas de la prensa hidráulica a las probetas, por tal motivo es de mayor resistencia que las probetas de concreto. Se estudiaron las proporciones y los componentes que asegurarían un capping de alta resistencia así como se planteó la alternativa de utilizar triplay de 8mm.

Ensayos efectuados en Capping. -

El capping patrón comúnmente se elabora con azufre y bentonita, en las proporciones de 60% y 40% respectivamente y se ensaya en dados de 5 cm por 5 cm. Los materiales con los que se combinó el Azufre y se realizaron los ensayos fueron:

- Microsilice.
- Arena que pasa la malla N° 100.
- Arena que pasa la malla N° 200.

En las proporciones de 60% de Azufre y 40% de los otros materiales.

CUADRO N° 1.16 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PROPORCIONAMIENTO PARA CAPEADO ENSAYADOS		
Capping	Proporciones	Resistencia
Patrón	60% S+ 40% B	320 kg/cm ²
Azufre+ Microsilica	60% S+ 40% MS	420 kg/cm ²
Azufre + Fino N° 100	60% S+ 40% N° 100	500 kg/cm ²
Azufre + Fino N° 200	60% S+ 40% N° 200	670 kg/cm ²

Como se puede observar no se pudo hallar las proporciones ni los materiales adecuados para un capping que diera resistencias del orden de los 800 a 1200 kg/cm². En México con la combinación de azufre y arena que pasa la malla N° 200 se alcanzó 880 kg/cm² ⁽¹⁰⁾.

Ensayos utilizando triplay de 8 mm. -

Se hizo necesario buscar una alternativa para reemplazar el capping y realizar con éxito los ensayos de resistencia a la compresión; por tal motivo se realizaron ensayos comparativos de roturas de probetas de las mismas calidades con capping y con triplay de 8 mm no presentándose diferencia entre los resultados. Por tal motivo se utilizó triplay de 8 mm en los ensayos.

El uso del triplay está limitado a dos ensayos antes que se deforme y no pueda cumplir con su función.

En el mercado existe un material de cabeceo hecho de neopreno cuyo número de usos también está limitado pero para el presente estudio no se llegó a utilizar ese material.

1.5 ESTUDIO DEL FACTOR DE CORRELACION EN PROBETAS DE 4" x 8" y 6" x 12"

Este estudio se realizó para determinar el valor de correlación entre los resultados de las probetas ensayadas con los moldes de 4 x 8 pulgadas y de 6 x 12 pulgadas.

Para usar los moldes de tamaños de 6" x 12" pulgadas, se cuenta con los procedimientos de moldeo normalizados; sin embargo, las probetas de estas dimensiones al ser utilizadas para concretos de alta resistencia, requieren de una máquina de ensayo a compresión de 300 tn de capacidad, razón por la que el uso de los moldes de 4" x 8" pulgadas resultaría más accesible; así surgió la necesidad de un estudio sobre los resultados de ambos y conocer si es que existe un factor de correlación entre los valores obtenidos con las probetas de 4" x 8" y las de 6" x 12".

Secuencia del Estudio. -

Se realizaron en dos grupos para conocer si existía una correlación entre los valores:

a) Concreto de Normal y Mediana Resistencia:

Se inició este estudio preparando mezclas de concreto de las calidades:

- Baja : $f'c = 140$ kg /cm².
- Mediana : $f'c = 175, 210$ kg /cm².
- Alta : $f'c = 550$ kg /cm².

No se ensayaron las siguientes calidades de concreto:

- $f'c = 350$ kg/cm²
- $f'c = 420$ kg/cm²

b) Concreto de Alta Resistencia:

Las mezclas de los concretos de alta resistencia se prepararon con dos distintos tamaños de agregados, con fines de comparar los resultados.

- Mezclas con tamaño nominal máximo de 3/4".
- Mezclas con tamaño nominal máximo de 3/8".

- Preparación de las Probetas. -

Se moldearon las probetas grandes y pequeñas con la misma mezcla para ensayarse posteriormente a la misma edad; se realizó de ésta manera para que la comparación de los resultados sea lo más representativa posible.

- Propiedades Determinadas. -

Se realizaron los ensayos comparativos en concreto endurecido de:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción por compresión diametral.

Resultados.

a) Factor de Correlación para Concretos de Resistencias Normales y Medianas.

Los resultados de resistencia a la compresión de concretos de resistencias usuales en las probetas pequeñas son muy altos con respecto a los resultados obtenidos con las probetas grandes pero se constató una disminución de esta variación en función de la edad hasta llegar a valores casi iguales a una edad muy avanzada del concreto.

Así se halló que el valor del factor de correlación para este caso es menor que 1.00.

Se presenta el siguiente Cuadro con los valores provisionales hallados.

CUADRO N° 1.17 FACTOR DE CORRELACION ENTRE LAS PROBETAS DE 4" x 8" y 6" x 12"		
Calidad	Edad	Factor de Correlación
140 kg/cm ²	28 días	0,71
175 kg/cm ²	28 días	0,74
210 kg/cm ²	40 días	0,91

Los ensayos para concretos de calidades bajas y normales no se continuaron a causa de que los resultados presentaban mucha variabilidad para hallar el factor que los correlacionaría, se necesita un estudio profundo y exclusivo así como una mayor cantidad de muestras, los valores que se presentan no son definitivos pero al menos indican que el factor de correlación para concretos de estas calidades si existe.

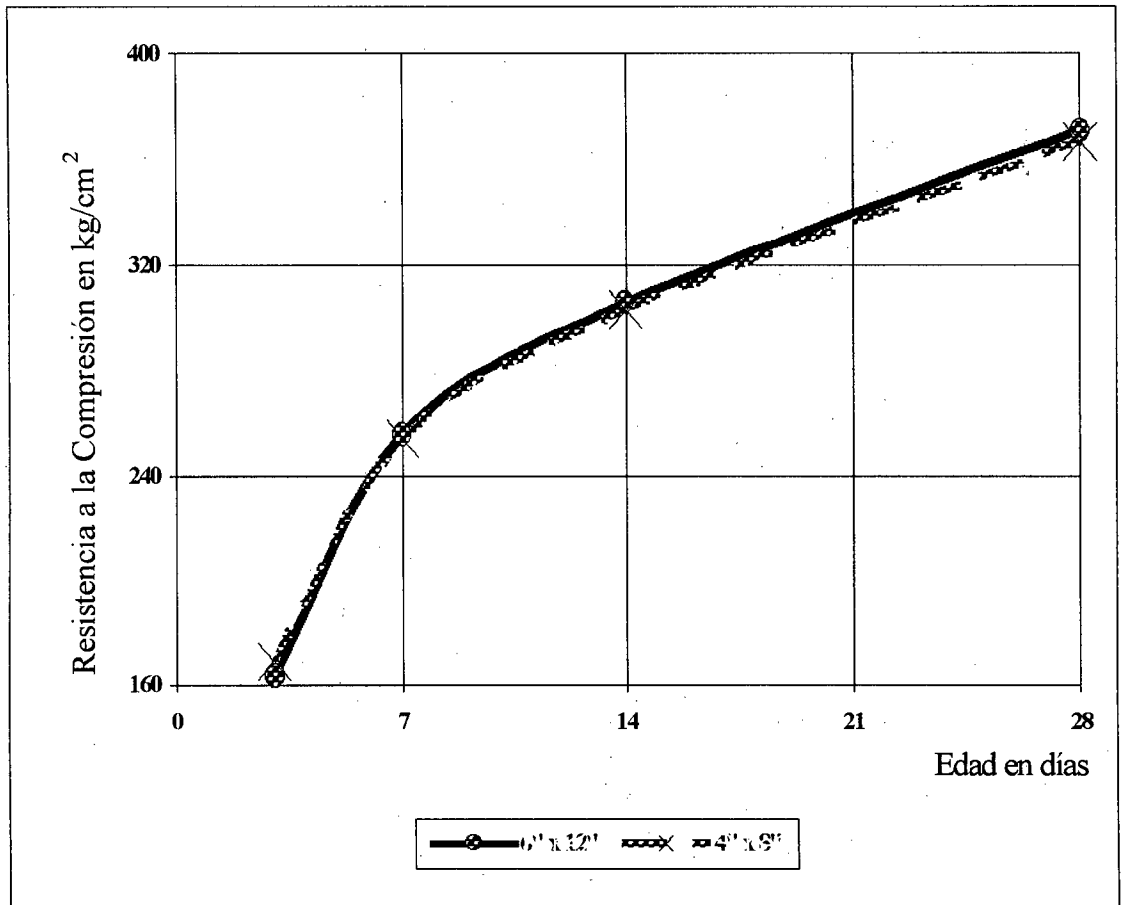
b) Factor de Correlación para Concretos de Altas Resistencias.

El valor del factor de correlación hallado es aproximadamente 0.95. En cada edad que se ensaya, los valores de las resistencias en ambos tamaños son similares sin influir el tamaño nominal máximo del agregado grueso como se muestra en los cuadros y gráficos siguientes.

– Resistencia a la compresión con agregado de tamaño nominal máximo de 3/8".

Se presentan los promedios de los resultados obtenidos en los ensayos aplicados a los concretos de mediana y alta resistencia. En el anexo A-1.5.0 se encuentran los valores obtenidos para cada edad:

CUADRO N° 1.18 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION COMPARACION DE RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE 4"x8" y 6"x12"		
Agregado	Tamaño nominal máximo de 3/8" pulgadas	
Edad	Molde de 4 x 8 pulgadas	Molde de 6 x 12 pulgadas
3	169	164
7	254	256
14	303	306
28	367	371



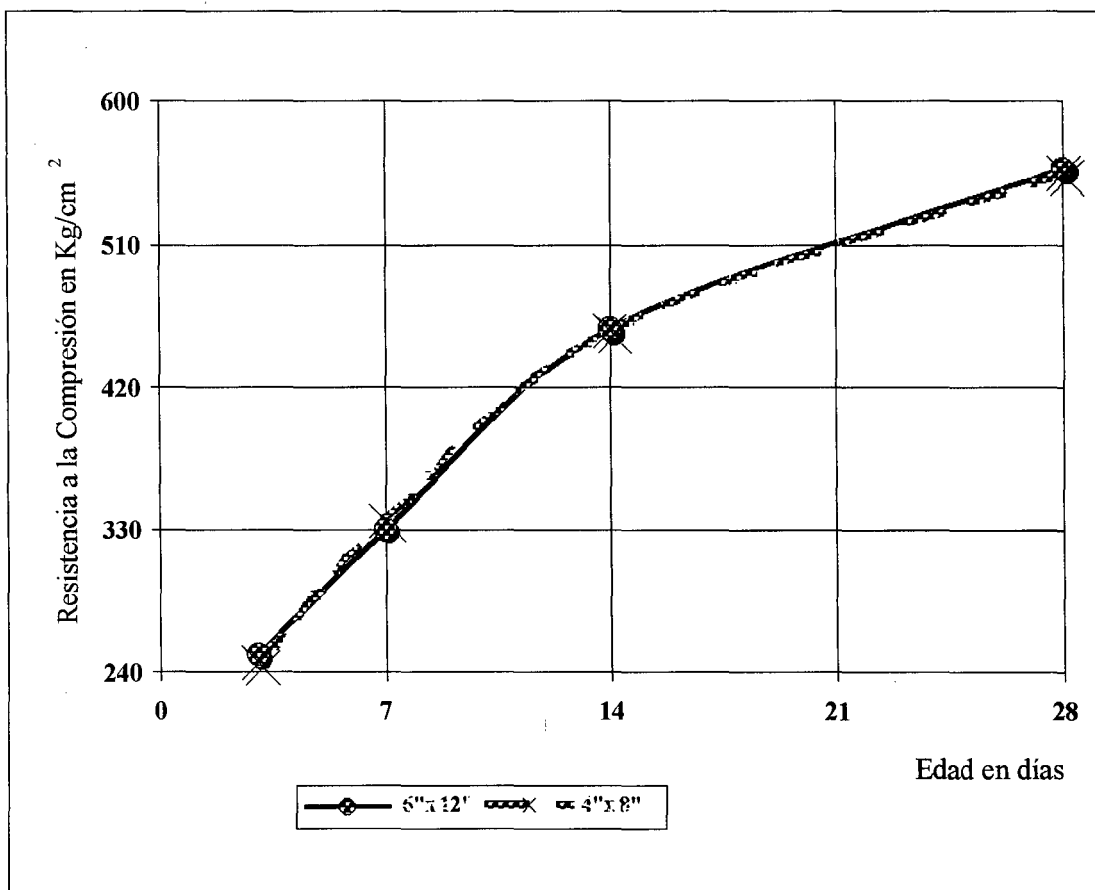
GRAFICA N° 1.10 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION
VARIACION DEL TAMAÑO DE LAS PROBETAS

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

- Resistencia a la compresión con agregado de tamaño nominal máximo de 3/4”.-

Se presentan los resultados obtenidos de los ensayos aplicados a los concretos de mediana y alta resistencia, con otro tamaño nominal máximo de agregado para comprobar los resultados anteriores:

CUADRO N° 1.19 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE LAS PROBETAS DE 4"x8" y 6"x12"		
Agregado	Tamaño nominal máximo de 3/4 ” pulgadas	
Edad	Molde de 4 x 8 pulgadas	Molde de 6 x 12 pulgadas
3	246	251
7	336	330
14	456	457
28	555	558



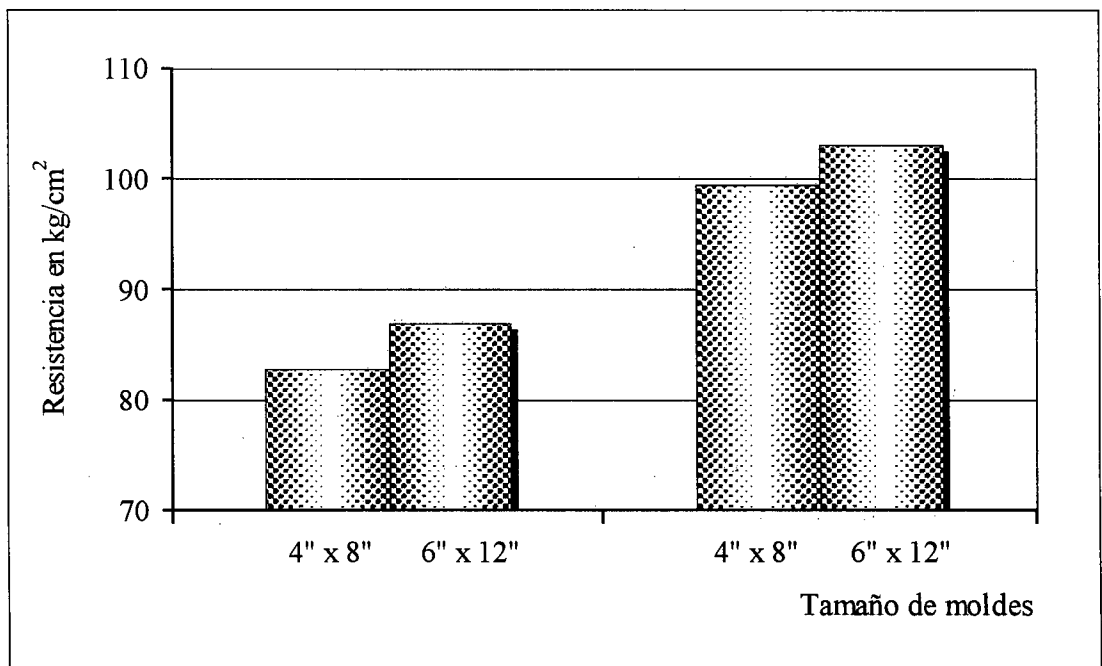
GRAFICAN° 1.11 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION
VARIACION DEL TAMAÑO DE LAS PROBETAS.

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

– Resistencia a la Tracción con Agregado de Tamaño Nominal Máximo de 3/4”.-

Estos ensayos se realizaron solamente con el agregado de tamaño nominal máximo de 3/4” y con mezcla de concreto de alta resistencia, de acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro N° 1.20 se concluye que la variación es mínima y puede establecerse un factor de correlación de 0.95

CUADRO N° 1.20 ENSAYO DE RESISTENCIA LA TRACCION COMPARACION DE RESULTADOS ENTRE LAS PROBETAS DE 4 "x 8 " y 6 "x 12 "				
Edad de 42 días con tamaño nominal máximo de 3/4"				
Cemento Andino + Euco + MS			Cemento Sol + Sika + MS	
N°	4 x 8 pulg.	6 x 12 pulg.	4 x 8 pulg.	6 x 12 pulg.
1	82,76	89,13	101,86	103,27
2		84,88	97,08	
Promedio	82,76	87,01	99,47	103,27



GRAFICA N° 1.12 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION DEL TAMAÑO DE LAS PROBETAS

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

Capítulo II

DISEÑO DE MEZCLAS

Estudio de la Secuencia de Mezclado

II-1 DISEÑO DE MEZCLAS.-

El diseño de mezclas, es una secuencia ordenada de procedimientos, que conforman un método de diseño con el objetivo de calcular las proporciones de los materiales componentes de la mezcla. Se aplican criterios teóricos experimentales según las características físicas y mecánicas de los agregados, del tipo de cemento a utilizar, de las características plásticas y las resistencias mecánicas del concreto requerido, de las condiciones de la obra a las que estará expuesto y del tipo de aditivo que se utilizará. Con tales pautas se calcula, la cantidad óptima de cemento, de aditivo, de agregados y de agua a utilizarse de manera que el costo del metro cúbico de mezcla de mortero o concreto resulta económicamente conveniente.

Los criterios para realizar los diseños de mezcla son aplicados según las condiciones particulares de los materiales, clima, temperatura y obra del que será parte el concreto, por tal motivo no existe una receta a seguir sino por el contrario se necesita del conocimiento del comportamiento de los materiales para realizar un diseño de mezcla que obtenga un satisfactorio concreto o mortero económico.

2.1 Método de Diseño de Mezcla Utilizado.-

Existen varios métodos para el diseño de mezclas, de los cuáles uno de los más conocidos es el método del ACI-211 el mismo que se aplicó en este estudio; las proporciones de los agregados se calcularon con el método del Agregado Global.

- Método del ACI – 211.-

En el método de diseño del ACI-211, se hace uso de las tablas de cálculo de la cantidad de agua para el tamaño nominal máximo del agregado y con 3 pulgadas de asentamiento, así mismo se calcula el porcentaje de aire atrapado de la mezcla.

2.2 Secuencia de Diseño de Mezcla en el Concreto Patrón.-

La secuencia seguida es la típica para cualquier diseño de mezclas; las proporciones calculadas para el concreto patrón serán las mismas para los concretos en las fases con aditivo y con aditivo más microsílíce.

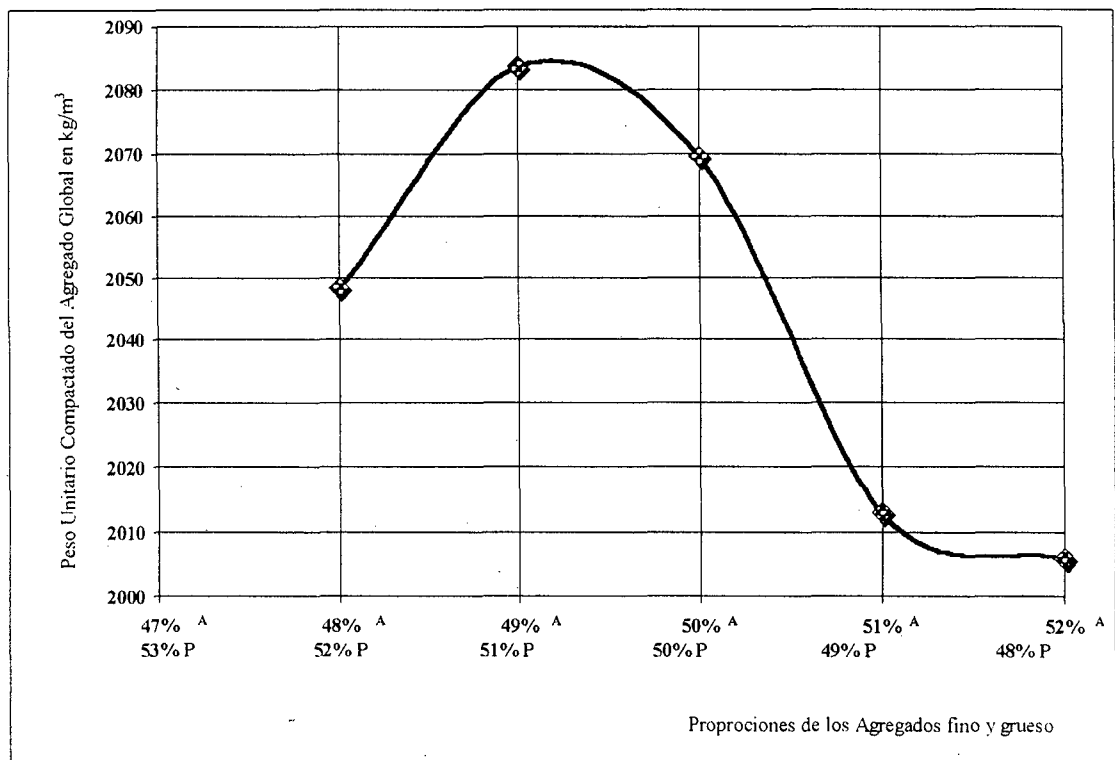
Cálculo de las Proporciones de los Agregados con el Método del Agregado Global.-

Este método está basado en el criterio del mejor acomodo de las partículas de los gruesos y los finos, a ésta característica le corresponde el valor del máximo peso unitario compactado.

Para hallar las proporciones óptimas se obtienen varios valores probables y luego se les gráfica eligiéndose el par correspondiente al pico mayor de la curva.

Para nuestro caso tenemos los datos mostrados en el Cuadro N° 2.1 con los que se realizó la Gráfica N° 2.1, para el cálculo del máximo peso unitario compactado que resultó aproximadamente: 50% de arena y el 50% de piedra.

CUADRO N° 2.1 PESOS UNITARIOS COMPACTADOS DE DISTINTAS PROPORCIONES DE ARENA Y PIEDRA					
% de los Agreg.	48% Arena 52% Piedra	49% Arena 51% Piedra	50% Arena 50% Piedra	51% Arena 49% Piedra	52% Arena 48% Piedra
P.U.C	2048,31	2083,63	2069,5	2013	2005,93



GRAFICA N° 2.1 MAXIMA DENSIDAD DEL AGREGADO GLOBAL

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

Primer Tanteo: Proporciones Calculadas de los Materiales.-

En el Cuadro N° 2.2 se presentan las proporciones halladas en el primer tanteo, con agregado de tamaño nominal máximo de 3/4" para un asentamiento de 3" pulgadas. La secuencia paso por paso se presenta en el capítulo 5.4 .

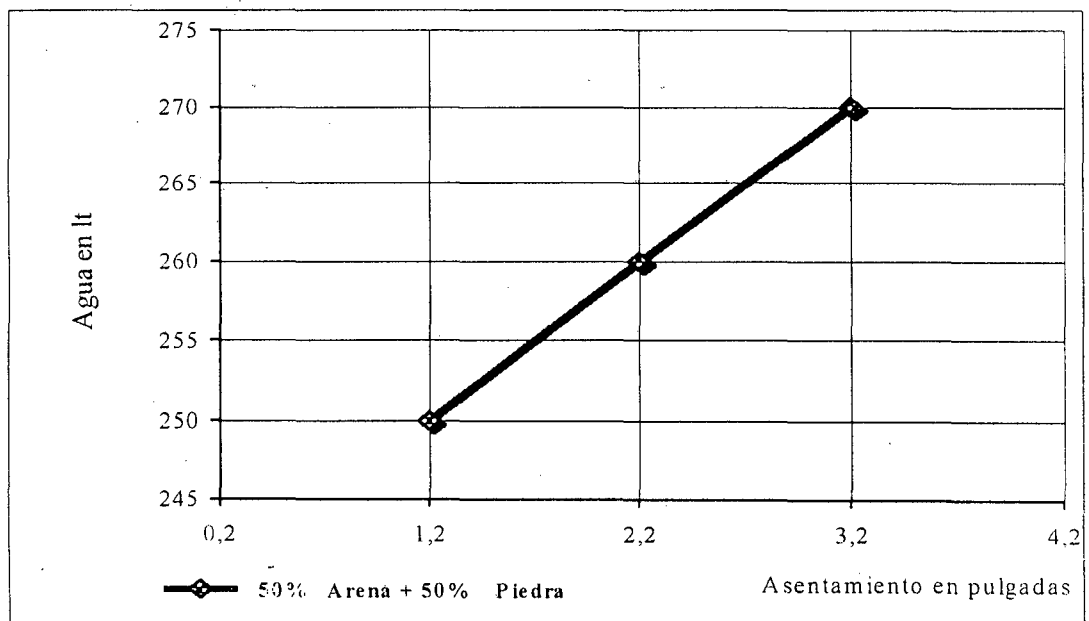
CUADRO N° 2.2 PROPORCIONES HALLADAS EN EL PRIMER TANTEO					
Cemento	Agua	Arena	Piedra	Slump de Diseño	Slump Resultante
513 kg	198.9 lt	749.8 kg	781,15	3"	0"

Al preparar la mezcla de concreto el slump resultante fue de 0"; con éste asentamiento el concreto no es trabajable, por lo que se tuvo que tantear nuevamente aumentando la cantidad de agua y para mantener la calidad del concreto se mantiene la relación agua-cemento por lo que se aumentó la cantidad de cemento.

Cálculo de la Cantidad de Agua.-

Para el cálculo de la cantidad de agua correspondiente a un determinado slump, se realizan diversos tanteos con el objetivo de hallar la cantidad de agua correspondiente al asentamiento requerido. En la tesis se efectuaron tres diseños con tres asentamientos cercanos a 2" pulgadas, con los datos obtenidos se dibujó una gráfica para hallar la cantidad correspondiente de agua a 2" pulgadas de asentamiento, a continuación se muestran los resultados:

CUADRO N° 2.3 RESULTADOS DE SLUMP PARA CADA CANTIDAD DE AGUA EN TANDAS DE PRUEBA			
Ag. Global	50% Arena + 50% Piedra		
Agua en lt	250	260	270
Slump en pulgadas	1,2"	2,2"	3,2"



GRAFICA N° 2.2 CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

Comprobación de las Proporciones de los Agregados.-

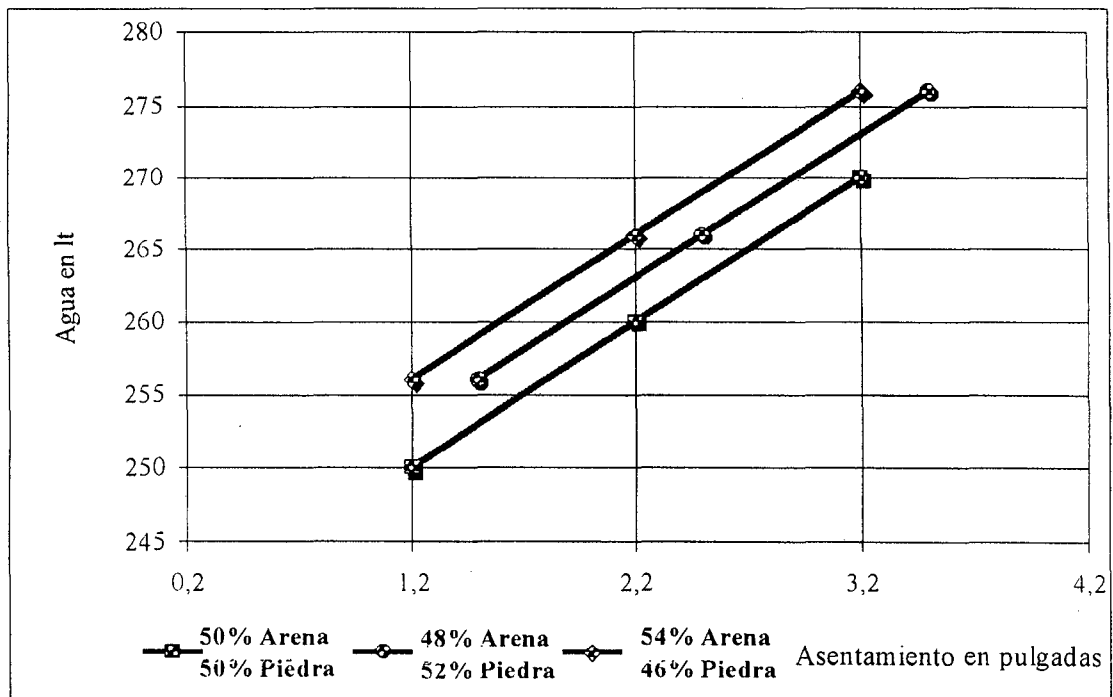
Conocida la cantidad de agua se comprueban las proporciones de los finos y los gruesos preparándose probetas de concreto con las tres proporciones de agregados más cercanas al máximo peso unitario compactado hallado.

En la tesis se utilizaron las siguientes proporciones:

46% Arena + 54% Piedra; 50% Arena + 50% Piedra; 52% Arena + 48% Piedra

Las mezclas preparadas deben tener el mismo asentamiento por lo que se les calcula la cantidad de agua requerida para 2" de slump como se describe en el ítem anterior. En el Cuadro N° 2.4, se muestra un resumen de los resultados de los tanteos efectuados.

CUADRO N° 2.4 CALCULO DEL SLUMP DE DISEÑO SLUMP RESULTANTE PARA CADA CANTIDAD DE AGUA			
Ag. Global	48% Arena + 52% Piedra		
Agua en lt	256	266	
Slump en pulg	1,5"	2,5"	
Ag. Global	50% Arena + 50% Piedra		
Agua en lt	250	260	270
Slump en pulg	1,2"	2,2"	3,2"
Ag. Global	54% Arena + 46% Piedra		
Agua en lt	256	266	
Slump en pulg	1,2"	2,2"	



GRAFICA N° 2.3

CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA DE DISEÑO

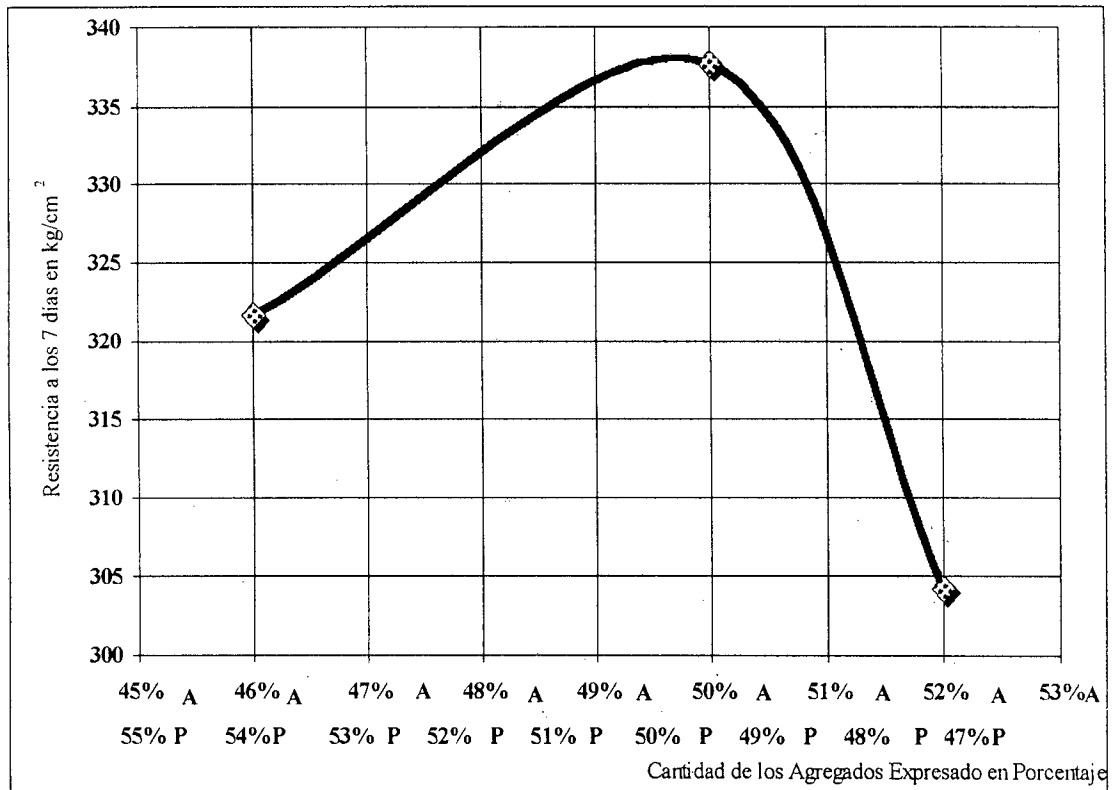
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

Se preparan probetas de concreto con dichos tres pares de proporciones y se ensayan en compresión a los 7 días de edad; con la gráfica de resultados se comprueban o se corrigen las proporciones de los agregados, tal como se muestra en el Cuadro N° 2.5

En este estudio se determinó un proporcionamiento óptimo de 50% Arena y 50% Piedra. Con estas proporciones se elaboraron los concretos de las etapas: preliminar, primera y segunda.

En el Anexo A-2.0 se muestran en detalle los resultados de los ensayos.

CUADRO N° 2.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION A 7 DIAS CON Tn.m 3/4"	
Porcentaje	Promedio
54%Arena 46%Piedra	321.673 kg/cm ²
50% Arena 50%Piedra	337.481kg/cm ²
48% Arena 52%Piedra	319.99 kg/cm ²



GRAFICA N° 2.4 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VERIFICACION DE LAS PROPORCIONES DE ARENA Y PIEDRA

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

Diseño de Mezcla Final Aplicado a las Etapas: Preliminar, Primera y Segunda.

Como resultado de varias mezclas de prueba, corregidas iterativamente se halló el siguiente proporcionamiento con las características del concreto proyectado: asentamiento de 2" pulgadas, una relación agua-cemento 0.42, con agregado de tamaño nominal máximo 3/4" pulgadas.

CUADRO N° 2.6 PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO PATRON					
Cemento	Agua	Arena	Piedra	Slump de Diseño	% Aire
600 kg	252 lt	728.52 kg	796,4	2"	2%

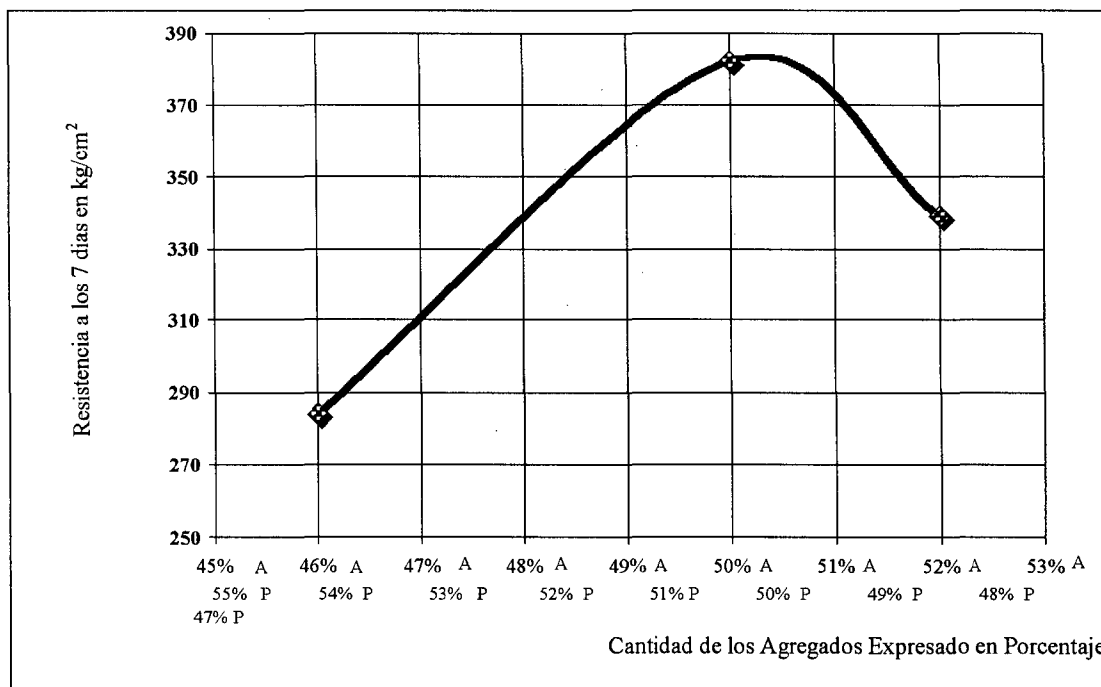
Diseño de Mezcla Final Aplicado a la Etapas: Tercera

En la tercera etapa, se prepararon los concretos con tamaño nominal máximo de 1/2", con lo agregados ígneos y cuarcíticos. Por lo tanto fue necesario verificar los porcentajes de agregados finos y gruesos para este diseño de mezcla y se prepararon probetas de concreto, las que se ensayaron a los 7 días de edad.

Las proporciones de 50% de Arena + 50% de piedra cumplieron para el agregado grueso de 1/2" pulgada, por tal motivo se mantuvo esta proporción.

Los resultados se dan en el Cuadro N° 2.7.

CUADRO N° 2.7 ENSAYOS DE RESISTENCIA A 7 DIAS CON TAMAÑO NOMINAL MAXIMO 1/2"			
Porcentaje	54% Arena 46% Piedra	50% Arena 50% Piedra	48% Arena 52% Piedra
Promedio	283,93	381,97	339,11



GRAFICA N° 2.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION VERIFICACION DE LAS PROPORCIONES DE ARENA Y PIEDRA
 Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

2.3 Secuencia de Diseño de Mezcla en Concreto con Aditivo.-

El procedimiento del diseño de mezcla es el mismo que en el caso de concreto patrón, la diferencia se encuentra; en que el aditivo super-plastificante tiene la capacidad de reducir agua a la mezcla pero esto no modifica el diseño original.

Dosificación del Aditivo Compatible con la Microsílice.-

En la etapa preliminar se buscó aquella dosificación del aditivo que pueda reducir al máximo el agua para alcanzar la máxima resistencia con un asentamiento de 2" a 3" pulgadas; sin embargo se observó que cuando se añadió la microsilice se obtuvo un concreto muy seco por lo que se tuvo la necesidad de añadir agua y aditivo en cantidad suficiente hasta obtener un asentamiento de 2" a 3". Es de notar que cumplía con el proporcionamiento que daba la mayor resistencia a la compresión. Se describe a continuación el proceso paso a paso:

Primer Tanteo.-

La etapa preliminar se inició utilizando rangos de valores recomendados por los distribuidores indicados en su ficha técnica, resultando lo óptimo 3 lt por m³.

Los aditivos que se utilizaron fueron el Euco 537 y el Sikament 10.

Se realizaron las tandas de prueba teniendo como base el ensayo de trabajabilidad empleando el cono de Abrahams. Una vez hallada experimentalmente la cantidad de aditivo para la mezcla se prepararon las probetas para determinar su resistencia a la compresión a los 7 días de edad.

En esta Tesis se halló que la cantidad de aditivo necesaria para obtener 2 pulgadas de slump, eran 3 lt y 5 lt por metro cúbico. La cantidad del agua de la mezcla disminuyó de una relación agua a cemento de 0.42 a 0.34 y 0.36, respectivamente. Finalmente se prepararon las probetas para ensayarse a compresión a los 7 días de edad, los resultados se muestran en el siguiente Cuadro N° 2.8.

CUADRO N° 2.8 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA HALLAR LA CANTIDAD OPTIMA DE ADITIVO PARA 2" DE SLUMP				
Aditivo	3 lt por m ³	5 lt por m ³	Area	Presión
Resistencia	365,96	252,41	192,36	1,90

Se escogió la dosificación más económica, por que no se encontró una diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la compresión obtenidos. En este caso se determinó una dosificación de 3 lt/m³, en ambas marcas de aditivos, los que mostraron similar comportamiento.

Dosificación Final del Aditivo para Evaluar sus Propiedades a los 7, 28 y 90 días.-

Con los 3 lt/m³ de aditivo y la relación a/c=0.36 a la que reducía esta dosificación, se elaboró el concreto con microsilice resultando insuficiente esta cantidad para darle trabajabilidad al concreto, por lo que se tuvo que añadir aditivo y se hallaron para esa condición 9 lt de aditivo con la relación de a/c=0.42.

La dosificación usada en la fase de concreto con aditivo más microsilice fue de 9 lt por m³ y es con ésta cantidad con la que se evaluaron las propiedades del concreto en las fases de concreto con aditivo y concreto con aditivo más microsilice.

2.4 Secuencia de Diseño de Mezcla en Concreto con Aditivo más Microsílice.-

El procedimiento del diseño de mezcla es el mismo que en el caso de concreto patrón, la diferencia se encuentra en que ahora se añade aditivo super plastificante y la microsíllice pero esto no modifica realmente el diseño original.

Dosificación de la Microsílice.-

La microsíllice se utiliza como aditivo, es decir no se reemplaza su equivalente de cemento, éste hecho ayuda a conservar el volumen de un metro cúbico de concreto pues se desperdicia bastante mezcla en los procesos de mezclado y vaciado.

Teóricamente se obtendría algo más de un metro cúbico de mezcla y en ese caso debería sobrar la mezcla pero no es así en la práctica debido a que la microsíllice es un material difícil de manipular y se desperdicia bastante en el proceso de mezclado, aún cuando se ensayaron diversos procedimientos de mezclado y se escogió el óptimo, existe un desperdicio.

Se realizaron ensayos con el 10%, 15%, 17% y 20% de microsíllice en peso de cemento, se presenta en el Cuadro N° 2.9, un resumen de los volúmenes que estarían resultando el utilizar la microsíllice como aditivo.

CUADRO N° 2.9 VOLUMENES DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO CON DIFERENTES CANTIDADES DE MS	
Volumen total en m ³ de la mezcla con 10% MS	1,047
Volumen total en m ³ de la mezcla con 15% MS	1,061
Volumen total en m ³ de la mezcla con 17% MS	1,067
Volumen total en m ³ de la mezcla con 20% MS.	1,074

Se realizaron tandas de prueba para calcular el slump y la resistencia a compresión; de los resultados se eligió aquel que presentó mayor resistencia a la compresión así como un slump adecuado y menor consumo de aditivo.

En el Cuadro N° 2.10 se muestran los resultados de los tanteos efectuados:

GRAFICA N° 2.10 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION EDAD DE 7 DIAS DEL CONCRETO c/ ADITIVO + MICROSILICE				
Microsilica	10%	15%	17%	20%
Slump	2"	1"	1/2"	0,2"
Resistencia	517	494	570,41	No Trabajable

En todas estas dosificaciones se practicaron ensayos en estado fresco, los resultados se muestran en el capítulo III. Las mezclas con mayor contenido de microsíllice requieren probablemente de mayor cantidad de agua y aditivo; por resultar

antieconómico y por necesitar de un estudio especial no se continuó con las proporciones de 17% y 20%.

La microsílíce actúa a partir de edades mayores a los 7 días por tal motivo los resultados presentados en el Cuadro N° , no reflejan el comportamiento en estado endurecido de estas proporciones, pero ante la imposibilidad de esperar 28 días para continuar, se decidió tomar el porcentaje del 10% para optimizar.

Diseño de Mezclas Propuesto con Aditivo más Microsílíce.-

En el diseño de mezcla de concreto con aditivo más microsílíce se siguió el procedimiento normal de diseño anteriormente mencionado y sólo se varió el cálculo de la corrección del contenido de agua, efectuándose esta por agregados y por microsílíce.

Al no ser considerados en el diseño los volúmenes de microsílíce, ni de aditivo, resulta un volumen total de 1,047 m³; en cambio, al ser considerados se hubiera obtenido un metro cúbico de mezcla, quedando entonces como sugerencia para diseñar el concreto con aditivo y con microsílíce incluir los volúmenes de los aditivos superplastificantes y la microsílíce.

Proporciones del Concreto con Aditivo y Microsílíce.-

Las cantidades de los materiales y las proporciones que se definieron en esta tesis son didácticas, al aplicarlas en obra se obtendrán resultados correspondientes a concretos de alta resistencia, pero con limitaciones tales como:

- Cantidad de cemento: El ACI observa el uso de 550 kg a 600 kg de cemento por metro cúbico de concreto.
- Cantidad de microsílíce: Es recomendable su uso del 10% al 15% del peso de cemento.
- El costo de concreto por metro cúbico de concreto es muy elevado.

Luego de varias mezclas de prueba se hallaron las proporciones finales con las que se elaboró la tesis, obteniéndose un concreto con relación $a/c = 0,36$:

GRAFICA N° 2.11	
PROPORCIONES FINALES	
Materiales	Pesos
Cemento	600
Agua	269
Arena	727,2
Piedra	756,4
Microsilica	60
Aditivo	9,9

II-2 ESTUDIO DE LA SECUENCIA DE MEZCLADO

El estudio, se realiza en la segunda etapa de la tesis pues se observó en las probetas ensayadas la presencia de grumos de microsílíce sin dispersarse; además se presentan cambios significativos en la trabajabilidad y la resistencia a la compresión al cambiar el orden de ingreso de los materiales al trompo.

El estudio del óptimo procedimiento de mezclado se basa en la adecuada dispersión de los aditivos en la mezcla, esto depende del orden en que se ponen en contacto los materiales con el aditivo y con el agua así como del tiempo de batido.

Metodología.-

La metodología se hace evaluando las propiedades físicas de las mezclas elaboradas, variando el orden de ingreso de los materiales al trompo.

Los estudios se realizan en morteros de 5 x 5 cm por la facilidad de la manipulación de estos sin embargo para la elección final del óptimo procedimiento de mezclado se prueban las tres mejores mezclas de mortero en concreto.

Las propiedades evaluadas en morteros fueron plasticidad, contenido de aire y resistencia mecánica. Los cementos que se utilizaron fueron cemento Portland tipo I: Sol, Andino.

Con los aditivos y las microsílíces utilizadas, se obtuvieron concretos con similares comportamientos por lo que se puede concluir que pertenecen al mismo grupo de clasificación de aditivos; se utilizó sólo una pareja de aditivo con microsílíce de una sola marca.

Diseño de Mezclas del Mortero.-

No se realizó un diseño de mezclas especial para morteros, se utilizaron las mismas proporciones del concreto.

Resultados de los Ensayos.-

Se presenta un resumen de los ensayos realizados, de los cuales por comparación de sus resultados se elige el de mayor resistencia a la compresión así como el de mayor fluidez.

En los ensayos descritos a continuación se utiliza y comprueba la dosificación de aditivo de 9 lt por m³, y se aprovecha la oportunidad para tantear con otras dosificaciones. Así mismo se estudia la forma óptima de añadir el aditivo y la microsílíce a la mezcla.

En todos estos casos se utiliza el mismo orden de ingreso de los materiales a la mezcladora, descrito en el Cuadro N° 2.12, considerándose lo siguiente:

- MI : Microsílice remojada por 24 horas con la mitad del agua + el aditivo (9 lt).
- MII : Microsílice remojada por 24 horas con la mitad del agua + el aditivo (6lt).
- MIII : Microsílice remojada por 24 horas con toda el agua + el aditivo (9 lt).
- MIV : Microsílice remojada por 24 horas con toda el agua + el aditivo (12 lt).
- MV : Microsílice disuelta en la mitad del agua + todo el aditivo (12 lt).
- MVI : Microsílice disuelta en la mitad del agua + todo el aditivo (6 lt).
- MVII: Microsílice disuelta en la mitad del agua + todo el aditivo (9 lt).

CUADRO Nº 2.12 ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Y FLUIDEZ ELECCION DE LA CANTIDAD DEL ADITIVO POR COMPARACION DE RESULTADOS							
Secuencia: Arena + Cemento + (MS+Adit+1/2 Agua) + 1/2 Agua							
Muestras	MI	III	MIII	MIV	MV	MVI	MVII
Fluidez	129%	Mal batido	87%	107%	132%	102%	124%
Resistencia en kg/cm ²	452 kg/cm ²	Muy seca	385 kg/cm ²	450 kg/cm ²	565 kg/cm ²	486 kg/cm ²	706 kg/cm ²

Los resultados para la muestra MVII, son los únicos que son satisfactorios; sobre la base de ésta se sigue ensayando con la dosificación de 9 lt de aditivo por metro cúbico de concreto, variándose la forma de añadir la microsílice de la manera siguiente:

- MVIII : La microsílice disuelta en mitad del agua + todo el aditivo(9lt).(comprob.)
- MIX : La microsílice disuelta en la mitad del agua
- MX : La microsílice disuelta en toda el agua + todo el aditivo.

En este grupo se varia la forma de añadir el aditivo a la mezcla.

- MXI : Arena + C+(ms+2/5 Agua) + 3/5 Agua con Aditivo.
- MXII : Arena + C+ ms+(2/5 Agua con todo Aditivo) + 3/5 Agua.
- MXIII : Arena + C+ms+ (3/5 Agua con todo el aditivo) + 2/5 Agua.
- MXIV : Arena + C+ ms+ (1/2 Agua con aditivo) + 1/2 Agua.

CUADRO Nº 2.13 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION Y FLUIDEZ ELECCION DE LA SECUENCIA DE MEZCLADO POR COMPARACION DE RESULTADOS							
Muestras	MVIII	MIX	MX	MXI	MXII	MXIII	MXIV
Fluidez	125%	115%	136%	97%	100%	107%	136%
Resistencia	695 kg/cm ²	890 kg/cm ²	884 kg/cm ²	M.SECA	M.SECA	M.SECA	920 kg/cm ²

Los tres mejores resultados corresponden a MXIV, MIX, MX, resultando la mejor secuencia del MXIV:

CUADRO Nº 2.14 OPTIMA SECUENCIA DE MEZCLADO
Arena + Cemento + Microsílice + (1/2 Agua con aditivo) + 1 / 2 Agua

Procedimiento de Mezclado del Concreto con Microsilice.-

El procedimiento de mezcla en el concreto se determina experimentalmente. Se prueban en concreto la secuencia de las tres mejores combinaciones de materiales halladas en mortero, sorprendentemente, la secuencia más apropiada para concreto no coincide con la mejor secuencia para mortero, resultando el óptimo el correspondiente al caso MIX, pero por ser muy trabajosos se adopta el MXIV, con el que se realizan todas las mezclas de la investigación.

El procedimiento de mezclado de concreto es:

- Se humedece el trompo.
- Se coloca la Piedra.
- Se coloca la Arena.
- Se coloca el Cemento.
- Se coloca la microsilice sobre el cemento.
- Se empieza el batido y se añade inmediatamente la mitad del agua con el aditivo diluido en esta.
- Se bate por 5 minutos la mezcla.
- Se añade la otra mitad del agua pura batiéndose por 10 minutos.

Aún quedan puntos por investigar, la secuencia que se ha elegido como la óptima, probablemente no lo sea pues cuando empieza a girar el trompo se eleva el polvo de microsilice perdiéndose alguna cantidad de esta, posteriormente en el momento de vaciado se desperdicia nuevamente, pues debido a la alta cohesividad de la mezcla se queda parte de ésta adherida en el trompo y en la carretilla a pesar que han sido previamente humedecidos.

Durante la preparación de la mezclas no hubo ocasión en la que sobrara mezcla de concreto por el contrario algunas veces faltó.

Secuencia de Mezclado indicado por las Normas para Concretos de Normales Resistencias.-

Las normas indican colocar primero el 25% del agua agregándose luego los materiales restantes. Esta secuencia no fue posible de seguir, a causa de que al quedar un 75% de agua disponible, de la cuál se tendría que tomar la mitad para diluir el aditivo y la otra mitad añadirla directamente, estaría en realidad diluido sólo en el 37.5% del total del agua; en estas proporciones se constató que el mortero no presentó una adecuada plasticidad al ser ensayado en la mesa de flujo.

La otra posibilidad de diluir el aditivo en el 50% de agua y agregar el otro 25% posteriormente, tampoco dió una buena trabajabilidad, por lo que optó por añadir el aditivo diluido en el 50% de agua al inició del batido para conseguir el mayor asentamiento y optimizar el agua agregándola directamente después de un batido inicial.

Capítulo III

PROPIEDADES DEL CONCRETO

Consistencia de los Resultados

Estudios del Curado y de la Optimización del Proceso de Mezclado con Criterios Estadísticos

III-1 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.-

El concreto en su estado fresco y endurecido presenta ciertas propiedades fundamentales, las cuales son indicadoras de la calidad del concreto requerido.

En el estado fresco se considera la trabajabilidad, consistencia, segregación, exudación, cohesividad, peso unitario, tiempo de fragua.

En el estado endurecido estas propiedades se refieren a las resistencias mecánicas, durabilidad, propiedades elásticas, impermeabilidad, resistencia al desgaste, propiedades térmicas y acústicas.

Las propiedades, plásticas del concreto fresco y mecánicas en el estado endurecido, son modificadas con el uso de los aditivos y la microsílíce; por lo cuál, la intención al desarrollar éste capítulo es determinar y comparar dichos cambios.

Las propiedades del concreto se determinaron durante la segunda etapa de la tesis y vale recordar, como se muestra en el cuadro N° 3.1 las condiciones en que se encontraban los materiales: el agregado grueso con el 10% de partículas débiles y ambos agregados finos y gruesos lavados.

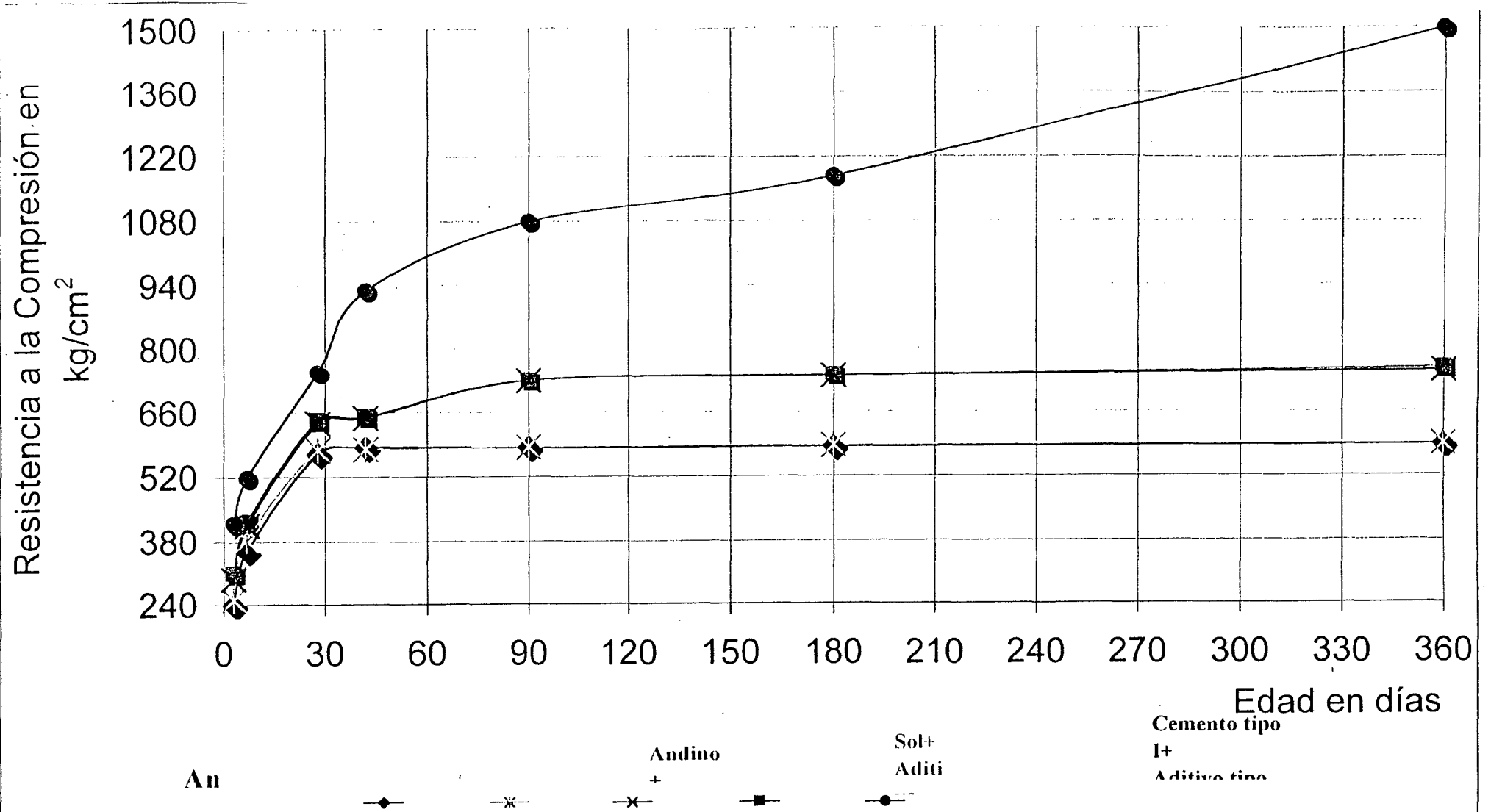
CUADRO N° 3.1 RESUMEN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS		
Cemento	Aditivos	Agregados
Andino, I Sol, I	S.plast: Euco 537-Sikament 10 Micrs : EucoMSA- Sikafume.	Ag. G. : 90%Dioritas + 10% Andesitas Ag. F. : Arena gruesa de m.f. 3.14.

- Las propiedades se determinaron para los tres tipos de concreto: concreto patrón, concreto con aditivo, concreto con aditivo más microsílíce.
- Las propiedades que se determinaron fueron:
 - En Estado Fresco:
 - Trabajabilidad.
 - Consistencia.
 - Tiempo de Fragua.
 - En Estado Endurecido:
 - Resistencia a la Compresión.
 - Resistencia a la Tracción.
 - Módulo de Elasticidad.

3.1.1 En Estado Endurecido.-

- Resistencia a la Compresión:
Se presenta el Cuadro N° 3.2 y la Gráfica N° 3.1, comparativas correspondiente.

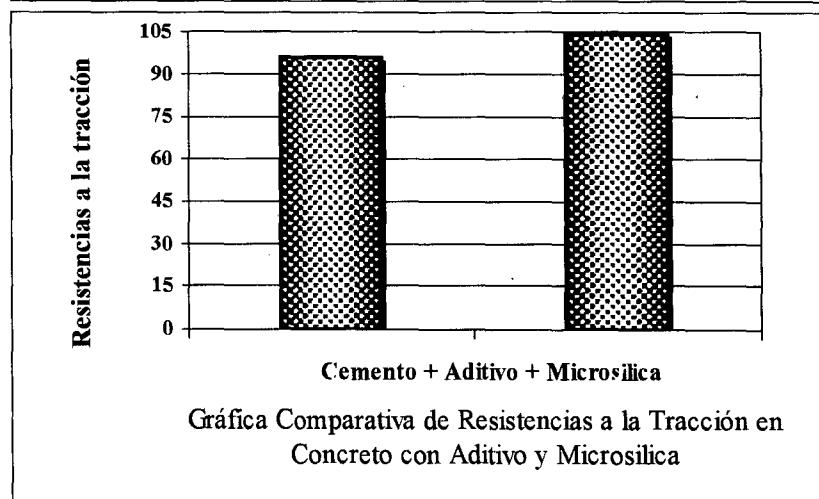
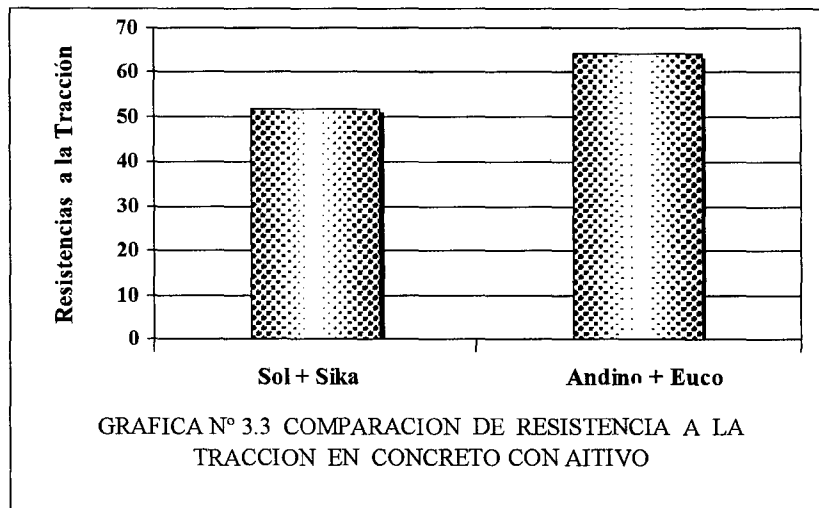
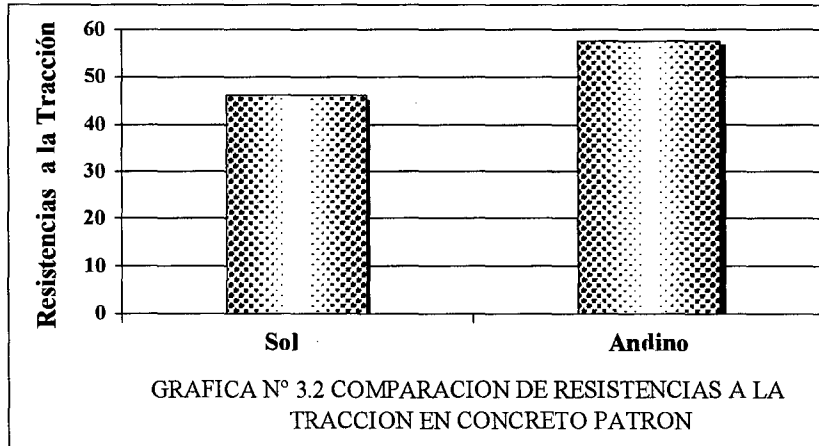
CUADRO N° 3.2 RESISTENCIA A COMPRESION								
Concreto Patrón								
Cemento	Andino				Sol			
N°	3 días	7 días	28 días		3 días	7 días	28 días	
1	245,59	384,51	604,79	557,04	254,65	389,61	611,15	562,77
2	240,49	378,78	572,96	547,49	252,95	381,97	585,69	562,77
3	232,57	353,32	572,96		247,86	379,42	585,69	
Promedio	239,55	372,20	571,05		251,82	383,67	581,61	
Concreto con Aditivo								
Cemento	Andino + Euco				Sol + Sikament			
N°	3 días	7 días	28 días	90 días	3 días	7 días	28 días	90 días
1	305,58	425,26	690.73 646.17	738,48	320,86	432,9	706.65 668.45	735,93
2	290,3	417,62	642.98 607.97	725,74	306,85	418,89	617.52 617.52	732,11
3	285,2	404,89	601.60	725,74	303,03	418,89	614.34	725,74
Promedio	293,69	415,92	637,89	729,98	310,25	423,56	644,89	731,26
Concreto con Aditivo mas Microsilica								
N°	3 días	7 días	28 días	42 días	90 días	180 días	360	
1	434.17	532.21	786,58	1018,59	1126,81	1209,57	1558,96	
2	412.53 409.98	516.93 516.93	743,57	1007,77	1087,34	1186,67	1441,87	
3	407.44	513.11	715,56	995,67	1031,32	1145,91		
Promedio	416,03	519,80	748,57	1007,34	1081,83	1180,72	1500,42	



**GRAFICA N° 3.2 CURVAS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION
COMPARACION DE RESULTADOS EN CONCRETO PATRON,
CON ADITIVO Y CON ADITIVO + MICROSILICE**

- Resistencia a la Tracción.-

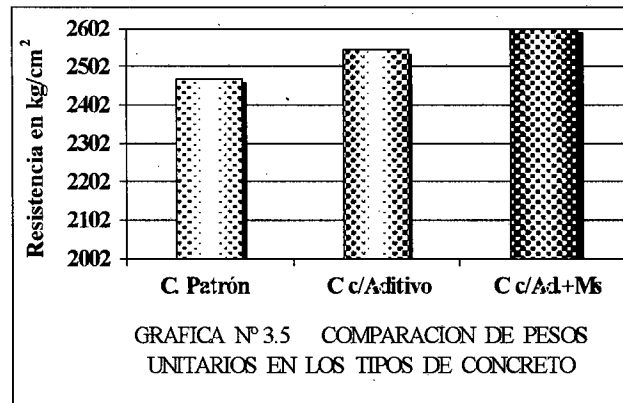
CUADRO N° 3.3 COMPARACION DE RESULTADOS, EDAD 28 DIAS						
Concreto	Patrón		con Aditivo		con Aditivo más Microsilica	
N°	Sol	Andino	Sol+Sika	And+Euco	S+S+MS	A+E+MSE
1	49,02	63,03	46,79	70,19	89,13	103,27
2	45,84	55,39	55,39	63,66	84,88	101,86
3	43,29	54,75	54,11	58,89	82,76	97,08
Promedio	46,049	57,72	52,097	64,245	85,59	100,739



3.1.2 En Estado Fresco.-

- Peso Unitario.-

CUADRO N° 3.4 COMPARACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO DEL CONCRETO			
Concreto	Patrón	Con Aditivo	c/ Adit. + MS
PUC	2472,027	2546,480	2602,290



- Tiempo de Fragua.-

CUADRO N° 3.5 COMPARACION DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO									
C. Patrón		C c/Aditivo		c/ad(1150)+10%MS		c/ad(1500)+15%MS		c/ad(1500)+20%MS	
Tiempo acumul.	Presión	Tiempo acumul.	Presión	Tiempo acumul.	Presión	Tiempo acumul.	Presión	Tiempo acumul.	Presión
Inicio				Inicio		Inicio			
0 h : 28 m	190	3 h : 30 m	100	6 h : 15 m	200	5 h : 30 m	106	2 h : 00 m	200
2 h : 46 m	260	3 h : 45 m	180	6 h : 30 m	300	6 h : 00 m	176	2 h : 02 m	204
2 h : 53 m	328	4 h : 30 m	348	7 h : 15 m	520	6 h : 45 m	424	2 h : 25 m	360
3 h : 20 m	900	5 h : 15 m	940	7 h : 41 m	1040	7 h : 15 m	800	2 h : 50 m	900
3 h : 41 m	2600	6 h : 00 m	1480	8 h : 15 m	2000	7 h : 50 m	2600	3 h : 00 m	2080
4 h : 06 m	5200	22 h : 30 m	5880	9 h : 00 m	6400	8 h : 10 m	4800	3 h : 45 m	7200

- Concreto Patrón:

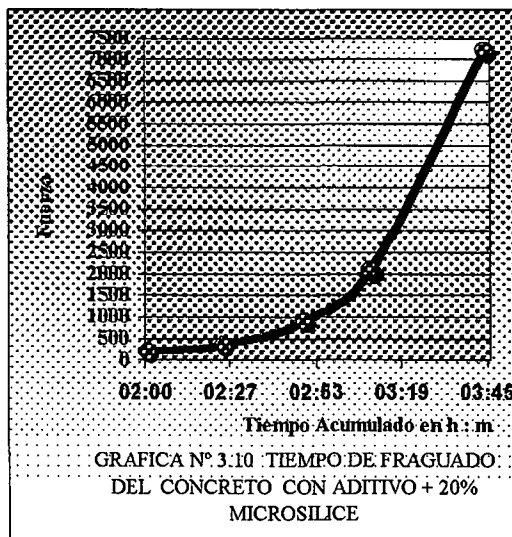
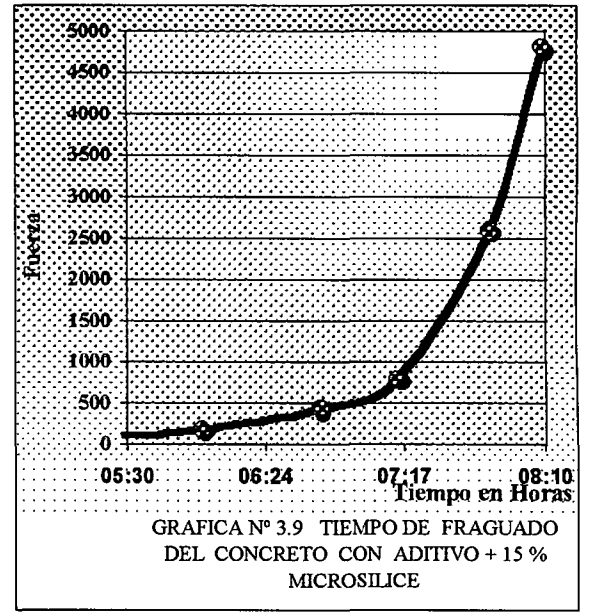
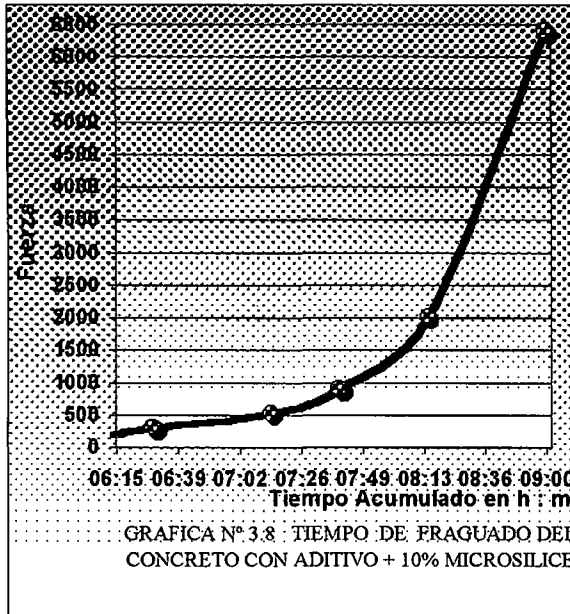
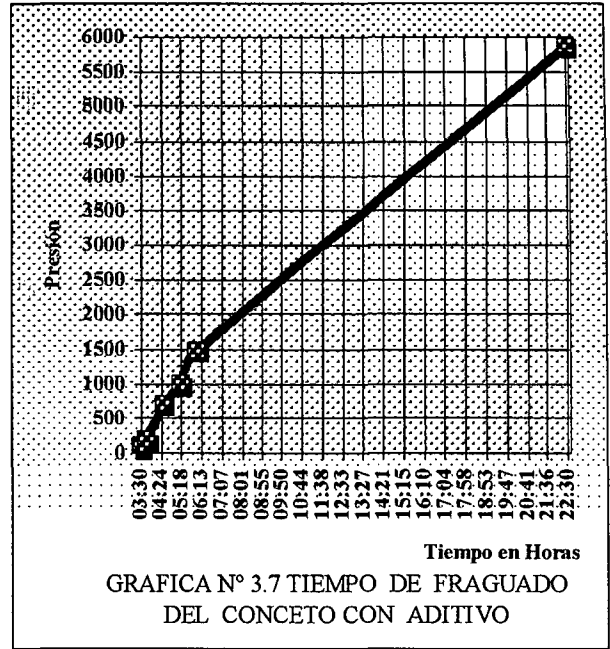
Fragua Inicial: 3 h : 07 m
Fragua Final : 3 h : 55 m

- Concreto con Aditivo:

Fragua inicial: 4 h : 13 m
Final : 15 h : 15 m

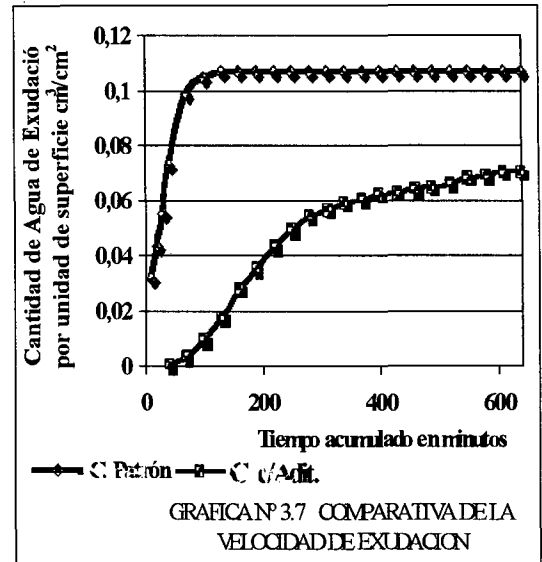
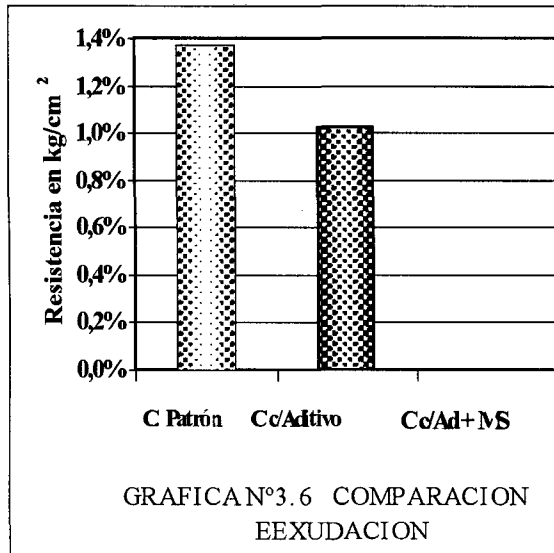
- Concreto con Aditivo más Microsilice.-

c/1150 ml/ 100 kg c. +10% MS	c/1500 ml/ 100 kg c. + 15%MS	c/1500 ml Aditivo + 20% MS
Fragua Inicial: 7 h : 45 m	Fragua Inicial: 6 h : 59 m	Fragua Inicial: 2 h : 00 m
Fragua Final : 8 h : 23 m	Fragua Final : 8 h : 03 m	Fragua Final : 4 h : 00 m



- Exudación.-

CUADRO N° 3.6 COMPARACION DE LA EXUDACION			
Concreto	Patrón	con Aditivo	c/Aditivo+MS
Exudac.(%)	1,37%	1,04%	0%



- Tiempo de Pérdida de Trabajabilidad del Concreto de Alta Resistencia.-

CUADRO N° 3.7 PERDIDA DE TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO CON ADITIVO MAS MICROSILICE					
Hora	Tiempo de Pérdida de Trabajabilidad	Slump	Hora	Tiempo de Pérdida de Trabajabilidad	Slump
20:00	inicio	2"	20:30	inicio	2"
00:00	4 h : 00 m	1.5"	23:30	3 h : 30 m	1.5"
01:00	5 h : 00 m	1"	01:30	4 h : 30 m	1"
01:30	5 h : 30 m	3/4"	02:00	5 h : 00 m	3/4"
02:00	6 h : 00 m	1/2"	02:30	5 h : 30 m	1/2"
03:00	7 h : 00 m	0"	03:30	6 h : 00 m	0"

- Fluidez del Concreto.-

CUADRO N° 3.8 ENSAYO DE FLUIDEZ EN LA MESA DE SACUDIDAS															
Slump	0"			1"			2"								
Fase	C.Patr.	C.Adit.	C.MS	C.Patr.	C.Adit.	C.MS	C.Patr.	C. Adit.			C. MS				
Aditivo	9 lt po m3			9 lt po m3				6 lt	9 lt	12lt	6 lt	9	12 lt		
MS			10%			10%					10%	10%	15%	15%	20%
F (%)	20%	62%	18,7%	38%	72%	30,7%	59%	84%	130%	145%	38%	62%	40%	49%	28%

3.1.3 Consistencia de los Resultados de los Ensayos.-

Los resultados deben pertenecer a los rangos indicados por la norma ASTM C-39, en el párrafo 10.1. En la tesis, el moldeo de las probetas se realizó de tres en tres, razón por la cuál existen altos coeficientes de variación pero cumplen con lo especificado.

CUADRO N° 3.9 Extracto de la Norma ASTM C-39-10.1 del Rango Aceptable del C.V			
Operador solo en condiciones	Coef. de Var.	2 Result.	3 Result.
Laboratorio	2,37%	6,60%	7,80%
Campo	2,87%	8,0%	9,5%

- Resistencia a la Compresión.-

CUADRO N° 3.10 Concreto Patrón								
Cemento	Andino				Sol			
	3 días	7 días	28 días		3 días	7 días	28 días	
1	245,59	384,51	604,79	557,04	254,65	389,61	611,15	562,77
2	240,49	378,78	572,96	547,49	252,95	381,97	585,69	562,77
3	232,57	353,32	572,96		247,86	379,42	585,69	
Promedio	239,55	372,20	571,05		251,82	383,67	581,61	
D. Estandar	6,56	16,60	21,78		3,53	5,30	20,10	
Coef. Variab.	2,7%	4,5%	3,8%		1,4%	1,4%	3,5%	
Concreto con Aditivo								
Cemento	Andino + Euco				Sol + Sikament			
	3 días	7 días	28 días	90 días	3 días	7 días	28 días	90 días
1	305,58	425,26	690.73 646.17	738,48	320,86	432,9	706.65 668.45	735,93
2	290,3	417,62	642.98 607.97	725,74	306,85	418,89	617.52 617.52	732,11
3	285,2	404,89	601.60	725,74	303,03	418,89	614.34	725,74
Promedio	293,69	415,92	637,89	729,98	310,25	423,56	644,89	731,26
D. Estandar	10,60	10,29	35,70	7,35	9,39	8,09	41,23	5,15
Coef. Variab.	3,6%	2,5%	5,6%	1,0%	3,0%	1,9%	6,4%	0,7%
Concreto con Aditivo mas Microsilica								
N°	3 días	7 días	28 días	42 días	90 días	180 días	360	
1	434.17	532.21	786,58	1018,59	1126,81	1209,57	1558,96	
2	412.53 409.98	516.93 516.93	743,57	1007,77	1087,34	1186,67	1441,87	
3	407.44	513.11	715,56	995,67	1031,32	1145,91		
Promedio	416,03	519,80	748,57	1007,34	1081,83	1180,72	1500,42	
D. Estandar	12,27	8,47	35,77	11,47	47,99	32,24	82,80	
Coef. Variab.	3,0%	1,6%	4,8%	1,1%	4,4%	2,7%	5,5%	

- Resistencia a la Tracción.-

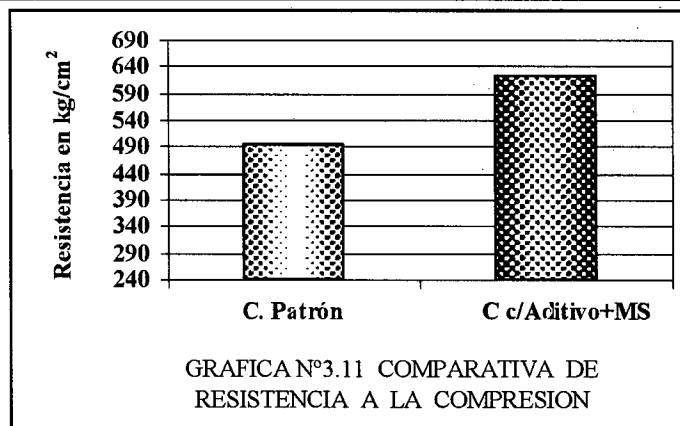
Concreto N°	Patrón		con Aditivo		con Aditivo más Microsilica	
	Sol	Andino	Sol+Sika	And+Euco	S+S+MSS	A+E+MSE
1	49,02	63,03	46,79	70,19	89,13	103,27
2	45,84	55,39	55,39	63,66	84,88	101,86
3	43,29	54,75	54,11	58,89	82,76	97,08
Promedio	46,049	57,72	52,097	64,245	85,59	100,739
D.Estand.	2,871	4,605	4,638	5,673	3,242	3,243
Coef.Var.	6,2%	8,0%	8,9%	8,8%	3,8%	3,2%

- En la resistencia a la compresión: El mayor coeficiente de variación es de 5.6%.
- En la resistencia a la tracción : El mayor coeficiente de variación es de 8.9%.

- Resistencia a la Compresión Variando la Calidad de las Partículas .-

- En la etapa preliminar: El mayor coeficiente de variación corresponde a 5.8%.
- En la etapa primera : El mayor coeficiente de variación corresponde a 5.7%.
- En la etapa segunda : El mayor coeficiente de variación corresponde a:
Resistencia a la compresión 6.4%
Resistencia a la Tracción 8.7%
- En la etapa tercera : Ocurrió una dispersión muy grande la cuál se analizará en el capítulo IV con la presentación de los respectivos cuadros, quedando luego de la corrección el mayor coeficiente de variación de 9.9%

ETAPA PRELIMINAR					
Concreto N°	Simple			c/Aditivo+Ms	
	7 días	28 días		42 días	
1	353,91	511,72	486,49	690,78	601,18
2	337,85	503,24	489,64	624,93	601,31
3	320,69	485,88	477,72	620,06	591,67
Promedio	337,48	492,45		621,66	
D. Estandar	16,61	12,58		36,12	
Coef. Variab.	4,90%	2,6%		5,8%	



CUADRO N° 3.13 E T A P A P R I M E R A

Concreto Patrón

Cemento	Andino			Sol		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
N°						
1	225,79	366,69	528,1	226,91	348,26	547,49
2	224,09	362,17	515,89	220,69	341,63	532,21
3	220,13	355,37	508,15	217,86	336,18	502,93
Promedio	223,34	361,41	517,38	221,82	342,02	527,54
D. Estandar	2,90	5,70	10,06	4,63	6,05	18,49
Coef. Variab.	1,3%	1,6%	1,9%	2,1%	1,8%	3,5%

Concreto con Aditivo

Materiales	Andino + Euco			Sol + Sikament		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
N°						
1	303,51	394,77	621,34	313,5	391,41	634,07
2	293,43	410,5	608,61	294,25	396,49	614,97
3	283,93	412,13	595,87	288,03	400,51	609,88
Promedio	293,62	405,80	608,61	298,59	396,14	619,64
D. Estandar	9,79	9,59	12,74	13,28	4,56	12,75
Coef. Variab.	3,3%	2,4%	2,1%	4,4%	1,2%	2,1%

Concreto con Aditivo mas Microsilica

Materiales	Andino + Euco + MS			Sol + Sikament + MS		
	3 días	7 días	28 días	3 días	7 días	28 días
N°						
1	434,17	518,21	725,74	436,72	524,57	742,3
2	412,53	501,66	718,11	412,53	504,2	730,84
3	409,98	469,82	713,01	412,53	483,83	728,29
4	407,44	469,82	713,01	407,44	472,37	713,01
5	374,33	464,73	706,65	394,7	468,55	713,01
Promedio	407,69	484,85	715,30	412,78	490,71	725,49
D. Estandar	21,47	23,73	7,11	15,24	23,47	12,55
Coef. Variab.	5,3%	4,9%	1,0%	3,7%	4,8%	1,7%
N°	42 días	90 días	180 días	42 días	90 días	180 días
1	954,93	1123,63	1179,87	1012,22	1082,25	1189,2
2	916,73	1082,25	1151,57	935,83	1049,15	1153,55
3	906,54	1053,6	1177,74	935,83	1018,59	1107,72
4		1024,96	1126,81	878,5	993,12	
5		1018,59	1114,08		954,93	
Promedio	926,067	1060,61	1150,014	940,595	1019,61	1150,157
D. Estandar	25,507	43,377	29,546	54,87	49,2	40,85
Coef. Variab.	2,8%	4,1%	2,6%	5,8%	4,8%	3,6%
N°		360 días		42 días	360 días	
1		1402,26		970,8	1454,28	
2		1360,95		916,7	1444,95	
Promedio		1361,83		943,75	1449,614	
D. Estandar		29,21		38,25	6,596	
Coef. Variab.		2,1%		4,1%	0,50%	

CUADRO N° 3.14 CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SEGUNDA ETAPA

Concreto Simple

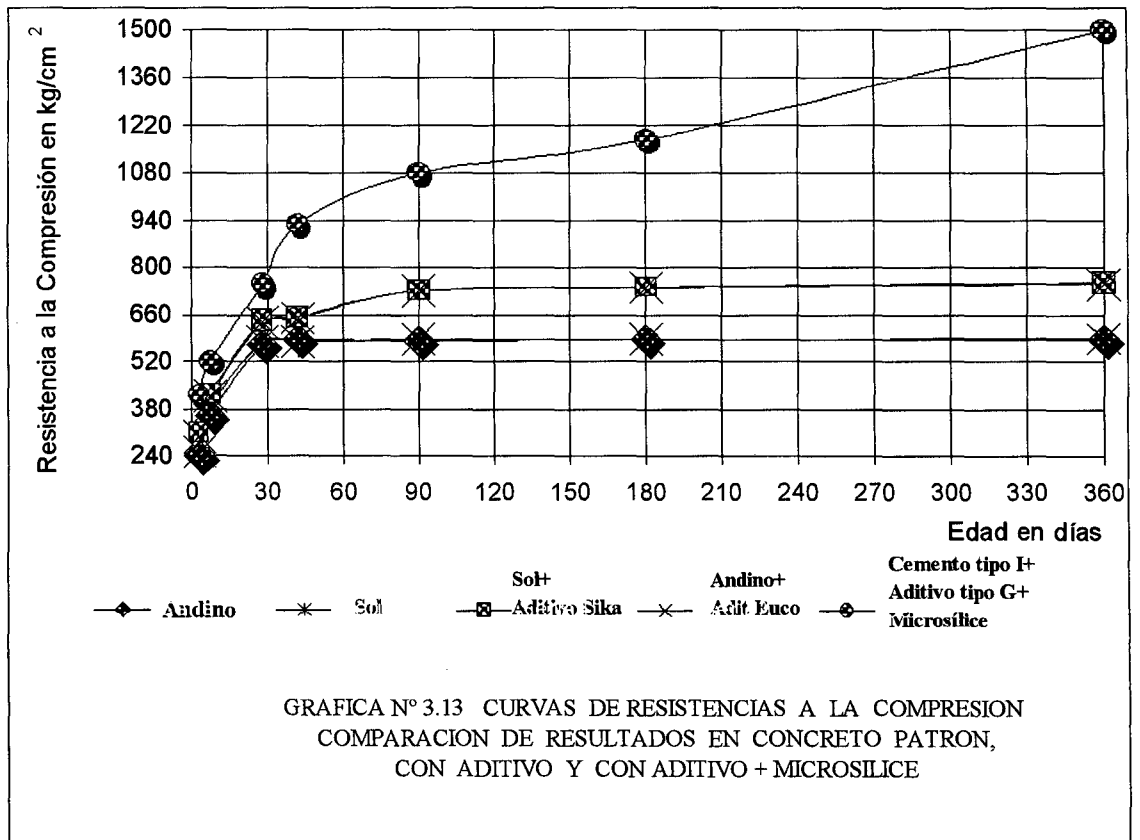
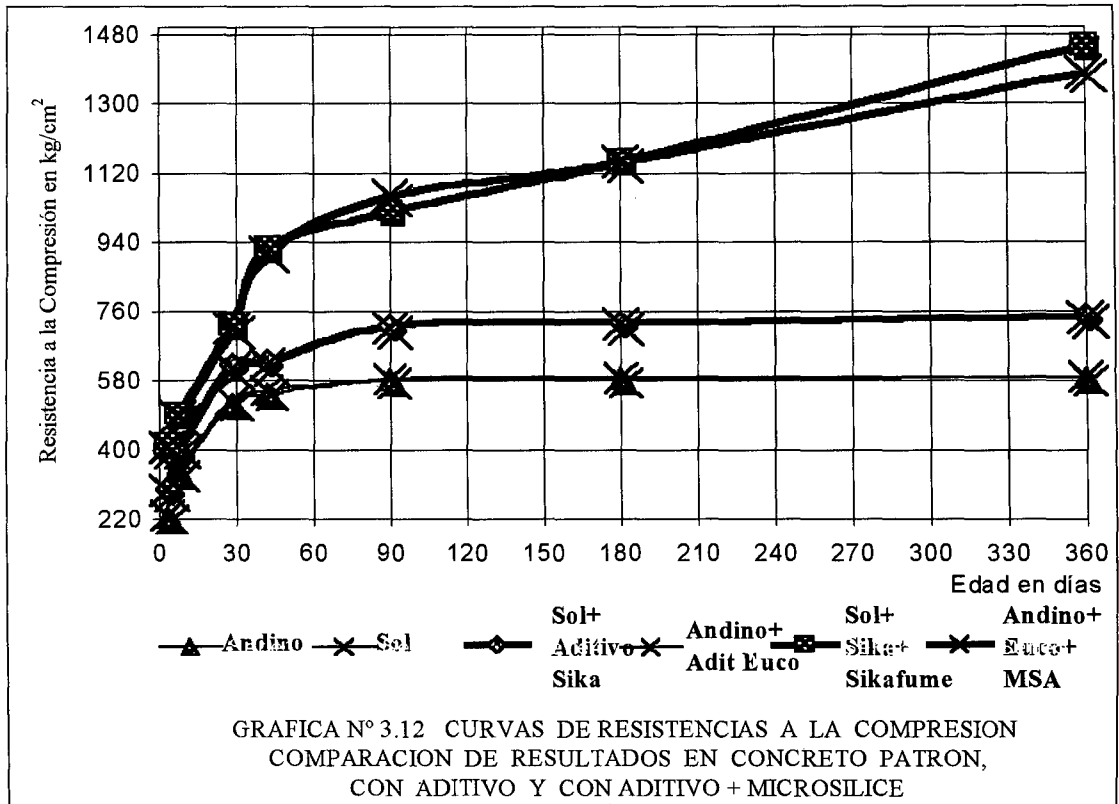
Cemento	Andino				Sol			
	3 días	7 días	28 días		3 días	7 días	28 días	
N°								
1	245,59	384,51	604,79	557,04	254,65	389,61	611,15	562,77
2	240,49	378,78	572,96	547,49	252,95	381,97	585,69	562,77
3	232,57	353,32	572,96		247,86	379,42	585,69	
Promedio	239,55	372,20	571,05		251,82	383,67	581,61	
D. Estandar	6,56	16,60	21,78		3,53	5,30	20,10	
Coef. Variab.	2,7%	4,5%	3,8%		1,4%	1,4%	3,5%	

Concreto con Aditivo

Cemento	Andino + Euco				Sol + Sikament			
	3 días	7 días	28 días	90 días	3 días	7 días	28 días	90 días
N°								
1	305,58	425,26	690.73 646.17	738,48	320,86	432,9	706.65 668.45	735,93
2	290,3	417,62	642.98 607.97	725,74	306,85	418,89	617.52 617.52	732,11
3	285,2	404,89	601.60	725,74	303,03	418,89	614.34	725,74
Promedio	293,69	415,92	637,89	729,98	310,25	423,56	644,89	731,26
D. Estandar	10,60	10,29	35,70	7,35	9,39	8,09	41,23	5,15
Coef. Variab.	3,6%	2,5%	5,6%	1,0%	3,0%	1,9%	6,4%	0,7%

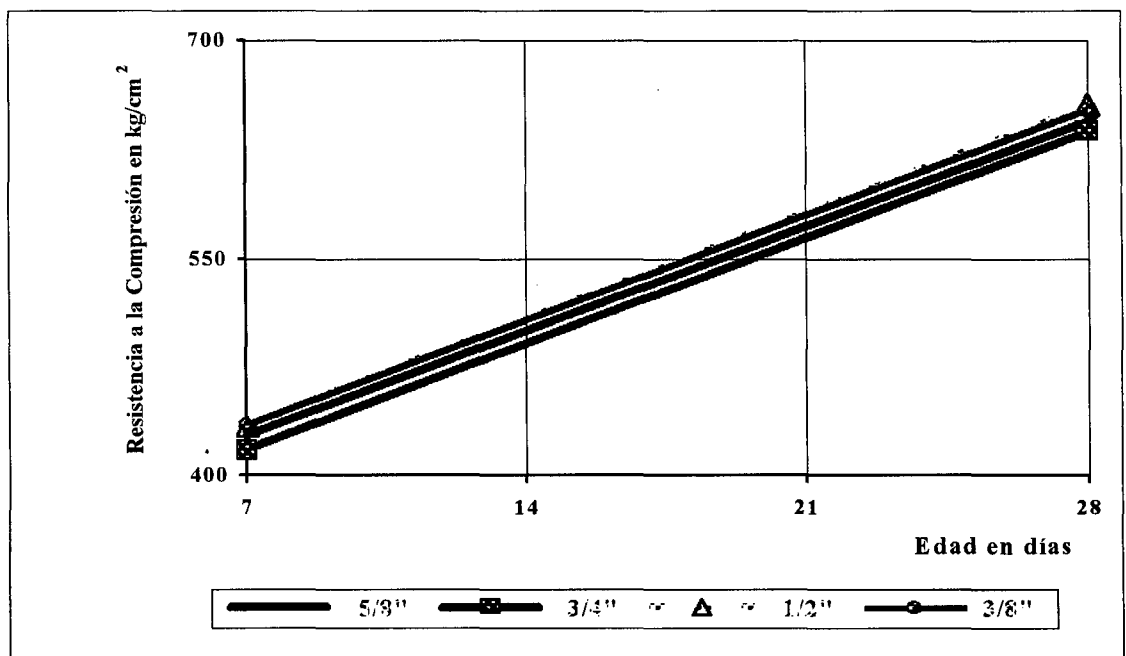
Concreto con Aditivo mas Microsilica

N°	3 días	7 días	28 días	42 días	90 días	180 días	360
1	434.17	532.21	786,58	1018,59	1126,81	1209,57	1558,96
2	412.53 409.98	516.93 516.93	743,57	1007,77	1087,34	1186,67	1441,87
3	407.44	513.11	715,56	995,67	1031,32	1145,91	
Promedio	416,03	519,80	748,57	1007,34	1081,83	1180,72	1500,42
D. Estandar	12,27	8,47	35,77	11,47	47,99	32,24	82,80
Coef. Variab.	3,0%	1,6%	4,8%	1,1%	4,4%	2,7%	5,5%



- Resistencia a la Compresión Variando los Tamaños Nominales Máximos.-
En la resistencia a la compresión: El mayor coeficiente de variación es de 3.2%.

CUADRO N° 3.15 CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION				
Cemento Tipo I	Tnm 3/4 "		Tnm 5/8 "	
N°	7 días	28 días	7 días	28 días
1	426,53	660,17	436,08	649,35
2	413,80	639,16	426,53	646,17
3	410,62	611,15	416,98	636,62
Promedio	426,534	644,045	426,534	644,045
Desv. Estandar	9,549	6,626	9,549	6,626
Coef. Variab.	2,2%	1,0%	2,2%	1,0%
Cemento Tipo I	Tnm 1/2 "		Tnm 3/8 "	
N°	7 días	28 días	7 días	28 días
1	445,63	660,17	448,18	654,44
2	426,53	655,72	432,90	652,53
3	426,53	652,53	420,17	646,17
Promedio	432,900	656,141	433,749	651,048
Desv. Estandar	11,027	3,837	14,025	4,333
Coef. Variab.	2,5%	0,6%	3,2%	0,7%



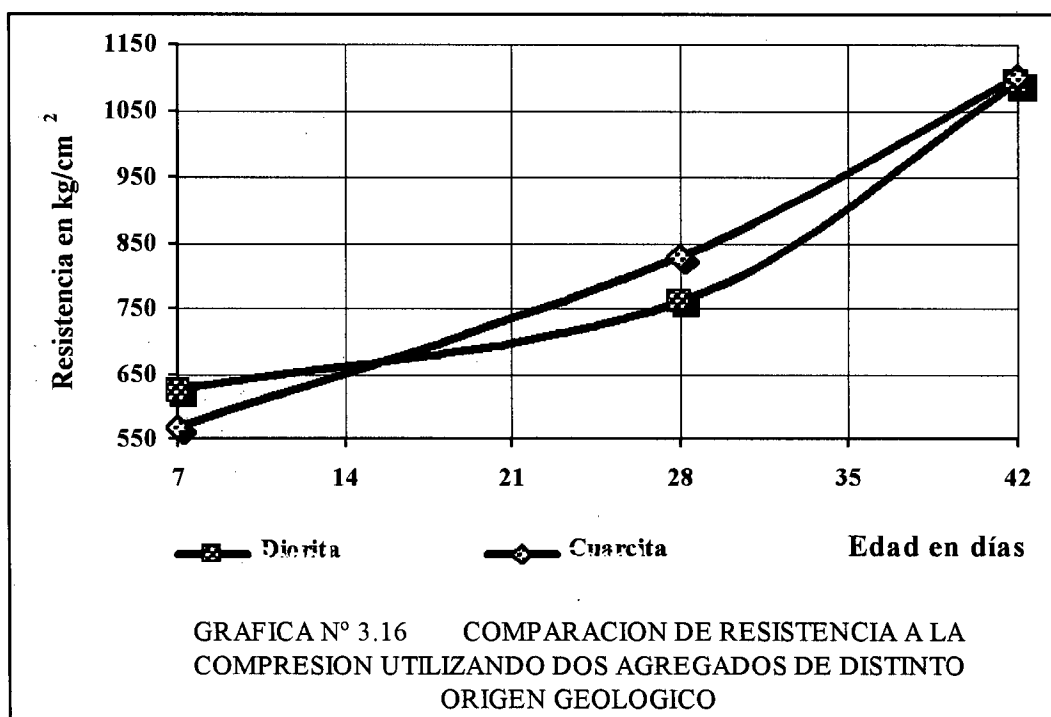
GRAFICA N° 3.14 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION LOS TAMAÑOS DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO GRUESO

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

- Resistencia a la Compresión Variando los Origenes Geológicos de los Agregados.-

En la resistencia a la compresión: El mayor coeficiente de variación es de 9.9%.

CUADRO N° 3.16 CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS A LA COMPRESION						
ETAPA TERCERA						
Concreto con Aditivo más Microsilica						
Materiales	Andino V + Euco+ Diorita			Andino V + Sika+ Cuarcita		
N°	7 días	28 días	44 días	7 días	28 días	44 días
1	585,69	776,67	1101.35	582,51	907,18	1139,55
2	509,29	763,94	1171.38	569,77	821,24	
3		741,02	1101.35	547,49	757,58	
Promedio	547,49	760,55	1136,36	566,59	828,67	1139,55
D. Estandar	54,02	18,07	49,52	17,72	75,08	
Coef. Variab.	9,9%	2,4%	4,4%	3,1%	9,1%	

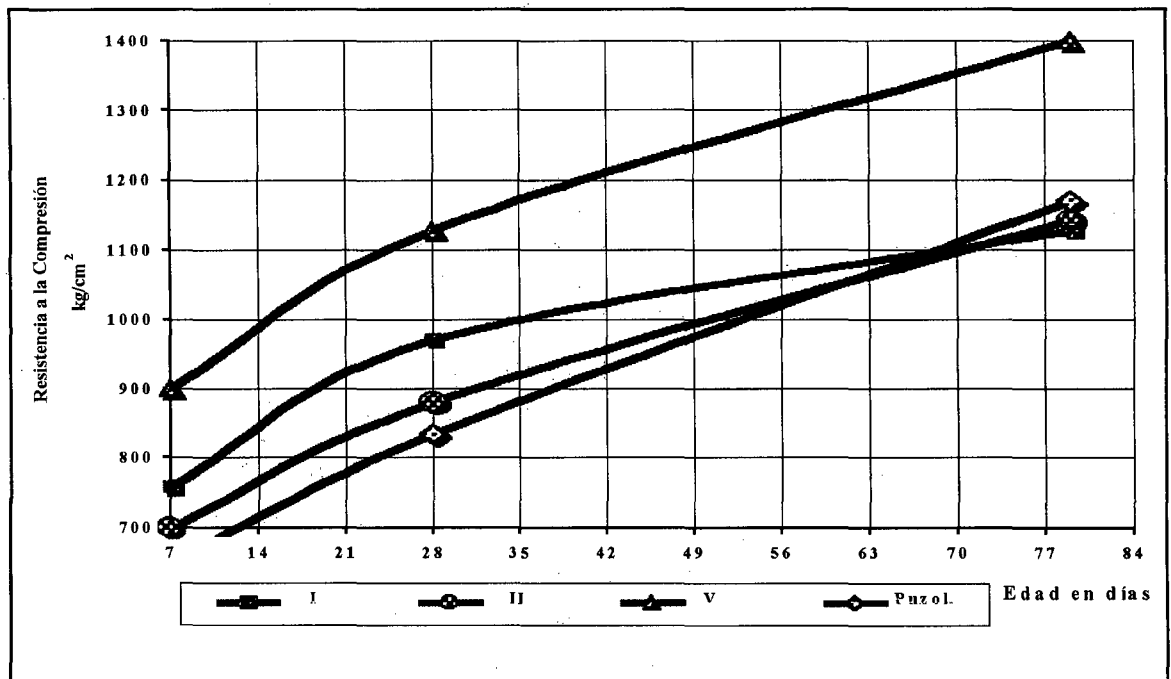


Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

- Resistencia a la Compresión Variando los Tipos de Cemento.-

En la resistencia a la compresión: El mayor coeficiente de variación es de 4.8%.

CUADRO N° 3.17 CONSISTENCIA DE RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION						
Cemento	Tipo I			Tipo II		
N°	7 días	28 días	79 días	7 días	28 días	79 días
1	759,7	979,0	1142,7	718,7	895,5	1155,5
2	770,3	974,0	1114,1	709,8	883,6	1130,0
3	719,4	954,9		671,6	859,4	
Prom.	749,8	969,3	1128,4	700,0	879,5	1142,7
D.Est.	26,9	12,7	20,3	25,0	18,4	18,0
C. Var.	3,6%	1,3%	1,8%	3,6%	2,1%	1,6%
Cemento	Tipo V			Puzolanico IP		
N°	7 días	28 días	79 días	7 días	28 días	79 días
1	930.31	895,5	1155,5	663,5	859,4	1182,7
2	839.77	883,6	1130,0	672,3	830,8	1187,3
3	891.27	859,4		614,3	805,3	1139,6
3	840.34					
Prom.	700,0	879,5	1142,7	650,0	831,8	1169,8
D.Est.	25,0	18,4	18,0	31,2	27,0	26,3
C. Var.	3,6%	2,1%	1,6%	4,8%	3,3%	2,3%



GRAFICA N° 3.17 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION
 VARIACION DEL TIPO DE CEMENTO
 Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

- ⇒ Resistencia a la Compresión Comparando los Tamaños de los Moldes de 4" x 8" y 6" x 12".-

CUADRO N° 3.18 CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION CON PIEDRA DE 3/4"						
Ensayos	3 días		7 días		14 días	
Moldes	4" x 8"	6" x 12"	4" x 8"	6" x 12"	4" x 8"	6" x 12"
N°	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
1	257,19	260,31	381,97	311,8	463	460
2	254,65	253,52	286,48	337,27	458	459
3	254,65	237,95	343,77	346,89	437	453
4	252,10		355,23	325,95		
5	244,46		318,31			
6	240,64		331,04			
7	236,82		337,41			
8	229,18		365,42			
			303,03			
			331,04			
			341,23			
			346,32			
Promedio	246,211	250,593	336,771	330,478	452,667	457,333
D.Estand.	10,071	11,464	26,005	15,109	13,796	3,786
C. Variab.	4,10%	4,57%	7,72%	4,57%	3,05%	0,83%
Ensayos	28 días					
Moldes	4" x 8"	6" x 12"				
N°	Esfuerzo	Esfuerzo				
1	604	597				
2	573	582				
3	573	524				
4	557					
5	547,5					
6	477,5					
Promedio	555,333	567,667				
D.Estand.	42,696	38,553				
C. Variab.	7,69%	6,79%				

Edad (días)	Moldes 4x8 (Kg/cm²)	Moldes 6x12 (Kg/cm²)
3	246,211	250,593
7	336,771	330,478
14	452,667	457,333
28	555,333	567,667

GRAFICA N° 3.18 COMPARACION DE RESISTENCIAS A LA COMPRESION VARIACION DEL TAMAÑO DE LAS PROBETAS

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

CUADRO Nº 3.19 CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION CON PIEDRA DE 3/8"						
Ensayos	3 días		7 días		14 días	
Moldes	4" x 8"	6" x 12"	4" x 8"	6" x 12"	4" x 8"	6" x 12"
Nº	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
1	175	170	262	264	261	334
2	169	158	245	252	305	284
3	162			246	305	310
					331	295
					292	
					324	
Promedio	168,7	164,0	253,5	254,0	303,0	305,8
D.Estand.	6,506	8,485	12,021	9,165	24,972	21,639
C. Variab.	3,86%	5,17%	4,74%	3,61%	8,24%	7,08%
Ensayos	28 días					
Moldes	4" x 8"	6" x 12"	4" x 8"	6" x 12"	4" x 8"	6" x 12"
Nº	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo
1	324,68	368	337,41	382	356,51	
2	356,51	369	381,97	395	381,97	
3	334,22	345	350,14	370	391,52	
4	401,07	379,100	388,34		331,04	
5	340,59	382,000	385,15		423,35	
6	366,06	345,190	356,51		391,52	
El promedio de moldes es de 4"x 8" = 366,586 y de 6"x 12"= 370,587						
La Desviación Estandar es de 25,037 y 21,519 respectivamente						
Los Coeficientes de Variabilidad son de 0,083 y 0,070						

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm²"

III-2 ESTUDIO DE CURADO DE LAS PROBETAS DE ALTA RESISTENCIA.-

Se realiza este pequeño estudio de curado de probetas por la necesidad que se presenta de contar con una edad de curado coherente y práctica. Se realiza en la segunda etapa de la investigación, aunque no se lleva a cabo en su totalidad, al menos da una idea de la importancia del curado y la importante influencia que este tiene en desarrollar las altas resistencias.

3.2.1 Metodología:

La metodología seguida es evaluar la resistencia a la compresión, a una misma edad de 28 días pero con distinta edad de curado.

- Los estudios se basan en la comparación de resultados de resistencia a la compresión, obtenidos en probetas de concreto patrón y dados de mortero con aditivo más microsilíce.
- En Concreto Patrón: Se evalúa la edad apropiada de curado para este concreto; se ensaya con 15, 22 y 28 días de curado.
- En Mortero con aditivo más Microsilíce: Se realizan los ensayos en morteros, por ser de mayor facilidad de manejar, siendo el propósito comprobar posteriormente con concreto. Lamentablemente este pequeño estudio es realizado antes de hallar la edad de rotura de 42 días del concreto de alta resistencia por lo que se evalúan con respecto a los 28 días, morteros con 7, 15, 21 y 28 días de curado.
- Los Materiales:
 - En Concreto Patrón: Se elaboran las probetas con cemento tipo I, de una sola marca comercial pues ambas presentan casi los mismos resultados.
 - En Mortero con aditivo más Microsilíce: Se elaboran con cemento Portland tipo I, el aditivo superplastificante con una dosificación proporcional y la microsilíce.
- Los Moldes:
 - En el concreto patrón: Probetas de 4 x 8 pulgadas y de 6 x 12 pulgadas.
 - En el mortero: cubos de 5 cm por 5 cm.

Diseño de Mezclas.-

En el mortero no se realiza diseño de mezcla, se utilizan las mismas proporciones que en el concreto y la misma secuencia de mezclado.

Resultados de los Ensayos.-

En Concreto Patrón.-

Las probetas preparadas en el laboratorio se curaron en agua hasta un día antes de ensayarse para las edades menores a 42 días y las probetas ensayadas en edades mayores se curaron hasta aproximadamente los 42 días de edad, por representar estas edades mucho tiempo se realizó este ensayo primero en concreto patrón siendo los resultados los siguientes:

CUADRO N° 3.18 VARIACION DE LA RESISTENCIA CON EL CURADO								
Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia
15	28	464,73	22	28	517,78	28	28	557,2

En Concreto con Aditivo.-

Se ensayó concreto con aditivo a los 28 días de edad, con 7 días de curado siendo el resultado solo el 62%.

CUADRO N° 3.19 VARIACION DE LA RESISTENCIA CON EL TIEMPO DE CURADO						
Cemento	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia
Sol	7	28	412	28	28	645
Andino	7	28	392	28	28	638

En Mortero con Aditivo más Microsílice.-

Los resultados reflejan un comportamiento muy similar al anterior

CUADRO N° 3.20 VARIACION DE LA RESISTENCIA CON EL CURADO											
Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz
7	28	759	14	28	846	21	28	897	28	28	942

Interpretación de los Resultados.-

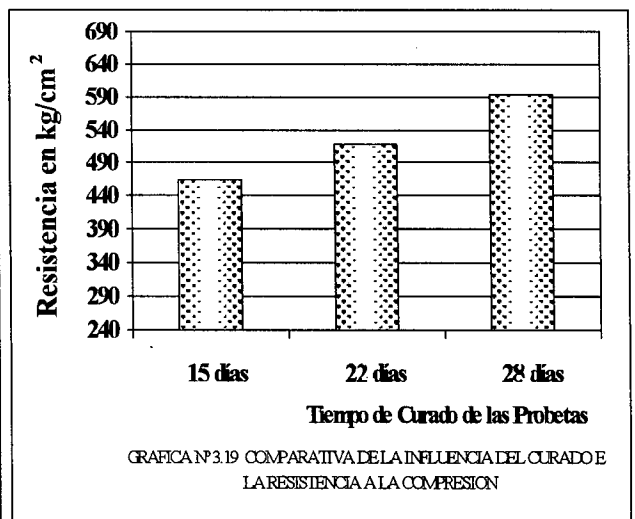
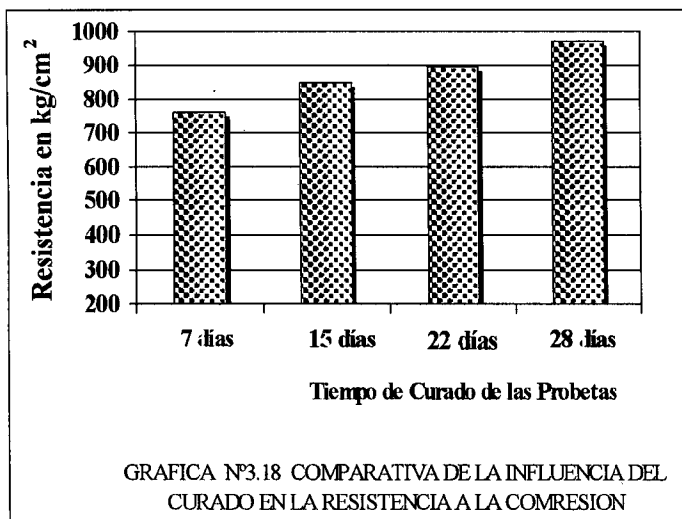
El curado de las probetas resulta fundamental en el desarrollo de las resistencias a la compresión sobre todo si es que se trata de alta resistencia en cualquiera de sus tipos, se realizaron solo algunos ensayos para tantear una edad tentativa en concreto patrón, resultando que insuficiente un tiempo de curado menor de 22 días, tal como se muestra en el cuadro.

Consistencia de los Resultados de los Ensayos para el Estudio de Curado.-

En la resistencia a la compresión: El mayor coeficiente de variación es de 4.8%.

Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia
15	28	471,10	22	28	413,80	28	28	604,80
15	28	477,46	22	28	541,13	28	28	573,00
15	28	445,63	22	28	598,40	28	28	573,00
						28	28	557,00
						28	28	547,50
						28	28	477,50
Promedio		464,73	Promedio		517,78	Promedio		555,4667
Desv. Estandar		4,497	Desv. Estandar		94,490	Desv. Estandar		42,879
Coef. Variab		0,01	Coef. Variab		18%	Coef. Variab.		7,70%

Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerz
7	28	760	14	28	880	21	28	912	28	28	1008
7	28	748	14	28	832	21	28	900	28	28	980
7	28	776	14	28	832	21	28	936	28	28	960
7	28	752	14	28	840	21	28	840	28	28	940
Promedio		759	Promedio		846	Promedio		897	Promedio		972
esv. Estan		12,38	esv. Estan		22,98	Desv. Estan.		40,84	Desv. Estan.		29,03
oef. Varia		1,60%	Coef. Var		2,70%	Coef. Var		4,60%	Coef. Var		1,60%



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

III-3 ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN, MOLDEO, DESMOLDE Y DEL NÚMERO DE PROBETAS APLICANDO CRITERIOS ESTADÍSTICOS

Esta parte del estudio se realizó en la segunda etapa por la necesidad de comprender la dispersión tan elevada en los resultados que se obtuvieron en la primera etapa (ver los certificados N° 7 al 10), es así que se analizó y se halló que la causa fue por preparar probetas en número de tres, además de no haber tenido el riguroso cuidado de lavar el trompo para cada tanda de mezcla.

Se presentan a continuación algunas recomendaciones y criterios considerados muy útiles al realizar las mezclas del concreto normal así como de alta resistencia. No son definitivos pues aún falta investigarse con mayor profundidad pero estas recomendaciones son una ayuda para la obtención de valores más homogéneos favoreciendo la interpretación de los resultados y el conocimiento del comportamiento del concreto.

Criterio Estadístico para Optimizar las Condiciones en los Procesos de Mezcla.-

El control de calidad de las obras de concreto de normales y medianas resistencias se apoya en los resultados de ensayos realizados en el laboratorio, los valores son procesados con criterios estadísticos siendo estos los que determinan la aprobación o el rechazo de la muestra de concreto.

La intervención de la estadística en realidad es previa a la obtención de los resultados, pues señala las condiciones más favorables para la preparación de las tandas de concreto, y para la obtención del muestreo, tales pautas pueden ser seguidas con márgenes de tolerancia que no afectarían significativamente los resultados en concretos de normales y medianas resistencias sin embargo en el caso de concretos de alta resistencia son imprescindibles definir las previamente.

Debido a la heterogeneidad de los materiales que intervienen en las mezclas se debe tratar de lograr la uniformidad de la unidad experimental para conseguir la homogeneización de los resultados:

- Uniformidad de la unidad experimental:

Para ello es recomendable que cada tanda de mezcla y sus respectivas probetas cuenten con la misma oportunidad de preparación, mezclado, vaciado, curado y ensayo.

- Homogeneización de los Resultados:

Referido al número mínimo de probetas por tanda, aún faltaría definirse sin embargo es recomendable por lo pronto que sean más de seis probetas por tanda, evitándose grandes dispersiones en los valores correspondientes a concretos de las mismas proporciones, ocasionadas por la naturaleza heterogénea de los agregados y por la cantidad mínima de tres probetas por tanda, pues los muestreos muy pequeños presentan por sí mismos variabilidad entre sus valores.

– Preparación:

La primera tanda se realiza con el trompo limpio, humedecido en agua, esta sería la condición para cada tanda que se va a preparar, así mismo es muy importante no cambiar el trompo con el que se preparan las mezclas debido a que cada máquina tiene sus propias características las que influyen en los resultados. En casos prácticos se sigue una secuencia establecida.

– Mezclado:

En las tandas de concreto que llevan las mismas proporciones de los materiales, es recomendable controlar que no se presenten variaciones significativas en los pesos y/o volúmenes.

Así mismo se debe establecer un orden determinado de ingreso de los materiales al trompo, la secuencia escogida sería la más óptima, siendo preferible que todas las tandas sigan esa misma secuencia debido a que un cambio en el proceso de mezclado a pesar de usar las mismas proporciones y los mismos materiales cambia las propiedades del concreto como su fluidez, trabajabilidad y resistencia.

Las tandas de mezclas correspondientes a concretos con las mismas proporciones es recomendable prepararlas en un mismo día o en días consecutivos y asegurar que las condiciones ambientales no varíen significativamente.

– Tiempo de Moldeo de Probetas:

En la lubricación de los moldes antes de vaciar el concreto es recomendable tener cuidado de no excederse con la cantidad de petróleo que se coloca.

Siendo el tiempo de permanencia del concreto en el molde de 18 a 24 horas, es recomendable darle a todas el mismo tiempo de permanencia que requieran en la probeta y por consiguiente el mismo tiempo de curado, sobre todo en las tandas de concreto preparadas con las mismas proporciones.

– Moldeo de las Probetas.-

El procedimiento de llenado y compactado para el moldeo de las probetas esta indicado por la norma el cuál se describe en el anexo A-5; así como el diámetro y tamaño de la vara que se debe de utilizar para los moldes de 6 x 12 pulgadas; para los moldes de 4 x 8 pulgadas resultan ser muy generales.

El moldeo debe realizarse cuidadosamente por que requiere colocar y repartir cantidades homogéneas de concreto en los moldes, dependiendo de esto el éxito de los resultados de los ensayos; en el caso de los moldes de 4 x 8 pulgadas es mayor el cuidado que se debe tener no estando aún determinado un procedimiento óptimo a seguirse para estos tamaños.

- En la tesis: Se realizó el moldeo en tres capas y se varilló con la vara de 5/8” ambos tamaños de probetas.
- En España se recomienda el llenado en dos capas y vibrado para los moldes de 4 x 8 pulgadas.

Capítulo IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS y Análisis de Costos

En este capítulo se presentan principalmente los resultados de resistencia a la compresión en los diferentes tipos de concreto utilizados resaltando los incrementos de resistencia obtenidos etapa tras etapa gracias a mejoras producto de la investigación y optimización de los componentes empleados. Se muestran cuadros comparativos de resultados del concreto patrón, del concreto con aditivo, del concreto con aditivo más microsílíce y aditivos.

En seguida a esto se presenta el análisis e interpretación de los resultados para mostrar las características sobre el comportamiento del concreto de alta resistencia.

4.1.0 INCREMENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION, SEGÚN LA CALIDAD DE LAS PARTÍCULAS.-

En la tesis, un factor de influencia mostrado en las diferentes etapas del estudio ha sido la calidad de las partículas del agregado grueso, vista esta característica a través de la utilización del 45%, 20%, 10% de partículas débiles.

A continuación se analiza cualitativamente los resultados de los ensayos:

- Con el 45% y 20% de partículas débiles en el agregado grueso y los agregados sin lavar en cada uno de los tipos de concreto utilizados, la rotura de las probetas era de dos formas:
 - El plano de falla pasaba cortando las partículas: con lo que se evidenció que la rotura se produjo por resistencia de las partículas.
 - El plano de falla pasaba desprendiendo el agregado de la pasta: con lo que se evidenció la falta de adherencia y la presencia de los finos.
- Con el 10% de las partículas débiles en el agregado grueso y los agregados lavados en cada uno de los tipos de concreto utilizados, la rotura de las probetas ocurrió por:
 - El plano de falla pasaba cortando las partículas: Con lo que se evidenció la falla por resistencia de las partículas.

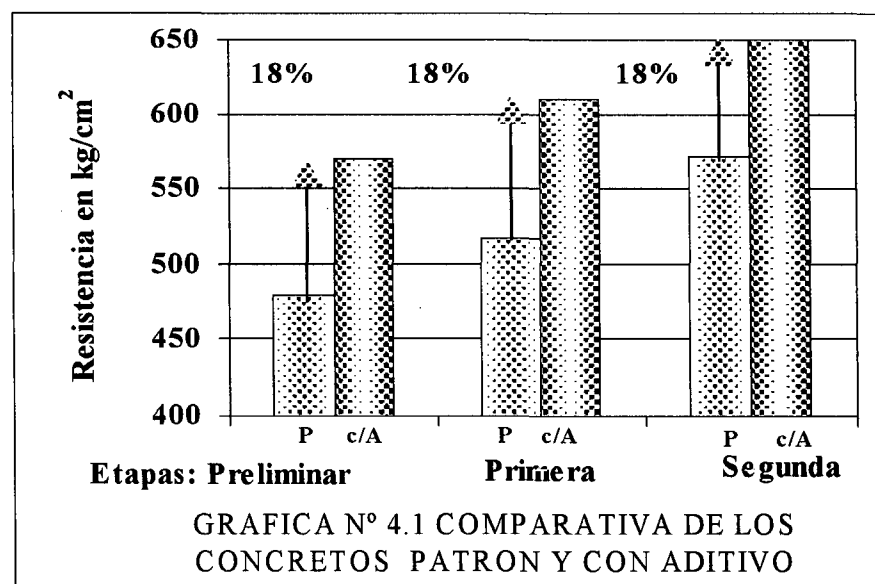
El análisis cuantitativo de la influencia de la calidad de las partículas del agregado grueso es visto a través de la resistencia a la compresión.

En el cuadro N° 4.1 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión para cada tipo de concreto en las diferentes etapas del estudio secuencial, permite la comparación de los resultados y distinguir del incremento de los valores.

CUADRO N° 4.1 COMPARACION DE LOS INCREMENTOS DE RESITENCIA A LA COMPRESION EN LAS kg/cm ²															
Los tres Tipos de Concreto	Edad en días	Etapas de la Tesis													
		Preliminar			Andino + Euco Primera Sol + Sika						Segunda				
		Prom		Incrementos	Prom		Incrementos		Prom		Inc	Inc.	Prom		Incrementos
		N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2	N° 3	N° 1	N° 2
Patrón	28	492	100%		517	100%		528	100%		571	100%			
c/Adit.	28	580	118%	100%	608	118%	100%	620	117%	100%	637	118%	100%		
c/A+MS	42	624	127%	108%	926	179%	152%	942	179%	152%	1007	180%	158%		

Análisis del cuadro N° 4.1:

- El concreto Patrón:
- En la etapa preliminar con el 45% de partículas débiles, al utilizar el aditivo **Euco 537**, se aumenta en 88 kg/cm² que equivale a un **18%** de incremento.
- En la etapa primera con el 20% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Euco 537**, **incrementa** en un aproximado de 91 kg/cm² que significa un **18%**.
- En la etapa primera con el 20% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Sikament 10**, **incrementa** en un aproximado de 92 kg/cm² que significa un **18%**.
- En la etapa segunda con el 10% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Sikament 10**, **incrementa** en un aproximado de 66 kg/cm² que significa un **18%**.



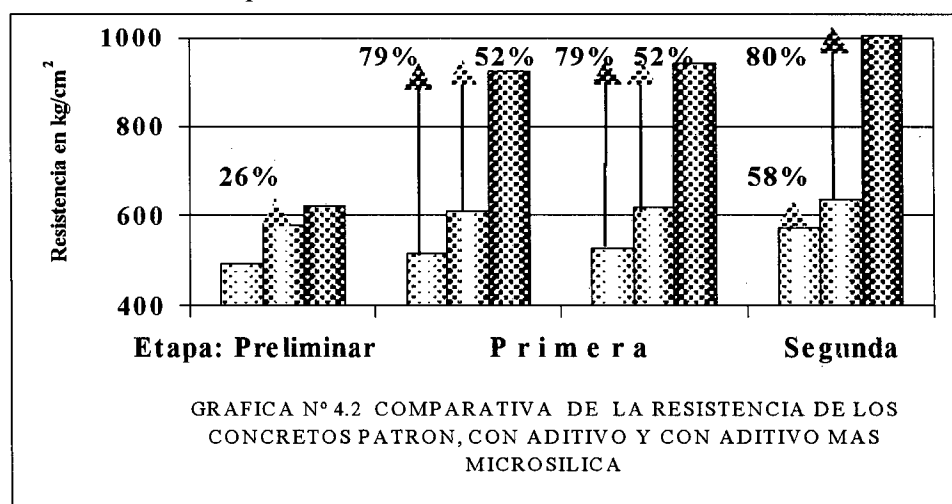
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

El concreto con Aditivo:

- En la etapa preliminar con el 45% de partículas débiles, al concreto con aditivo **Euco 537**, más la microsílíce **Euco MSA**, incrementa en 41 kg/cm^2 que es un **07%**.
- En la etapa primera con el 20% de partículas débiles, al concreto con aditivo **Euco 537**, más la microsílíce **Euco MSA**, incrementa 318 kg/cm^2 que es un **52%**.
- En la etapa primera con el 20% de partículas débiles, al concreto con aditivo **Sikament 10**, más la microsílíce **SikaFume**, incrementa 322 kg/cm^2 que es un **52%**
- En la etapa segunda con el 10% de partículas débiles, al concreto con aditivo **Sikament 10**, más la microsílíce **SikaFume**, incrementa 370 kg/cm^2 que es un **58%**

El concreto Patrón:

- En la etapa preliminar con el 45% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Euco 537**, más la microsílíce **Euco MSA**, incrementa en 129 kg/cm^2 que es **26%**.
 - En la etapa primera con el 20% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Euco 537**, más la microsílíce **Euco MSA**, incrementa en 419 kg/cm^2 que es **79%**.
En la etapa primera con el 20% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Sikament 10**, más la microsílíce **SikaFume**, incrementa en 415 kg/cm^2 es el **79%**
 - En la etapa segunda con el 10% de partículas débiles, al añadirle el aditivo **Sikament 10**, más la microsílíce **SikaFume**, incrementa en 436 kg/cm^2 , es el **80%**.
- Se puede observar como la resistencia del concreto patrón va incrementando a medida que se mejora la calidad de las partículas así como la adherencia a la pasta al lavar los agregados.
- Se observa el aporte constante favorable de los aditivos superplastificantes de alto rango tipo G, de cualquiera de las dos marcas Euco o Sika, actuando sobre el concreto patrón elaborado con cemento tipo I, de cualquiera de las marcas Andino ó Sol, en las etapas preliminar, primera y segunda.
Para conseguir resultados elevados se debe partir de un concreto patrón de alta calidad.
- El aporte de la microsílíce es casi constante en las etapas primera y segunda, que es cuando se uniformiza el proceso de mezclado.

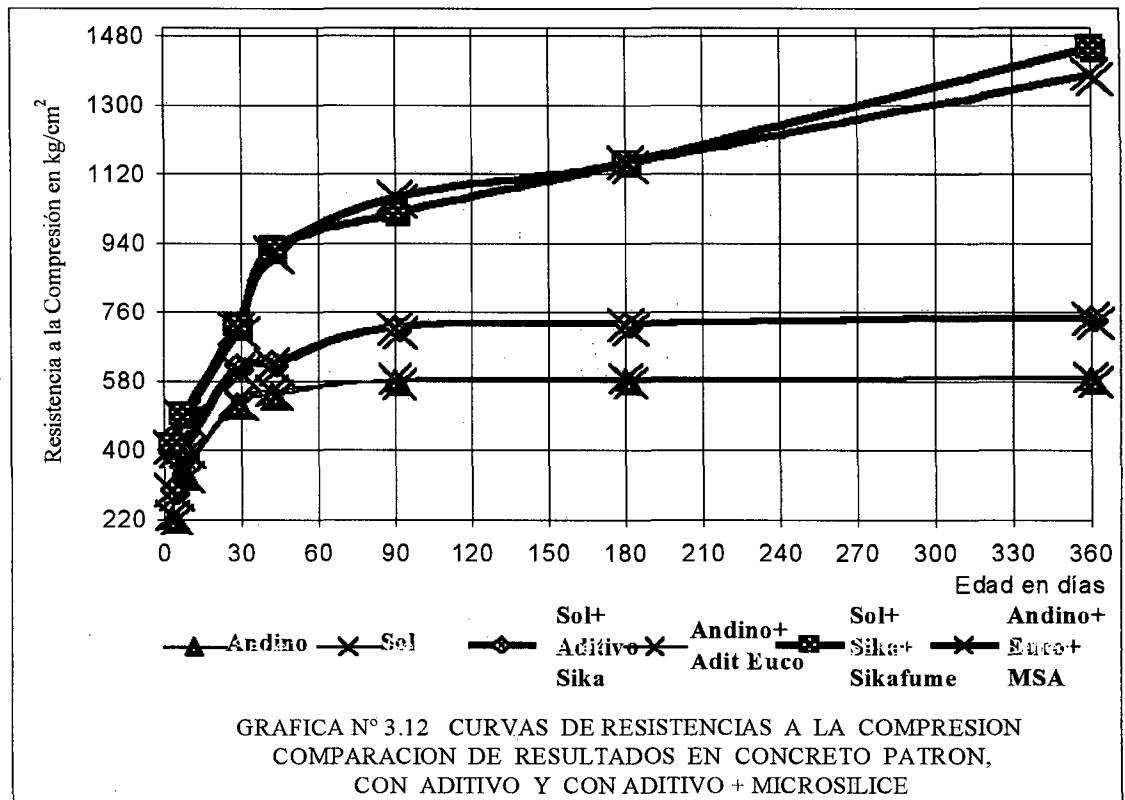


Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de $550 - 1200 \text{ kg/cm}^2$ "

4.1.1 Análisis de los Resultados de las Propiedades del Concreto de Alta Resistencia.

4.1.1.1 Resistencia a la Compresión.-

En las gráficas, correspondientes a las etapas primera y segunda respectivamente, se muestran las curvas del desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto en sus tipos: patrón, c/aditivo, c/aditivo y microsílíce.



Análisis.-

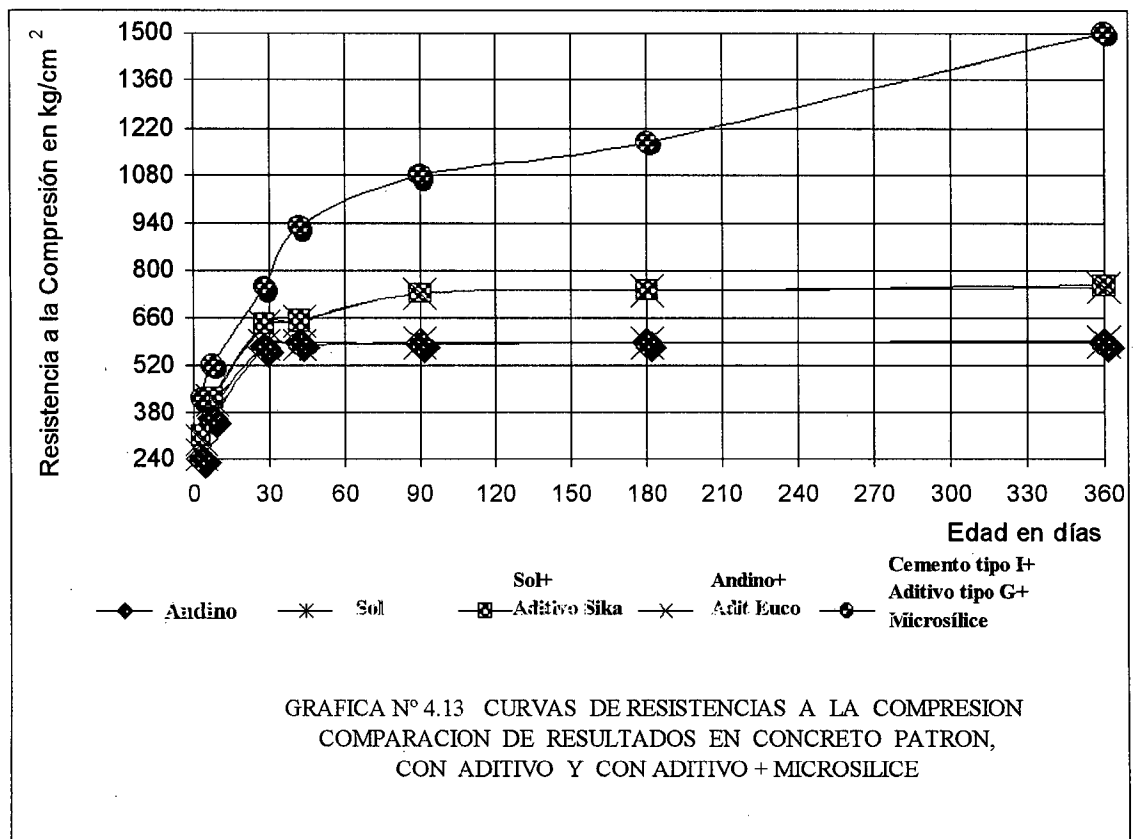
- Comportamiento del Concreto.-

Se observa de la Gráfica N° 4.3, como se incrementa con el tiempo el desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de alta resistencia en sus tres tipos:

En la Etapa Primera.-

- En Concreto Patrón: Preparado con cemento Sol y Andino, el crecimiento de la resistencia a la compresión aumenta rápidamente hasta los 28 días y luego se mantiene estable, nótese además que el comportamiento de ambos es muy similar superponiéndose las curvas por este motivo.
- En los Concretos con Aditivo: Preparados con los superplastificantes retardantes tipo G: Euco 537 y Sikament 10, el crecimiento de la resistencia a la compresión es similar a la del patrón, aumentando hasta los 28 días y luego permanece casi constante, nótese además que el comportamiento de ambos aditivos es muy similar superponiéndose también las curvas respectivas.

- En los concretos con aditivo más microsílíce:
Preparados con aditivo Euco 537 más la microsílíce Euco MSA, y el aditivo Sikament 10 más la microsílíce Sikafume.
Se observa un comportamiento totalmente distinto a los concretos patrón y con aditivo; el crecimiento de la resistencia a la compresión supera la edad de 42 días, alcanzándose los 1000 kg/cm² de resistencia, mostrando esta tendencia creciente hasta la edad de un año que es lo ensayado en esta tesis.
A partir de esta edad se incrementa la resistencia a la compresión en un promedio del 15% ± 5% conforme avanza el tiempo.
Ambas marcas de microsílíce actúan satisfactoriamente para la obtención del concreto de alta resistencia, con lo que demuestran compatibilidad con los cementos y los aditivos, logrando elevar las resistencias hasta niveles del orden de los 1000 kg/cm² nótese como las curvas respectivas casi coinciden.
- En la Etapa Segunda.-
En esta etapa se decidió comprobar los resultados anteriores, para lo cuál se prepararon las probetas con el aditivo Sikament 10 y SikaFume.
La siguiente gráfica muestra como el comportamiento del concreto se repitió en sus tres tipos, pero esta vez los resultados de 1000 kg/cm² a los 42 días fueron en mayor cantidad, a causa de las condiciones de los agregados.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

4.1.1.2 Edad de Ensayo del Concreto de Alta Resistencia.-

Es necesario establecer una edad adecuada de rotura del concreto de alta resistencia pues, como se mencionó anteriormente, su crecimiento continúa hasta mucho después de los 28 días. Se muestran en el cuadro N° 4.2 los resultados del concreto con aditivo más microsílíce, evaluado hasta un año, en los recuadros se presentan los incrementos de resistencia.

Concreto	CUADRO N° 4.2 Resistencia a la Compresión									
	Cemento tipo I más Aditivo más microsílíce						Cemento tipo V + ad + MS			
	Resultados			Incrementos en %			Resultados		Incremento en %	
	Edad	Etapa I		Et. II	Prom de I	II	%Prom.	Etapa III		% Promedio
Días	Kg cm ²	Kg cm ²	Kg cm ²	Recuadro N° 1	Recuadro N° 2	Recuadro N° 3	Kg cm ²	Kg cm ²	Recuadro N° 4	Recuad. N° 5
3	407	413	416	30%	28%	45%	-	-	-	-
7	484	490	520	35%	35%	53%	548	567	48%	50%
28	715	725	749	52%	50%	78%	761	829	67%	73%
42	913	926	1007	67%	67%	100%	1136	1139	100%	100%
90	1061	1020	1082	73%	72%		-	-	-	-
180	1150	1180	1181	84%	92%		-	-	-	-
360	1380	1400	1500	100%	100%		-	-	-	-

Análisis.-

- Edad de 90 a 100 días: Los recuadros N° 1 y N° 2, toman como 100% al valor de resistencia a la compresión correspondiente a la edad de 360 días, se observa que el 73% de desarrollo corresponde a la edad de 90 días; aparentemente la edad tentativa de rotura sería de 100 días pero no es práctico esperar tanto tiempo.
- Edad menor a 90 días: La diferencia en tiempo de 42 a 90 ó 100 días es considerable, y el incremento de resistencia es aproximadamente del 10%, entre ambas edades, valor que no es significativo para el orden de magnitud de las resistencias, por lo que se desarrolló el recuadro N° 3.
- Edad de 42 días: Se toma el 100 % a la edad de 42 días, se observa en el recuadro N° 3, que casi el 78% de la resistencia es a los 28 días. No es posible buscar una edad menor por que se perdería un porcentaje importante.
- Comprobación de la edad de 42 días: Los recuadros N° 4 y N° 5, confirman los porcentajes de desarrollo de las resistencias a la compresión del recuadro N° 3.
- Edad de rotura de probetas a 42 días propuesta en la Tesis: Con el respaldo de los análisis de los resultados obtenidos en esta tesis se propone una edad de rotura de probetas de 42 días como edad representativa del concreto de alta resistencia, no pudiendo ser de 28 días como corresponde a un concreto normal.

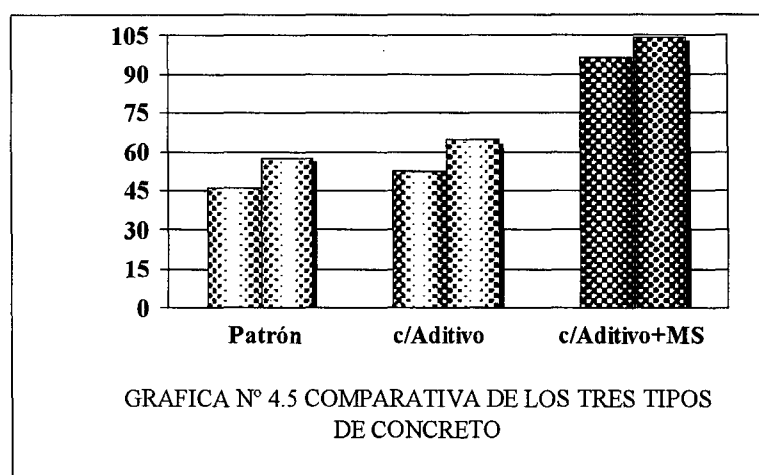
4.1.1.3 Resistencia a la Tracción.-

Esta propiedad se evaluó en la segunda etapa, se muestra en el Cuadro N° 4.3 un resumen de los resultados obtenidos en las tres tipos de concreto a los 28 días de edad, y se le representa gráficamente.

CUADRO N° 4.3 INCREMENTOS COMPARATIVOS DE RESISTENCIA A LA TRACCION EN LOS TIPOS DE CONCRETO						
Edad	28 días				42 días	
Tipo	Concreto Patrón		Concreto con Aditivo		Conc. c/ aditivo + Ms	
N°	Sol	Andino	Sol + Sika	And.+Euco	Sol+Sika+Ms	And+Eu.+Ms
Promedio	46,049	57,720	52,097	64,245	85,354	100,739
% f' _c	8%	10. 5%	8%	10. 5%	8%	9%
Increment	100%	100,0%	113,1%	111,3%	185,4%	174,5%
Increment			100,0%	100,0%	163,8%	156,8%

Análisis.-

- El valor de la resistencia a la tracción se incrementa según se añade el aditivo y el aditivo más la microsílíce.
- En las tres tipos el valor de la resistencia a la tracción corresponde al rango del 08% al 11% del valor de la resistencia a la compresión, lo que demuestra que conserva la proporción de resistencia de los concretos normales.
- Los aditivos super plastificantes incrementan en promedio el 12 % del valor de la resistencia a la tracción del concreto patrón.
- Los aditivos super plastificantes con la microsílíce incrementan en promedio el 80 % del valor de la resistencia a la tracción del concreto patrón.
- Los aditivos super plastificantes con la microsílíce incrementan en promedio el 60 % del valor de la resistencia a la tracción del concreto con un aditivo. Con las mismas condiciones este porcentaje coincide aproximadamente con los resultados de resistencia a compresión.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

4.1.1.4 Peso Unitario Compactado del Concreto fresco.-

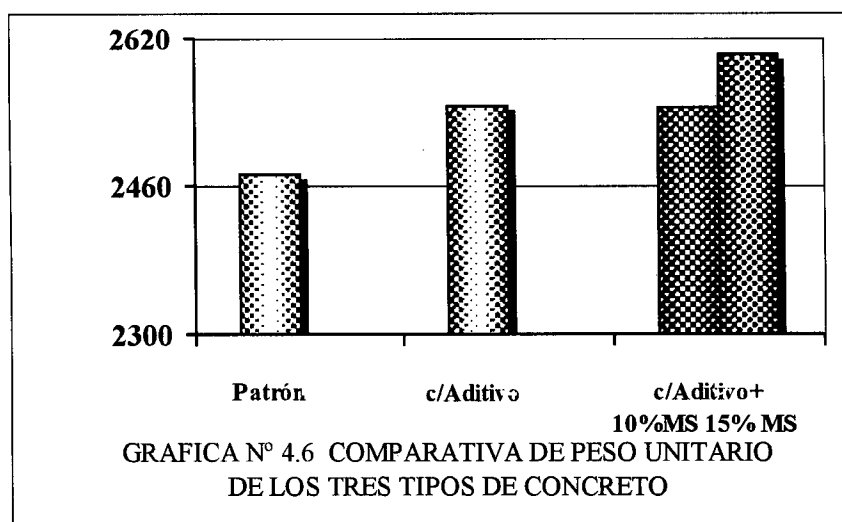
Las propiedades al estado fresco son evaluadas durante la segunda etapa. El concreto en su estado fresco presenta en su tipo de concreto patrón un peso unitario compactado que se va incrementando entre tipo y tipo, como se muestra en el cuadro.

CUADRO N° 4.4 COMPARATIVO DE PESO UNITARIO COMPACTADO DEL CONCRETO				
Concreto	Patrón	Con Aditivo	Ad.+10% MS	Ad.+17% MS
PUC	2472,027	2546,480	2583,48	2602,29
Incremento	100%	103%	104%	105%
Incremento		100%	101%	102%

Análisis.-

- El peso unitario del concreto incrementa su valor de su tipo patrón a la que contiene aditivo debido a que disminuye su relación agua cemento por lo que se vuelve más denso, cabe anotar que aporta peso el propio aditivo, el cuál es aproximadamente 19 kg por metro cúbico de concreto.
- El peso unitario del concreto incrementa su valor de su tipo con aditivo a la que contiene aditivo más microsílíce, debido a que la microsílíce actúa densificando la pasta además de reaccionar con el hidróxido de Calcio produciendo un mayor porcentaje de C_3A y por consiguiente mayor porcentaje de los elementos resistentes del concreto aumentando la densidad de la mezcla.

La microsílíce aporta en peso desde 62.5 (10%) a 106.25 (17%).



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

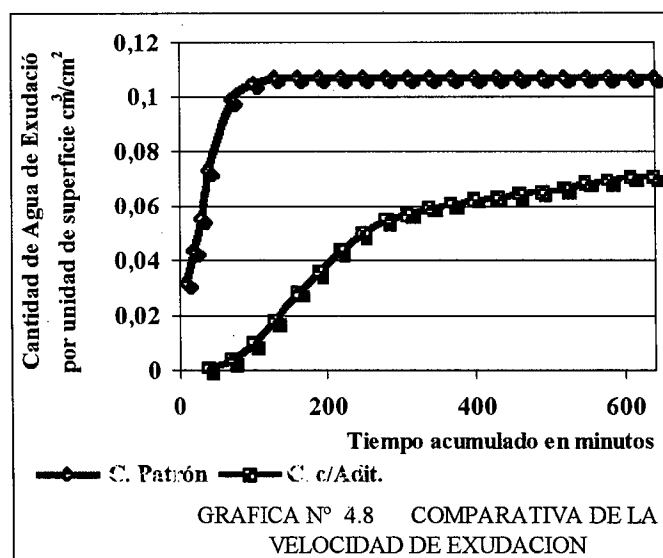
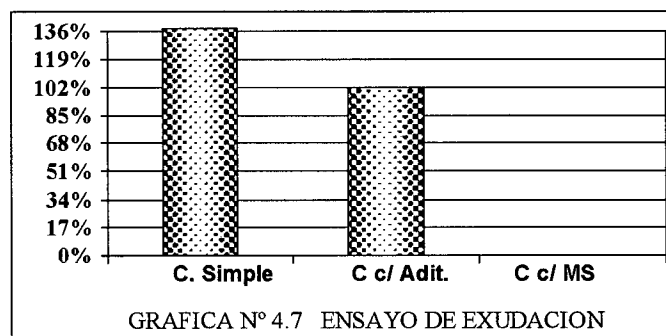
4.1.1.5 Exudación.-

El concreto en su estado fresco presenta en su tipo de concreto patrón un porcentaje de exudación que va disminuyendo entre tipo y tipo, como se muestra en el Cuadro N° 4.5 los porcentajes.

CUADRO N° 4.5 COMPARACION DE EXUDACION			
Concreto	Patrón	con Aditivo	c/ Microsilica
Exudación	137%	100%	0%
Decremento	102%	37%	0%

Análisis.-

- El concreto en su tipo patrón es más permeable que el concreto con aditivo, por lo que pierde parte de su contenido de agua.
- El concreto con los aditivos hace que la densidad de la mezcla se incremente con respecto al concreto patrón sin embargo aún existe permeabilidad y por lo tanto un porcentaje de exudación.
- El concreto con la microsilíce no presenta ningún porcentaje de exudación, la microsilíce debido a su diminuto tamaño cubre las porosidades del concreto por lo que resulta una alta densidad y una baja permeabilidad, una de las aplicaciones de estos concretos esta dada por esta característica impermeable.



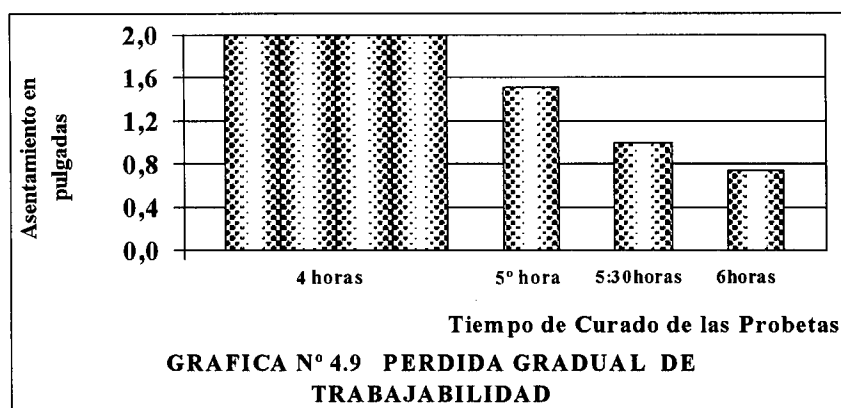
4.1.1.6 Pérdida de Trabajabilidad:-

La Trabajabilidad se pierde gradualmente; se realizan dos ensayos de asentamiento con el cono de Abrahams, partiendo con 2 pulgadas de slump.

CUADRO N° 4.6 PERDIDA DE TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO CON ADITIVO MAS MICROSILICE					
Hora	Tiempo de Pérdida de Trabajabilidad	Slump	Hora	Tiempo de Pérdida de Trabajabilidad	Slump
20:00	inicio	2"	20:30	inicio	2"
00:00	4 h : 00 m	1.5"	23:30	3 h : 30 m	1.5"
01:00	5 h : 00 m	1"	01:30	4 h : 30 m	1"
01:30	5 h : 30 m	3/4"	02:00	5 h : 00 m	3/4"
02:00	6 h : 00 m	1/2"	02:30	5 h : 30 m	1/2"
03:00	7 h : 00 m	0"	03:30	6 h : 00 m	0"

Análisis.-

- La naturaleza de los aditivos superplastificantes retardantes de alto rango tipo G, son altamente efectivos para usarse en la preparación de concretos de alta resistencia, permiten una trabajabilidad de 2" a 3" por espacio de 4 horas con una pérdida gradual durante otras tres, como se observa en el cuadro N° 4.6.
- Los aditivos superplastificantes aún siendo del mismo tipo, presentan sus propias características, por lo tanto responden óptimamente a un dosaje en particular el cuál se halla en tandas de prueba.
- Influyen además algunos factores como:
 - La naturaleza de los aditivos y los tipos de cemento con los que se trabajaran.
 - El momento de adición del aditivo a la mezcla.
 - La microsílilica posee entre sus propiedades una alta absorción por lo tanto una incomoda manipulación, razón por la cuál los aditivos superplastificantes de alto rango pueden otorgarle una trabajabilidad adecuada.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

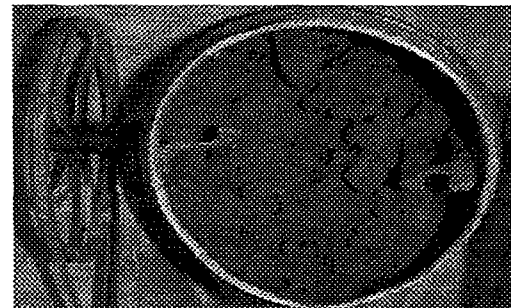
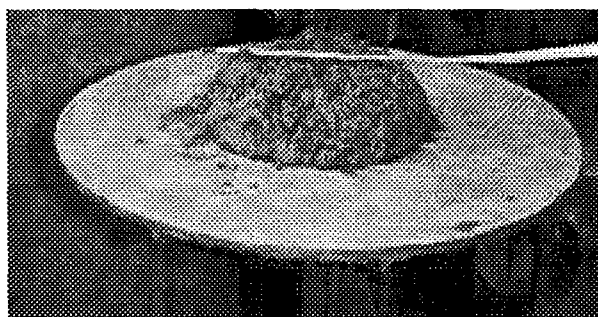
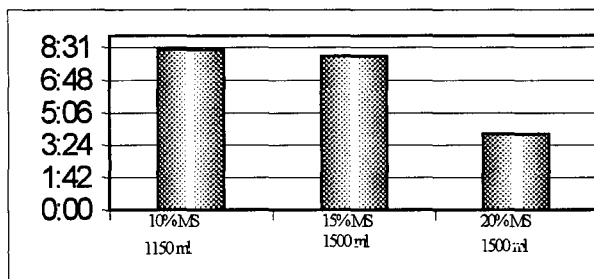
4.1.1.4 Tiempo de Fraguado y Fluidéz.-

Se muestra el Cuadro N° 4.7, los resultados comparativos de los tres tipos de concreto evaluados en la segunda etapa de la tesis.

CUADRO N° 4.7 ENSAYOS DE TIEMPO DE FRAGUADO Y FLUIDEZ					
Tipo de Concreto	Patrón	Con Aditivo	Aditivo + MS		
			10%+9 lt	15%+9 lt	20%+12 lt
Inicial	03 h : 07 m	04 h : 13	07 h : 45 m	06 h : 59 m	03 h : 00 m
Final	03 h : 55 m	15 h : 15	08 h : 23 m	08 h : 03 m	04 h : 00 m
Fluidéz	59,30%	130%	62%	40%	28%

Análisis.-

- La propiedad absorbente de la microsilíce tiene mayor influencia según se le utiliza en mayor porcentaje disminuyendo significativamente la fluidéz y el tiempo de fragua como se observa en la gráfica N° 4.10.
- Se observa como a medida que se incrementa la microsilíce, se incrementa la pérdida de fluidéz y la necesidad de incrementar la cantidad de agua o aditivo; en el segundo caso encarecería el concreto, como se muestra en las fotos.



- Las dosificaciones superiores al 15% requieren de un estudio más profundo para poder comprender su comportamiento.
- Las dosificaciones menores al 10% también requieren ser estudiadas para determinar sus propiedades.

4.2.0 Análisis de los Resultados Obtenidos en los Estudios de Investigación.

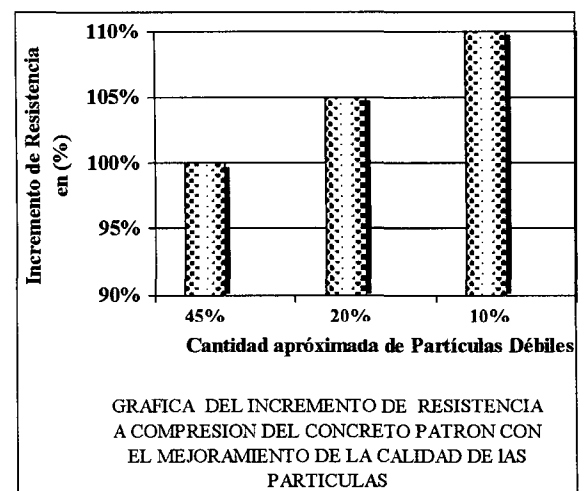
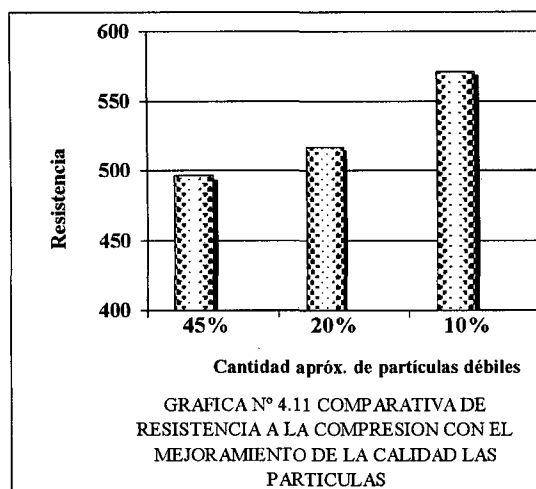
4.2.1 Análisis de la Influencia de la Calidad de las Partículas de los Agregados en la Resistencia a la Compresión.-

- El cuadro resumen presenta los resultados obtenidos al variar el porcentaje de partículas alteradas, laminares, y débiles así como en su estado lavado y sin lavar:

CUADRO N° 4.8 RESISTENCIA A LA COMPRESION			
Concreto Patrón a 28 días de edad			
Etapas	Inicial	Primera	Segunda
Resultados	492,45	517,38	571,05
Partículas débiles	45%	20%	10%
Porcentaje	100%	105,06%	110,37%
Agregados	sin lavar	sin lavar	lavados

Análisis.-

- De los resultados se observa como se incrementan los valores de resistencia a la compresión a razón que se disminuye la cantidad de las partículas débiles, alteradas, laminares y se les lava, lo que demuestra que influyen de forma determinante estos factores en la preparación del concreto de alta resistencia.
- Los porcentajes de partículas laminares y débiles permisibles para los concretos de alta resistencia aún quedarían pendientes por determinarse sin embargo de acuerdo a la tesis de un 10% a menor porcentaje estarían obteniéndose resultados satisfactorios.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

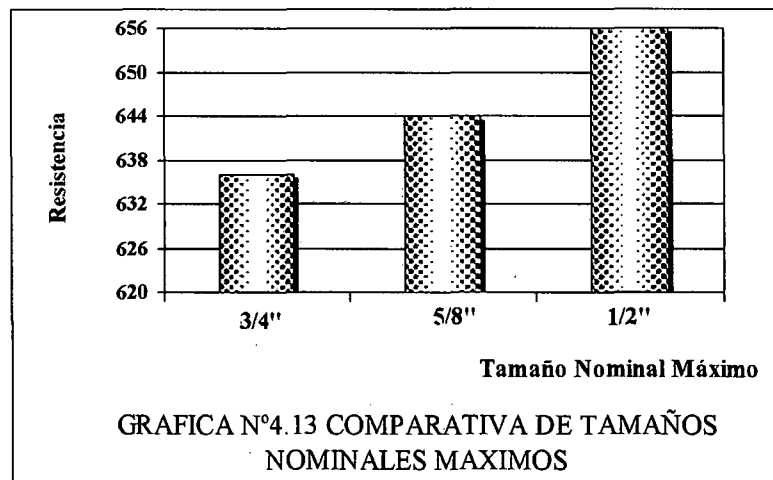
4.2.2 Análisis de la Influencia del Tamaño Nominal Máximo .-

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en concreto con aditivo variándose los tamaños nominales máximos para conocer si existe influencia significativa en los resultados, el número de probetas fue de tres para cada edad, los resultados se muestran en el cuadro N° 4.9.

T nom máx.	3/4"	5/8"	1/2"	3/8"
7 días	416,9	426,5	432,9	433,74
% incremento	100%	102%	102%	102%
28 días	636,8	644,1	656,1	651,48
% incremento	100%	101%	102%	102%

Análisis.-

- Se observa como el tamaño nominal máximo influye en el valor de la resistencia a la compresión, pero con todos los tamaños nominales máximos ensayados de 3/4", 1/2", 3/8", responden satisfactoriamente, para preparar concretos de alta resistencia pero para diferentes niveles.
- Los resultados más favorables se obtienen con el tamaño de 1/2".
- Con el tamaño nominal máximo de 3/8", se obtuvieron resultados similares a los de 1/2", en esta ocasión no se incrementó el valor de la resistencia a la compresión probablemente por tener mayor superficie específica que los otros tamaños por lo que necesitaría mayor cantidad de cemento, aumentando así el costo por metro cúbico de concreto, razón por la que no se continuó con 3/8".
- La ventaja en los resultados obtenida por el tamaño de 1/2" puede parecer mínima sin embargo al añadir el aditivo y la microsílíce esta ventaja aumentará significativamente, cabe anotar además que se ensayaron tres probetas por edad, de haberse ensayado en mayor cantidad probablemente los resultados se diferenciarían un poco más.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

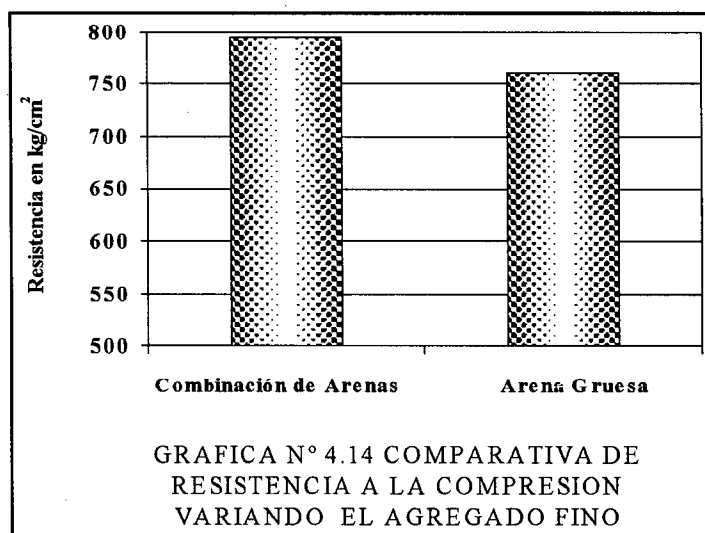
4.2.3 Análisis de la Variación de la Matriz Aglomerante.-

La matriz aglomerante de la pasta del concreto se varió combinando la arena gruesa con la arena fina. Los resultados y los incrementos conseguidos se muestran en el cuadro N° 4.10.

CUADRO N° 4.10 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION VARIACION DE LA MATRIZ AGLOMERANTE		
Concreto con Aditivo + Microsilica		
Edad	Arena Gruesa	Arena Gruesa + Fina
7	517 kg/cm ²	540 kg/cm ²
Incremento	100%	104%
28	760 kg/cm ²	795 kg/cm ²
Incremento	100%	104%

Análisis.-

- La recomendación para preparar concretos de alta resistencia indica que el agregado fino, el módulo de finura deberá estar en el rango de 3.0 a 3.2. Se trabajó con arena gruesa de m f de 3.14, al tratar de mejorar la matriz aglomerante de la pasta obtenida con esta arena, se le combinó con arena fina obteniéndose un m f de 3.00. que dio concretos con incrementos muy poco significativos en la resistencia, lo cuál tiene coherencia pues el se encuentra dentro del rango requerido.
- La granulometría influye en la resistencia a la compresión del concreto, al combinar las arenas se modificó la granulometría y se modificaron los valores de resistencia a la compresión, al modificar la granulometría del agregado grueso se modifico la consistencia de la mezcla volviéndose muy pedregosa y difícil de manejar.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm²"

4.2.4 Análisis del Contenido de Finos de la Arena Gruesa.-

Se presentan los porcentajes que pasan de finos que contiene la arena gruesa lavada y sin lavar a partir de la malla N° 200. La granulometría ha sido calculada con el método del hidrómetro. El diámetro de las partículas de 0.020 mm es el que limita los limos de las arcillas.

Malla (mm)	Sin Lavar	Lavada
0,074	4,1%	5,0%
0,0697	→	4,4%
0,0673	→	3,8%
0,05	→	3,4%
0,0485	→	2,3%
0,0354	→	3,2%
0,0347	→	1,4%
0,0252	→	2,9%
0,0248	→	0,8%
0,0176	→	0,6%
0,0124	→	0,3%
0,0091	→	0,1%
0,0079	→	0,0%

Análisis.-

- Se observa como los diámetros de las partículas que registra el hidrómetro cuando la arena se encuentra lavada son ligeramente mayores con respecto a los diámetros de las partículas cuando se encuentran sin lavar .
- El porcentaje de finos, contenidos en la arena gruesa determinados por el ensayo del hidrómetro indican la presencia del 01.5% de arcillas y del 03% de limos, después de lavar la arena solo se eliminó el contenido de arcillas quedando casi invariable el contenido de limos. Aparentemente no es una cantidad importante sin embargo se notó mejor adherencia en la rotura de las probetas después de lavar la arena.
- Nótese como aún lavando la arena gruesa, no es posible eliminar el contenido de limos.

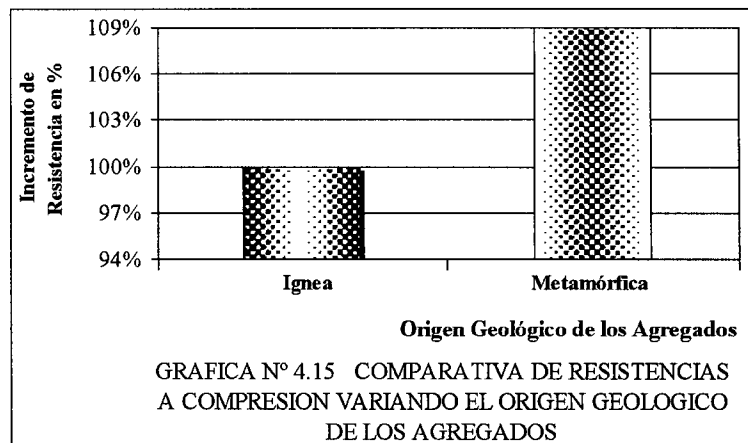
4.2.5 Análisis de la Influencia del Origen Geológico de los Agregados.-

Se realizaron ensayos en resistencia a la compresión en concreto con aditivo más microsílíce, variando los orígenes geológicos de los agregados, se utilizaron los agregados de origen ígneo intrusivo y metamórfico.

CUADRO N° 4.12 INCREMENTO DE RESISTENCIA A COMPRESION VARIANDO EL ORIGEN GEOLOGICO DE LOS AG.GRUESOS		
Edad	Ignea intrusiva	Metamórfica
7 días	547,5	566,7
Incremento	100%	103,51%
28 días	760,5	828,67
Incremento	100%	108,96%
42 días	1136,36	1139,55
Incremento	100%	100,28%

Análisis.-

- El agregado grueso de origen ígneo intrusivo y volcánico utilizado en la preparación del concreto de alta resistencia (90% Dioritas + 10% Andesitas), dio muy buenos resultados, con un peso unitario de 2750 kg/m³ a pesar de ser partículas alteradas o estar en ese proceso, y medianamente densas y compactas.
- El agregado grueso de origen metamórfico, (Cuarцитas) presenta mucha dificultad para ser trituradas, además al someterlas a este proceso sus partículas tienden a formas laminares, con un peso unitario de 2580 kg/m³, presentando partículas porosas, oxidadas, con alta absorción y bajo contenido de humedad a pesar de ello los resultados de resistencia del concreto fueron similares lo que evidencia la importancia del origen geológico de los agregados por su composición mineralógica interna, por tal motivo no serán aceptables, agregados con peso unitario menor de 2750 kg/m³.

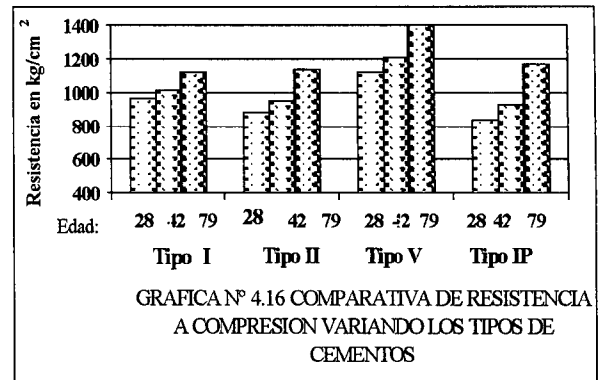


Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm² "

4.2.6 Resistencia a la Compresión en Morteros.-

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en probetas de 15 x 30 cm de los morteros.

CUADRO N° 4.13 RESISTENCIAS COMPRESION VARIANDO LOS TIPOS DE CEMENTO				
Edad días	Tipos de Cementos			
	I	II	V	IP
7	759	700	900	650
28	970	880	1129	834
42	1015	955	1205	925
79	1128	1143	1400	1170
Slump	2"	3 3/4"	3"	3/4"
de Air	3,60%	4%	4%	4%



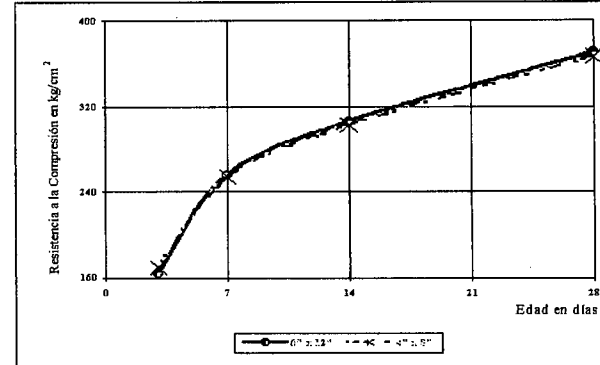
Análisis.-

- Los morteros preparados con los distintos tipos de cementos muestran comportamientos marcadamente distintos evidenciando de esta manera la influencia de la compatibilidad química del cemento y los aditivos en el desarrollo de la resistencia.
- Cada tipo de cemento requiere de su propio diseño de mezcla, en la tesis al aplicar las proporciones calculadas para el concreto con cemento tipo I, se ocasionaron comportamientos diferentes en los morteros:
Con el tipo I, presenta una adecuada trabajabilidad.
Con el tipo II, presenta exudación en la pasta y agrietamiento en los testigos.
Con el tipo V, presenta reducción de agua se alcanza un slump de 3".
Con el tipo IP, requiere más agua, se alcanza un slump de 3/4" pulgadas.
Con el tipo IPM, requiere más agua, se alcanza un slump de 0" pulgadas.
- Los resultados de resistencia a compresión de los morteros son muy elocuentes:
El mortero con cemento tipo V, desarrolla altísimas resistencias todo el tiempo.
El mortero con cemento tipo I, desarrolla altas resistencias todo el tiempo.
El mortero con cemento tipo II, desarrolla altas resistencias todo el tiempo similar al tipo I con la desventaja que no es de uso comercial el tipo II.
El mortero con cemento tipo IP, desarrolla altas resistencias a partir de los 28 días, llegando a alcanzar a la edad de 79 días a lo demás.
El mortero con cemento tipo IPM, alcanza los 750 kg/cm² a los 90 días de edad.
- Los resultados obtenidos de los cementos tipos II, V podrían incrementarse y con el tipo IP podrían disminuir, al hacerles un diseño de mezclas propio, pero la tendencia esta definida.
- Los cementos nacionales en todos sus tipos y marcas desarrollan concretos de alta resistencia, solo que en distintos niveles.

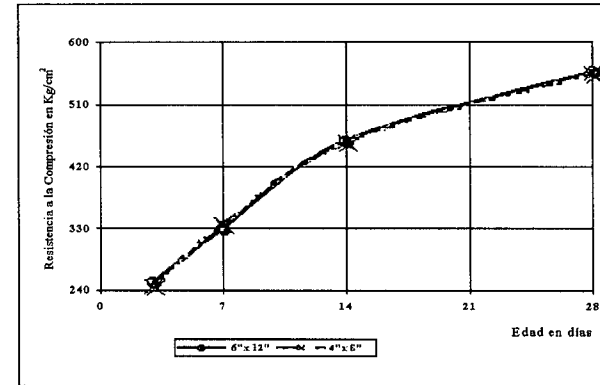
4.2.7 **Moldes.-**

El uso de los tamaños de moldes es importante para la elaboración del concreto de alta resistencia, por tal razón se estudió la correlación que existe entre los tamaños de 4" x 8" pulgadas, y los de 6" x 12" pulgadas, se muestran los cuadros y los gráficos.

CUADRO N° 4.14 ENSAYO DE RESISTENCIA VARIANDO LOS TAMAÑOS DE PROBETAS CON AGREGADO DE TAMAÑO MAXIMO DE 3/8"		
Edad	4x8	6x12
3	169	164
7	254	256
14	303	306
28	367	371
Leyenda	Serie 1	Serie 2



CUADRO N° 4.15 ENSAYO DE RESISTENCIA VARIANDO LOS TAMAÑOS DE PROBETAS AGREGADO TAMAÑO MAXIMO DE 3/4 pulg		
Edad	4x8	6x12
3	246	251
7	336	330
14	456	457
28	555	558
Leyenda	Serie 1	Serie 2



Análisis.-

- Los moldes a utilizarse en concretos de alta resistencia pueden ser de 4" x 8" pulgadas ó de 6" x 12" pulgadas, pues el factor de correlación entre ambos es prácticamente uno sin embargo aún falta determinarlo con exactitud, ensayando mayor cantidad de probetas de probetas.
- El moldeo de las probetas depende además del acomodo de las partículas en el molde, por lo que cuando se utilizan moldes de 4 x 8 pulgadas se requiere de mayor cuidado que si se utilizaran los de 6 x 12 pulgadas.
- En los moldes de tamaño de 4" x 8" pulgadas se podía observar, en las probetas ensayadas la distribución del agregado en la pasta, notándose que el grueso se acumulaba en la parte inferior, mientras que la distribución del agregado fino era uniforme; por tal motivo los resultados tienen mayor dispersión que en los de 6" x 12" pulgadas, por lo que su manipulación es más delicada.
- Se requiere de mayor cantidad de testigos utilizando moldes de 4 x 8 pulgadas que si se utilizan los moldes de 6 x 12 pulgadas.
- El procedimiento del moldeo de las probetas de 4" x 8" pulgadas aún falta estudiarlo y determinarlo, en la tesis la mayoría de ensayos se realizaron con probetas llenadas en tres capas de 25 golpes cada capa con la varilla de 5/8", recién en la tercera etapa se utilizó la de 3/8", por tales motivos se presentan dispersiones en los resultados, los mismos que se pueden disminuir con un adecuado procedimiento de moldeo y el uso de una varilla de 3/8".

4.2.8 Dosificación del Aditivo y la Microsílice.-

Los aditivos que se utilizaron en la tesis fueron los superplastificantes de alto rango tipo G, y la Microsílice densificada en polvo.

Las dos marcas distintas de aditivos y microsílice que se utilizaron con el objetivo de confirmar los resultados de resistencia a la compresión mostraron similar comportamiento.

Análisis.-

- Los aditivos superplastificantes, retardantes de alto rango tipo G, presentan un satisfactorio comportamiento para ser utilizados con la microsílice. Por su naturaleza retardante permiten obtener un tiempo adecuado de trabajabilidad del concreto, en cambio utilizando un superplastificante de alto rango tipo F otorgan un tiempo de trabajabilidad de aproximadamente 10 minutos siendo muy difícil la colocación del concreto.
- El doble aporte de los superplastificantes de alto rango tipo G, para el desarrollo de la alta resistencia consiste en incrementar la resistencia a la compresión y otorgarle trabajabilidad al concreto para un fácil vaciado.

4.2.8.1 Los aditivos tienen una dosificación óptima, una dosificación escasa ocasionaría la falta de trabajabilidad y en exceso causaría segregación o una buena trabajabilidad pero una baja de resistencia por un exceso de incorporación de aire, por tal motivo se tantearon varias dosificaciones, hasta que se halló la óptima de 9 lt por metro cúbico de concreto, correspondiente a 1500 ml por 100 kg de cemento.

La dosificación buscada debería cumplir con un elevado slump, una elevada resistencia y un costo económico, de los resultados obtenidos se puede observar:

Aditivo por m ³	2100 ml			1000 ml	
	0,32	0,32	0,38	0,34	0,38
Relación a/c					
Resist. (7 días)	229 kg/cm ²	368 kg/cm ²	Muy bajos	210kg/cm ²	320 kg/cm ²
Microsilica	15%	17,50%	15%	15%	15%
Slump	5 3/4"	2 1/2"	6"	0.5"	2"
% Aire	1,7%	2,2%	2,0%	4,2%	3,1%
Eficiencia	Muy baja con respecto al costo del aditivo y la microsilica				

Análisis.-

Cabe anotar los aditivos utilizados de ambas marcas Euco 537 y Sikament 10 tuvieron dosificaciones muy similares.

- a) Para la relación $a/c = 0.32$, se obtiene un satisfactorio slump, pero la resistencia a la compresión es muy baja y no justifica la inversión económica de tanta cantidad de aditivo como de microsílíce, además de pertenecer al rango de mezclas no plásticas. A pesar del slump, la textura de la mezcla no facilita la trabajabilidad es muy pegajosa.

Cuando se incrementa la cantidad de microsílíce a 20% y se aumenta la cantidad de agua manteniendo la misma cantidad de aditivo y $a/c = 0.32$, el valor de la resistencia mejora, sin embargo el costo por metro cúbico se incrementa y la resistencia obtenida de 368 kg/cm^2 , se puede obtener sin el uso de la microsílíce por lo tanto no es un diseño de mezcla correcto.

Se observa que la mezcla necesita del agua para desarrollarse.

- b) Para la relación $a/c = 0.38$, el tiempo de desarrollo de la resistencia es muy lento puede deberse a la excesiva cantidad de aditivo, por lo que resulta incorrecto este dosaje.

- Con 6 lt de aditivo por cada metro cúbico de concreto, la trabajabilidad se vio afectada, dificultándose la manipulación del concreto y reduciéndose la resistencia a la compresión, los valores que se obtuvieron no corresponden a los de alta resistencia y se pueden alcanzar sin el uso de la microsílíce por lo que el diseño con esa dosificación es incorrecto.
- La dosificación óptima se obtuvo con aproximadamente 9 lt de aditivo por metro cúbico de concreto, con una relación a/c de 0.433 que pertenece al rango plástico de las mezclas facilitándose de esta manera la hidratación del concreto, la trabajabilidad de 2 pulgadas presenta además una alta cohesión y una textura de la mezcla que facilita la colocación.

CUADRO N° 4.17 CANTIDAD OPTIMA DE ADITIVO	
Aditivo	9 lt
Microsilica	15%
Relación a/c	0,433
Slump	2"
% de Aire	3,40%

- 4.2.9 La microsílíce utilizada en la tesis tiene un 45% de absorción, es por este motivo que en las publicaciones del extranjero indican que requiere del incremento de un 30%-45% de agua para el diseño de mezcla en caso de no ser utilizada con un aditivo superplastificante, siendo los más adecuados los de tipo G.

4.3.0 Tiempo de Curado.-

El tiempo de curado, se evalúa en la tesis indirectamente sin embargo los resultados indican la significativa influencia del tiempo de curado en el desarrollo de la alta resistencia en todas sus tipos.

CUADRO N° 4.18 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION VARIANDO EL TIEMPO DE CURADO EN CONCRETO PATRON								
Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia	Edad de Curado	Edad de Rotura	Resistencia
15	28	464,73	22	28	517,78	28	28	557,4
Resistencia al 78% por tener 15 días de curado		83%	Resistencia al 93% por tener 22 días de curado		93%	Resistencia al 100% por tener 27 días de curado		100%

CUADRO N° 4.19 ENSAYO DE RESISTENCIA EN CONCRETO c/ADITIVO VARIANDO EL TIEMPO DE CURADO											
Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo
7	28	394	28	28	637	7	28	412		28	
Resistencia al 62% c/ 7 días de curado		62%	Resistencia al 100% c/28 días de curado		100%	Resistencia al 64% c/7 días de curado		64%	Resistencia al 100% c/28 días de curado		100%

CUADRO N° 4.20 ENSAYO DE RESISTENCIA EN CONCRETO VARAINDO EL TIEMPO DE CURADO											
Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo	Edad de curado	Edad de Rotura	Esfuerzo
7	28	759	14	28	846	21	28	897		28	
Resistencia al 78% c/7 días de curado		78%	Resistencia al 87% c/14 días de curado		87%	Resistencia al 78% c/21 días de curado		92%	Resistencia al 100% c/28 días de curado		100%

Análisis.-

- Aún sin ensayar directamente en el concreto con aditivo más microsíllice, se puede observar como es muy influyente el curado en todas las tipos del concreto de alta resistencia.
- Los porcentajes de desarrollo de la resistencia con respecto a los 28 días, son los mismos en el concreto patrón, el concreto con aditivo y el mortero de alta resistencia.
- Se puede deducir que se necesitan más de 22 días de curado para los concretos de alta resistencia en cualquiera de sus tipos.
- Del recuadro N° 3, del gráfico N° 4.18, se puede observar: Si se toma como el 100% al valor de los 42 días de edad, a los 28 días recién desarrolla el 70% del total de su resistencia lo cual indica una analogía con el comportamiento del concreto de normal y mediana resistencia por lo que es coherente intuir que se necesitan alrededor de 28 días de curado.

4.4.0 Secuencia de Mezclado.-

Se ensayaron varios métodos de procedimiento de mezclado así como del tiempo de mezclado para conseguir una mezcla homogénea y evitar la acumulación de grumos de la microsílíce.

Los ensayos se realizaron en morteros con cemento tipo I, en moldes de 5 x 5 cm. La elección de la mejor secuencia correspondería a los tres mayores resultados de fluidez y resistencia a la compresión, al probarlos en concreto se eligió la siguiente secuencia:

CUADRO N° 4.21 PROCEDIMIENTO DE MEZCLADO Y CARACTERISTICAS FISICAS DE LA MUESTRA			
Arena + Cemento + Microsilica + (Aditivo con mitad de Agua) + 1/2 agua			
Resistencia a la Compresión a 7 días	884 kg/cm ²	Fluidez	136%

Mezclar, 5 minutos después se añade la mitad restante de agua y se bate 10 minutos.

Análisis.-

- El orden de ingreso de los materiales influye en la resistencia a la compresión, a causa del 45% de absorción de la microsílíce, por lo que el contacto con el agua debe realizarse en un momento estratégico para no restar el agua destinada a la hidratación del concreto.
- Del procedimiento de mezclado depende la dispersión homogénea del aditivo superplastificante y la microsílíce, afectando:
 - En el estado fresco la trabajabilidad reduciéndola a cero, o anulando la cohesividad de la mezcla pues sólo se recubre el agregado grueso en forma separada.
 - En el estado endurecido disminuye significativamente la resistencia a la compresión por consiguiente la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad.

4.4.1 Se realizó una comprobación de las resistencias, que alcanzan los morteros con aditivo y microsílíce ensayándose en moldes de 5 cm x 5 cm.

CUADRO N° 4.22 TIPOS DE CEMENTOS Y SUS CARACTERISTICAS FISICAS EN MORTEROS					
Cementos	I	II	V	IP	IPM
% de Aire	3,60%	4%	3,50%	4,20%	4,00%
Fluidez	136%	120%	140%	115%	114%
Resistencia (7 días)	884 kg/cm ²	800kg/cm ²	994 kg/cm ²	680 kg/cm ²	700 (90 días)

Análisis.-

- Se ratificó que el comportamiento de los tipos de cementos es distinto dependiendo de su compatibilidad con la microsílíce por su composición química.
- Es interesante anotar como los resultados con los moldes de 5 cm por 5cm y las probetas de 15 cm por 30 cm, son muy similares para el caso de morteros de alta resistencia.

4.5.0 Consistencia de los Resultados.-

Los resultados de todos los ensayos excepto dos, tuvieron coeficientes de variación dentro del rango permitido por las normas.

Según criterios estadísticos la elaboración de las muestras debería seguir un procedimiento normalizado, otorgando la misma oportunidad de mezclado, moldeado, curado, etc, a cada muestra que se va a ensayar, así como se necesitaría un mínimo de 9 probetas por edad para concentrar los resultados y reducir las dispersiones.

Se presentan los Cuadros N° 4.23 y 4.24 con resultados controversiales, ocurriendo esto por ser poblaciones muy pequeñas, y por tener una granulometría muy discontinua.

En el primer caso el número de probetas fue de 3 probetas de 4 x 8 pulgadas y en segundo de 2 probetas, una de 6 x 12 pulgadas y la otra de 4 x 8 pulgadas, estadísticamente les corresponde una dispersión de valores muy alta:

- En el cuadro N° 82, obtenemos una variación inadmisibles, motivo por el cual nos vemos en la necesidad de anular el mayor valor correspondiente a 786.20 kg/cm², resultando la variación de 9.9%.
- En el cuadro N° 83, obtenemos otra variación inadmisibles, motivo por el cual nos vemos en la necesidad de anular alguno de ellos, siendo el rango de valores obtenido en las otras pruebas realizadas con las mismas condiciones y proporciones variándose únicamente el agregado grueso resultando en mayoría del orden de 1100 kg/cm², no cayendo ninguno en menores valores de 1000 kg/cm², es que se anulará el valor de 961 kg/cm² y los correspondientes a 1005 kg/cm². Queda de esta manera el mayor valor de coeficiente de variación el de 9.1%.

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION CON UN ALTO COEFICIENTE DE VARIABILIDAD

CUADRO N° 4.23

Cemento Tipo V	Concreto c/A ditivo+MS
Tipo Roca	Ag Grueso: Dioritas
N°	Esfuerzo
1	786,20
2	585,69
3	509,29
Promedio	627,062
Desv.Estand.	143,015
Coef. Var.	22,8%

CUADRO N° 4.24

Cemento Tipo V	Concreto c/A ditivo+MS
Tipo Roca	Ag.Grueso: Cuarcitas
N°	Esfuerzo
1	1139.55
2	962.00
Promedio	1050.755
Desv.Estand.	125.547
Coef. Var.	11.9%

CUADRO N° 4.25

Etapa	TERCERA ETAPA	
Fase	CONCRETO CON ADITIVO CON MICROSILICA	
Cemento	Andino + Euco+ Diorita	Sol + Sikament+ Cuarcita
Resultados	7 días	44 días
Promedio	547.49	1139.55
D. Estandar	54.02	
Coef. Variab.	9.9%	

4.7.0 Comparación de Resistencia a la Compresión del Concreto y Mortero.-

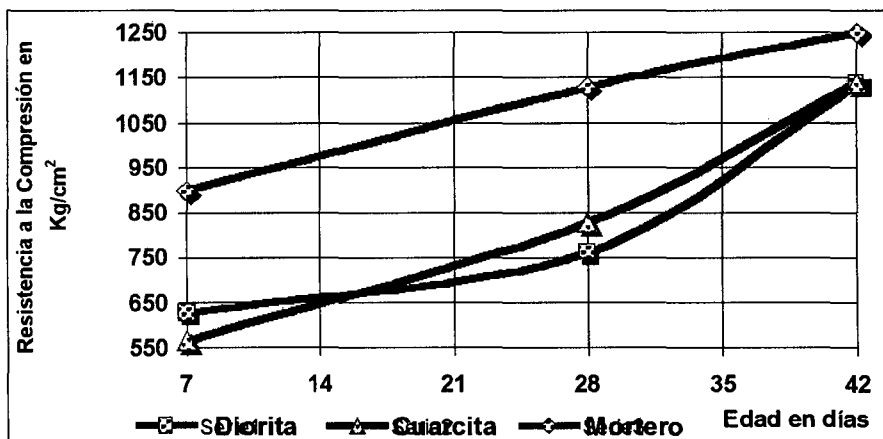
La gráfica muestra los resultados de los ensayos finales de concreto preparado con los materiales que tuvieron el mejor comportamiento y los resultados de resistencias a la compresión más altos, los testigos fueron preparados con cemento tipo V, con agregados de tamaño nominal máximo de 1/2".

Se realiza una comparación entre los concretos elaborados con agregados de procedencia de Diorita con los concretos que contienen agregados de procedencia de Cuarcita. Finalmente se compara ambas curvas de desarrollo de resistencia a la compresión con la correspondiente al mortero preparado con las mismas proporciones, materiales y condiciones que los concretos.

Análisis.-

- Los resultados muestran el comportamiento de un mortero, al que se añade agregado de Diorita, al cambiar de agregado por cuarcita, los resultados mejoran, sin embargo ninguno alcanza a los valores desarrollados por el mortero lo que indicaría que a medida que se mejoren la calidad de los agregados los valores de resistencia a la compresión se incrementarán hasta igualar la resistencia con la que cuenta el mortero, en esta tesis el máximo valor alcanzado por el mortero es de 1130 kg/cm², a la edad de 28 días, resistencia que es posible alcanzar con concreto siempre y cuando se cuenten con agregados lo suficientemente resistentes.

CUADRO N° 4.26 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CONCRETO C/ ADITIVO Y C/ MICROSILICA COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL MORTERO Y DE LOS CONCRETOS AL VARIAR EL AGREGADO GRUESO						
Cemento	Andino + Euco+ Diorita			Sol + Sikament+ Cuarcita		
Resultados	7 días	28 días	44 días	7 días	28 días	44 días
Promedio	547,49	760,55	1136,36	566,59	828,67	1139,55



GRAFICA N° 4.19 COMPARATIVA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS CONCRETOS CON AGREGADOS GRUESOS DE DOS DIFERENTES ORIGENES GEOLOGICOS CON RESPECTO A SU MORTERO

Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

IV-II ANALISIS DE COSTOS

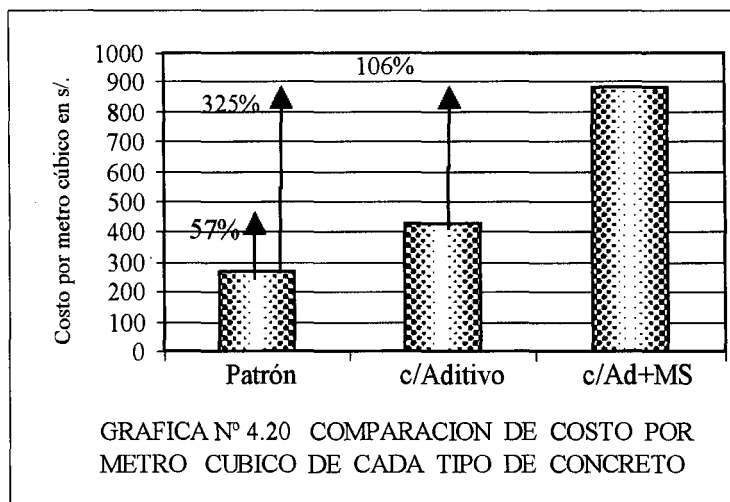
Se presentan cuadros comparativos con los costos en nuevos soles por metro cúbico del concreto patrón, con aditivo y con aditivo más microsílíce al mes de julio del 2000, con tipo de cambio 3.45 nuevos soles.

El cemento considerado es el tipo I, y la cantidad del 10% de microsílíce.

Materiales	Dosificación	Volumen	P.U(S/.)	Patrón	c/Adit	c/Ad+M
Cemento	600,00	14,12	16,90	238,6	238,6	238,6
Agua	269	0,269	9	2,4	2,4	2,4
Arena	727,200	0,444	18,810	8,4	8,4	8,4
Piedra	756,400	0,480	44,580	21,4	21,4	21,4
Aditivo	9,000	7,438	21,000		156,2	156,2
MS	60	60	7,56			453,6
Costo total por metro cúbico de concreto (s/.)				270,8	427,0	880,6

Análisis.-

- El concreto con Aditivo incrementa el 57% el costo del concreto patrón.
- El concreto con Aditivo más microsílíce incrementa el 325% el costo del patrón.
- El concreto con Aditivo más microsílíce incrementa el 106% el costo del patrón.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente tesis se han cumplido los objetivos trazados logrando elaborar concretos de alta resistencia a la compresión del orden de los 1000-1130 kg/cm² a los 42 días, con aditivos superplastificantes retardantes de alto rango tipo G y microsilíce.

Los diseños se hicieron con una relación a/c =0.40, un asentamiento de 2" a 3", con los que se prepararon los concretos en sus tres tipos:

Concreto Patrón,	del orden de los 550 kg/cm ² .
Concreto con Aditivo,	del orden de los 650 kg/cm ² .
Concreto con Aditivo más Microsilíce,	del orden de los 1000 - 1130 kg/cm ² .



Las características de los materiales utilizados en la elaboración de los concretos de alta resistencia son:

- Cementos.-
Cemento Portland tipo I, de marcas Andino, Sol.
Cemento Portland tipo V, de marca Andino.

- Agregados. -

Agregado Grueso, de origen ígneo intrusivo, con un 90% Dioritas + 10%Andesitas, las partículas eran de regular a alta calidad, entendiéndose sanas, compactas, etc:
Tamaño nominal máximo de 3/4" (Pasa toda la malla 1").

Módulo de finura 7.60.

Peso específico 2.75.

Así como tamaño nominal máximo de 1/2" (Pasa toda la malla 3/4").

Módulo de finura 6.90.

Agregado Grueso, de origen cuarcítico, con partículas de bajo contenido de humedad por consiguiente alta porosidad, en estado oxidado:

Tamaño nominal máximo de 1/2" (Pasa toda la malla 3/4").

Módulo de finura 6.90.

Peso específico 2.58.

Agregado Fino, de módulo de finura 3.14

- Aditivos. -

Los aditivos utilizados fueron superplastificantes de alto rango, retardantes tipo G, se utilizaron de dos marcas comerciales conocidas, las cuales se comportaron de forma muy similar y satisfactoriamente para la elaboración del concreto de alta resistencia siendo la dosificación en promedio 9 lt/m³ de ambos.

Euco 537, distribuido por Química Suiza.

Sikament 10, distribuido por Sika Perú.

- Microsílice. -

La microsílice densificada en polvo se utiliza de dos marcas comerciales conocidas, con las dosificaciones del 10% al 15% en peso del cemento, la compatibilidad con todos los tipos de cementos y con los superplastificantes, retardantes de alto rango tipo G, permite alcanzar las altas resistencias a la compresión.

Euco MSA, distribuido por Química Suiza.

SikaFume, distribuido por Sika Perú.

Las Propiedades determinadas fueron:

- En Estado Endurecido:

Resistencia a la Compresión, en las edades de 7, 28, 42, 90, 180, 360 días, posteriormente se determinó la resistencia a la compresión a los 42 días.

La resistencia a la tracción conserva su proporción del 10% al 11% del valor de la compresión.

- En Estado Fresco:

Peso Unitario.

Trabajabilidad

Tiempo de Fraguado.

Exudación.

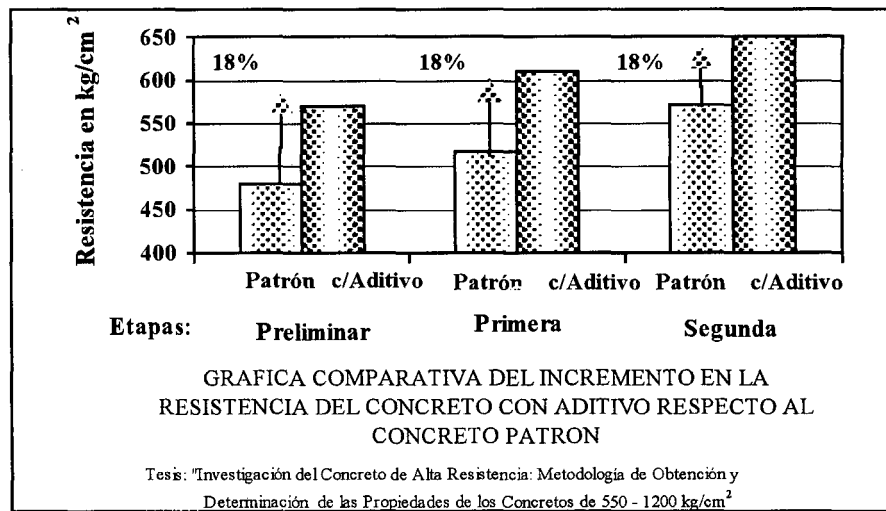
Consistencia.

CONCLUSIONES.-

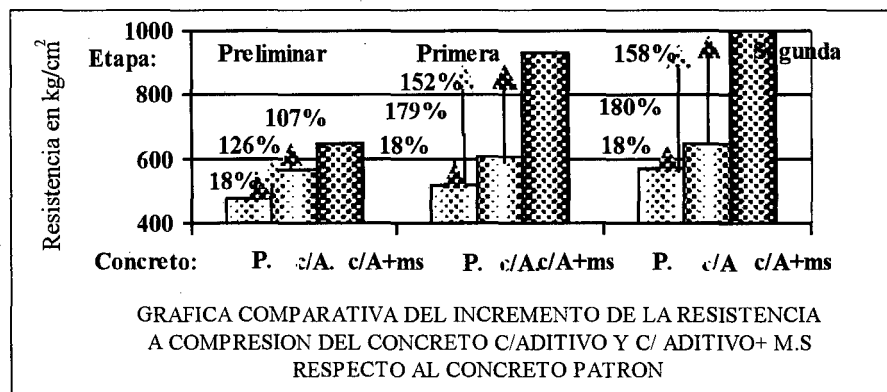
Conclusiones Generales.-

La obtención a nivel de laboratorio, de concretos con resistencia a la compresión del orden de 1100 kg/cm² a los 42 días de curado, con resistencias en tracción por compresión diametral de 103 kg/cm² a la misma edad, empleando cementos y agregados nacionales, justifica la realización de estudios complementarios sistemáticos para definir los materiales más convenientes y las mejores condiciones de empleo nacionales de los concretos con resistencias a la compresión de 1200 kg/cm² a los 28 días.

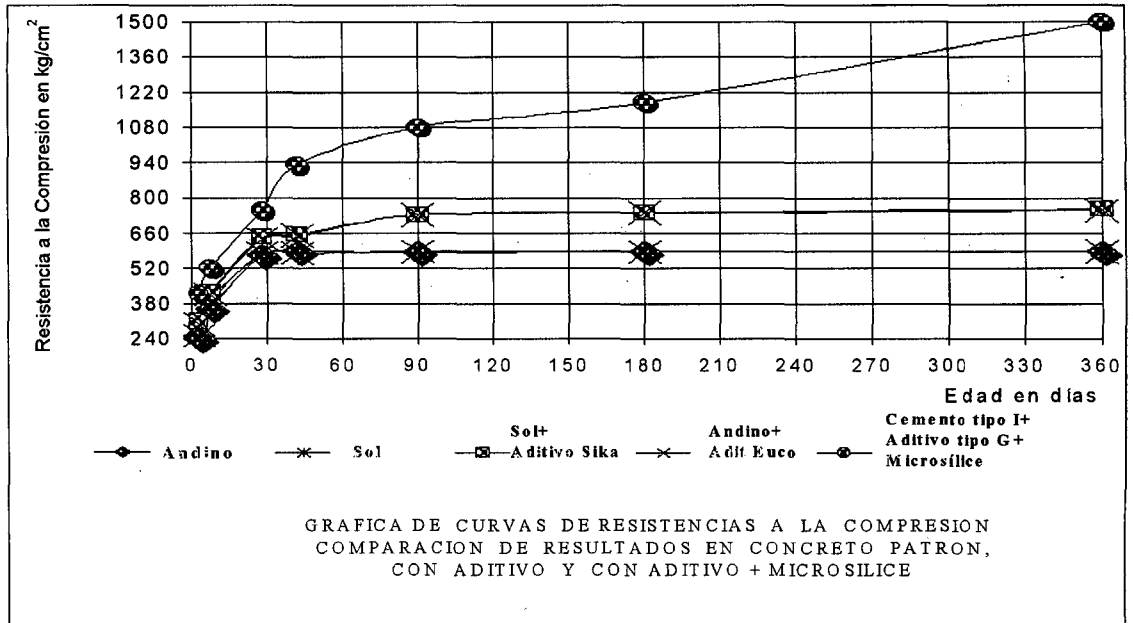
1. Los aditivos superplastificantes retardantes de alto rango tipo G, permiten incrementar la resistencia a la compresión del concreto patrón, en un 18%, para la dosificación de 9 lt/m³, alcanzando el máximo de 650 kg/cm² sólo cuando el concreto patrón es de 550 kg/cm².



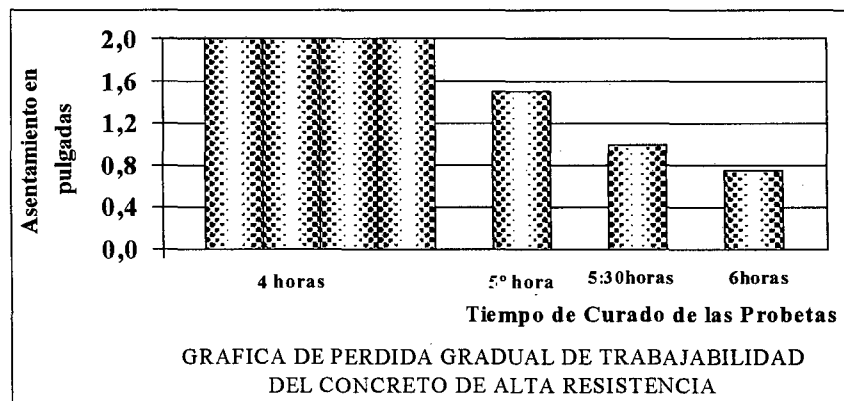
2. La microsílíce en cantidades del 10% al 15% en peso del cemento, conjuntamente con el aditivo (9 -12 lt/m³), incrementa la resistencia del concreto patrón en un 80% alcanzando el máximo de 1100 kg/cm² sólo cuando el patrón es de 550 kg/cm².
- La microsílíce en cantidades del 10% al 15% en peso del cemento, conjuntamente con el aditivo (9 -12 lt/m³), incrementa la resistencia del concreto con aditivo en un 58% alcanzando el máximo de 1100 kg/cm² sólo cuando el concreto patrón es impulsado por el aditivo hasta 650 kg/cm².



3. En los concretos de alta resistencia la edad representativa de rotura que se propone es de 42 días, pues a partir de esta edad el concreto, incrementa en $\pm 10\%$ a edades muy prolongadas.
El curado de las probetas de alta resistencia debe ser realizado hasta la fecha de rotura por inmersión de agua para alcanzar el desarrollo completo de la resistencia a la compresión.

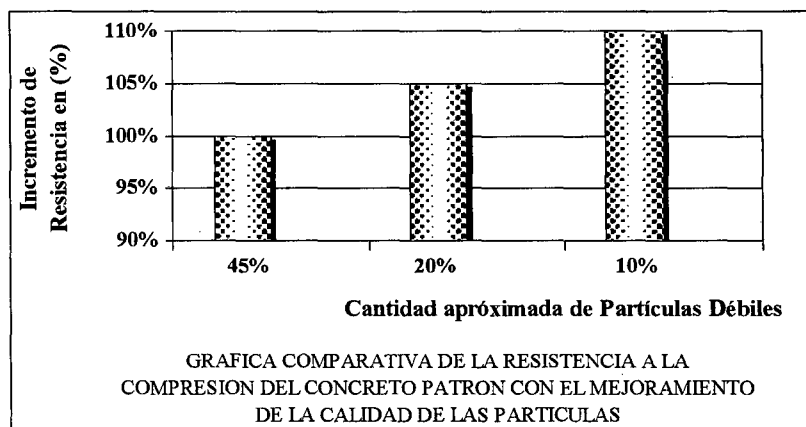


4. Los aditivos superplastificantes retardantes de alto rango tipo G, son altamente efectivos para preparar concreto de alta resistencia, pues al añadirle la microsilica al concreto, mantienen una trabajabilidad de 2" a 3" durante 4 horas y la pérdida gradual durante otras 3 horas.



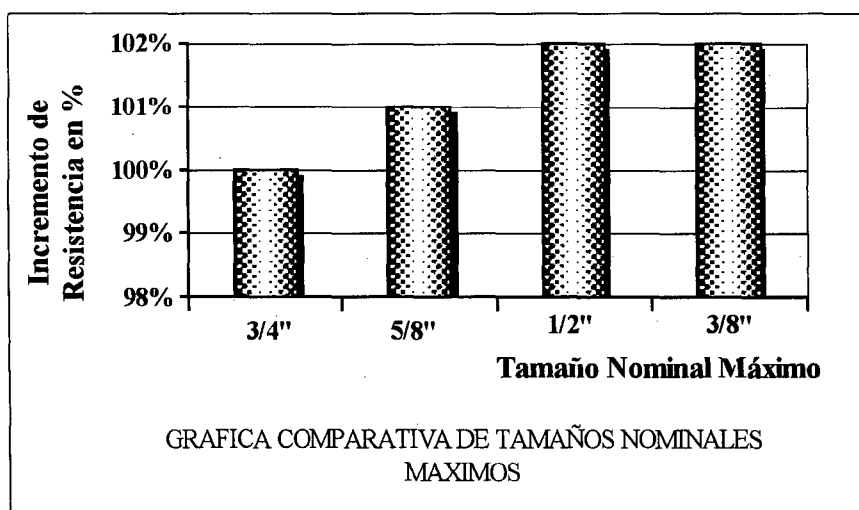
5. La microsilice, tiene la propiedad de tener un 45% de absorción, por lo que sería conveniente incluir este parámetro en el diseño de mezcla pues por esta propiedad resulta muy difícil de manipular por lo que se necesita utilizar un aditivo superplastificante retardante de alto rango tipo G.
El concreto de alta resistencia no presenta exudación por la alta propiedad absorbente de la microsilice.

6. Los agregados a ser utilizados en la preparación de los concretos de alta resistencia, deberán encontrarse lavados así como presentar partículas densas, compactas, resistentes, con composición mineralógica cuarzosa, sin alteraciones, ni microfisuraciones, en cuanto a la forma de las partículas en el agregado fino las deberán ser redondeadas y para el agregado grueso deberán ser cuboides de procedencia trituradas o chancadas, las formas laminares y alteradas influyen en forma determinante en el incremento de la resistencia, en la tesis al ser reducidas del 45% al 10% se logró incrementar la resistencia en un 10%.



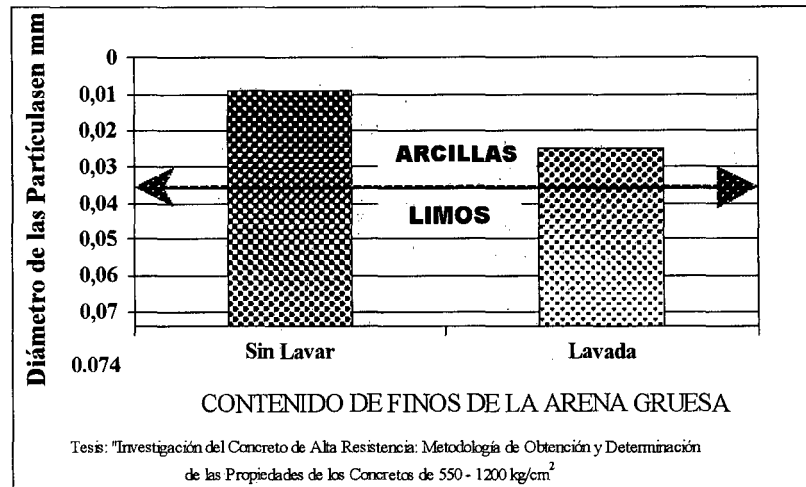
- Los agregados gruesos con tamaños nominales máximos de $\frac{3}{4}$ " (pasa la malla de 1"), presentan buen comportamiento en el desarrollo de concretos de alta resistencia, se alcanzan concretos del orden de los 1000 kg/cm² a los 42 días.

Los resultados de los ensayos con los tamaños de $\frac{1}{2}$ " (pasa la malla de $\frac{3}{4}$ ") y de $\frac{3}{8}$ " (pasa la malla de $\frac{1}{2}$ ") son muy similares, presentando máximas resistencias con respecto a los tamaños de $\frac{5}{8}$ " y $\frac{3}{4}$ ", siendo indistinto el uso de cualquiera de los dos. Se alcanzan concretos del orden de los 1130 kg/cm² a los 42 días.

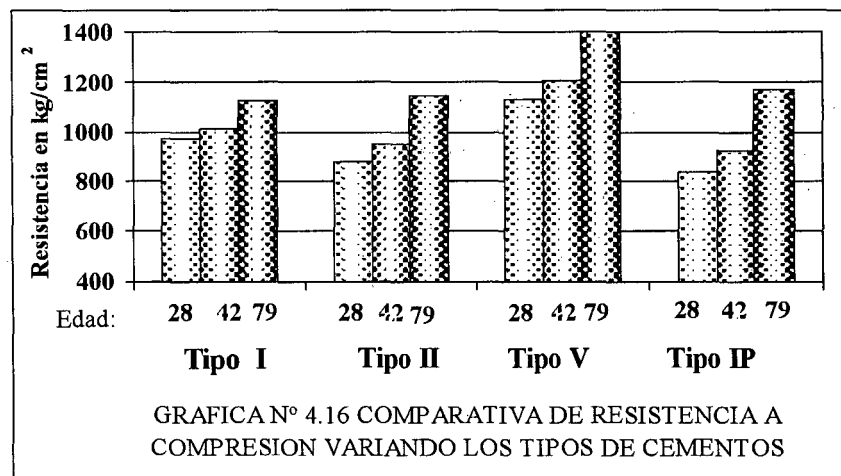


Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

- El porcentaje de finos, contenidos en la arena gruesa indicaron la presencia del 2% de arcillas y del 03% de limos, por lo que debió ser lavada eliminándose totalmente el contenido de arcillas sin embargo los limos no pudieron ser eliminados.

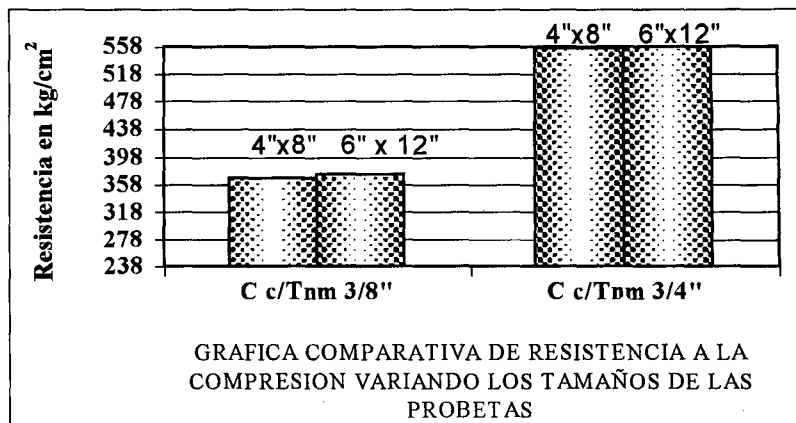


- Los cementos Portland tipo V, es el más compatible con la microsíllice y el aditivo superplastificante de alto rango tipo G, para preparar concretos de alta resistencia, desde edades tempranas su desarrollo es muy elevado; se alcanza con este tipo V resistencias del orden de los 1130 kg/cm² a los 28 días en morteros y a los 42 días en concretos.
- El cemento Portland tipo I, también desarrolla concretos de alta resistencia alcanzando el orden de los 950 kg/cm² a los 28 días y de los 1000 kg/cm² a los 42 días de edad.



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Evaluación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

8. En el control de calidad de las probetas de alta resistencia, los moldes a utilizarse pueden ser de 4" x 8" pulgadas ó de 6" x 12" pulgadas, pues los resultados son muy similares para resistencias del orden de los 1000 kg/cm².



9. En la preparación del concreto de alta resistencia se encontró que el mejor procedimiento de mezclado es:
 Piedra + Arena + Cemento + Microsilice + (Aditivo con la Mitad del Agua):
 Mezclar, 5 minutos después se añade la mitad restante de agua pura y se mezcla por 10 minutos.
10. Los ensayos de resistencia a la compresión de los concretos de alta resistencia necesitarían un mínimo de 9 probetas por edad para reducir las dispersiones resultados y obtenerse así una mayor concentración de resultados.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones Generales

Las recomendaciones se resumen en elaborar concretos de alta resistencia siguiendo un constante control de calidad, con la participación de los ingenieros geólogos, estadísticos, químicos si es que fuera necesaria una asesoría para el manejo de los aditivos.

- Es importante la supervisión de un ingeniero geólogo para el reconocimiento de las canteras de los agregados destinados a la elaboración de concretos de alta resistencia.
 - Es preferible realizar ensayos petrográficos a los agregados para conocer su composición mineralógica y su estructura interna.
 - El control de calidad y los ensayos de sus características físicas es recomendable que sea constante para los agregados especificados según las normas.
 - Los agregados a utilizarse en la elaboración de concretos de alta resistencia son recomendables de origen ígneo intrusivo.
 - Se recomienda las siguientes características de los agregados por que presentaron los mejores resultados en los ensayos en estado fresco y endurecido:

a) En el Agregado Grueso.-

Aquellos de procedencia artificial obtenidos por trituración o chancado, de tamaños máximos de $\frac{3}{4}$ " o $\frac{1}{2}$ ", de textura suavizada con formas cuboides, que contengan menos de 10% de porcentaje de lascas y con una estructura interna compacta de baja porosidad, composición mineralógica con los elementos de mayor resistencia como cuarzo.

Es recomendable que no presente:

- Micro fisuraciones internas.
- Humedecimiento.
- Lajosidad.
- Fracturaciones.
- Alteraciones.
- Planos de Falla.
- Porosidad.
- Friabilidad.
- Zonas Oxidadas
- Finos.
- Caolín.

En la tesis se ensayaron concretos elaborados con los siguientes orígenes geológicos presentando un satisfactorio comportamiento.

- Roca ígnea Intrusiva: Del grupo de las plutónicas de grano fino y compacto.
- Roca ígnea Volcánica: De grano grueso compacto. (10% del total de las partículas del Agregado Grueso utilizado)

b) Agregado Fino.-

Las arenas deberán estar lavadas de preferencia hasta eliminar la presencia de los finos que pasan la malla N° 200, sin presencia de óxidos o materiales perjudiciales, las partículas de preferencia duras, densas, resistentes, durables, su estructura interna compacta con bajo porcentaje de porosidades y composición mineralógica de los componentes de mayor resistencia como el cuarzo, de forma redondeada, sub redondeada o angular.

El módulo de finura especificado en los reportes extranjeros es variable:

- Módulo de finura de 2.5 a 3.2.
- Módulo de finura de 2.8 a 3.2.
- Módulo de finura de 3.0 a 3.2.

3. Los aditivos superplastificantes retardantes tipo G y la microsílíce producen concreto de alta resistencia, muy efectivo a los agentes agresivos y recomendado para obras en situaciones adversas.
 - Los distribuidores facilitan los rangos en los que se utilizan los aditivos, pero la dosificación óptima es recomendable definirla con las tandas de prueba, pues un exceso en la dosificación podría causar segregación o pérdida de resistencia.
4. El cemento es recomendable que se utilice lo más fresco posible, para asegurar una homogénea dispersión en la mezcla y evitar los grumos y la consiguiente falta de acción de los aditivos en el cemento que resultan en una reducción de la resistencia del concreto y del mortero.
5. Es recomendable el uso de moldes de 6" x 12", por presentar resultados más estables por lo menos hasta que se cuente con un estudio completo del comportamiento de los moldes de 4" x 8"
6. Deben continuar las investigaciones para estudiar las otras propiedades y propiciar su utilización.

MARCO
TEORICO

BASES TEÓRICAS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO Y DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

En esta parte de la tesis se presentarán las definiciones y conceptos teóricos de los materiales componentes del concreto, así como de los ensayos realizados, describiéndose sus procedimientos y señalando las normas aplicables.

T-1 AGREGADOS PARA CONCRETO.-

Definiciones y Conceptos Generales.-

Se les define así a todos los materiales pétreos que cumplen con los requisitos de control de calidad establecidos por las normas N.T.P. y ASTM.

Los agregados representan el 75% del volumen del concreto, es por esta cifra significativa que la calidad y las características de los agregados influyen directamente en el comportamiento de las propiedades y la calidad del concreto.

Las normas técnicas estandarizan aspectos que se relacionen con el uso de agregados en morteros y concretos, desde sus definiciones, origen geológico, clasificación, selección de los yacimientos, límites y distribución de sus dimensiones hasta los procedimientos y materiales utilizados en los ensayos de evaluación de sus propiedades, características mecánicas, físicas, químicas y pruebas de control de calidad establecidas de acuerdo al tipo de obra en el que se van a utilizar.

A continuación se presentan definiciones establecidas por las normas:

Agregados : Es aquel que puede provenir de la desintegración natural o artificial de las rocas, pueden ser tratados o elaborados, sus dimensiones están comprendidas entre límites estandarizados, los valores superiores e inferiores a la malla estándar N° 4 determinan y nombran a los agregados como gruesos y finos respectivamente.

Agregado Fino : Es el que pasa el tamiz de 9.5 mm ó malla de 3/8" y queda retenido en el tamiz de 74 mm ó malla N° 200.

Agregado Grueso: Es el que comprende desde el tamiz de 4", y queda retenido en el tamiz de 4,75 mm ó malla N° 4.

Agregado Global : Comprende un método experimental para hallar las proporciones de agregados fino y grueso así como husos Granulométricos considerados óptimos, para encontrar las proporciones de finos y gruesos en el diseño de mezclas, dentro de los cuáles se pueden obtener concretos trabajables y compactos.

Canteras : Son depósitos que se encuentran al aire libre, de donde se extraen los materiales pétreos que se utilizarán en el concreto.

Clasificación de los Agregados.-

(Referencia N° 1)

Las rocas están clasificadas y agrupadas según su origen, formación geológica y por sus componentes minerales. En este caso la clasificación de los agregados se refiere a la manera de obtenerlos en las dimensiones que los necesitamos.

Cuando son utilizados directamente de la cantera se les llaman agregados de procedencia natural sin embargo existen muchos depósitos de rocas de buena calidad pero de tamaño superior a 3" por lo que es necesario elaborarlas mediante trituración, los agregados que se obtienen de esta manera se les conoce como de procedencia industrial o agregados elaborados.

Un caso especial de agregados es cuando se utilizan como tales a desechos orgánicos o industriales a los que se les conoce como subproductos.

Los agregados son clasificados también de acuerdo a su peso unitario, por lo tanto se clasifican de acuerdo a:

a) Procedencia:

- Natural.
- Elaborados.
- Subproductos.

b) Peso Unitario:

- Peso Ligero.
- Peso Normal.
- Peso Pesado.

a) Clasificación por su Procedencia.-

a.1) Procedencia Natural.-

Son aquellos agregados que han sufrido la desintegración natural de las rocas, mediante procesos de formación del depósito, condiciones climáticas, tiempo, factores de transporte y demás condiciones geológicas, son las que han definido las propiedades de estos materiales en cuanto al tamaño, forma, ordenamiento de sus partículas, grado de homogeneidad, texturas, etc. y las han depositado en las siguientes canteras.

- Depósitos Fluviales.-

Son de los mejores, se caracterizan por presentar partículas de todos los tamaños y de formas redondeadas tanto las arenas como las gravas a las que también se les conoce como canto rodado.

Las corrientes llevan las rocas más grandes y pesadas en el fondo del cauce se mueven por rodamiento, deslizamiento o saltos, a las más pequeñas y medianas las levanta la corriente del cauce y las lleva en suspensión.

Este transporte de chocarlas unas contra otras, arrastrarlas y rodarlas las somete a un desgaste físico de abrasión lo que realiza una eliminación de los materiales más débiles.

Las rocas al desgastarse y erosionarse se convierten en arenas de partículas resistentes de acuerdo a la roca de que provengan, cabe mencionar además que los agregados se encuentran lavados libres de finos.

Estos depósitos se encuentran en las márgenes de los ríos y con las gravas más grandes en el fondo y los de menor tamaño en la superficie, en algunos ríos la mezcla natural del fino y grueso es mayor con respecto a otros, a estas mezclas se les conoce como hormigón, presentan generalmente del 60% al 70% de agregado fino por ejemplo, el río Rímac.

– Depósitos Glaciales. –

Presentan materiales de todos los tamaños pero con diversidad de calidad, debido a que no han sido sometidos al desgaste mecánico de abrasión por lo tanto no se han eliminado las partículas más débiles ni ha habido una selección natural de ellos.

El medio de transporte ha sido el hielo, es recomendable usarlas solo después de un proceso de elaboración.

– Depósitos Eólicos. –

Este material ha sido transportado por el viento, son de forma redondeadas, sub-angular ó sub - redondeadas de tamaño uniforme y compuestas principalmente por cuarzo, el arrastre del viento elimina los componentes más débiles. Sólo se encuentran arenas finas y se utilizan generalmente para preparar morteros.

– Depósitos del Cono de Deyección. –

Se le llama así por la forma del deposito, las arenas y gravas no presentan una distribución heterogénea y completa de tamaños, son de forma angular, han sido depositados por mucho tiempo, en la desembocadura de un barranco, cuando el río abandona las montañas ingresa en un valle inmediato y el cambio brusco de pendiente de mayor a suave, ocasiona la descarga de la mayoría de los materiales.

– Depósitos de Lechos de Mar. –

Son agregados que presentan buena durabilidad, en caso de ser utilizados para preparar concreto deben pasar por un análisis químico para determinar el porcentaje de sales y no es apropiado para usarlo en concreto armado.

– Depósitos de Conglomerados. –

Son depósitos de canto rodado arenas, limos y arcillas, los encontramos en los acantilados de Lima.

- Depósitos Lacustres. -

Son depósitos de granos muy finos debido a la poca velocidad del agua que fluye en los lagos

Entre los agregados naturales encontramos las siguientes definiciones:

Arena : Es el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas efectuados por procesos naturales, encontrándose generalmente en canteras y lechos de ríos.

Grava : Es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de las rocas, encontrándose generalmente de canteras y lechos de ríos depositados en forma natural.

Canto Rodado : Son gravas de formas redondeadas que han sido arrastradas por las corrientes de los ríos

Hormigón : Viene a ser la combinación de la arena y la piedra, con mayor porcentaje de arena, es de uso común en nuestro medio.

a.2) Procedencia Artificial. -

Son aquellos agregados fabricados por procedimientos mecánicos, pueden ser elaborados a partir de rocas pero en zonas donde no es posible encontrarlas como la Selva se utilizan como agregados otros materiales.

- Agregados Artificiales Provenientes de Rocas. -

Se clasifica así al agregado grueso obtenido por trituración mecánica de rocas o gravas, y han pasado por un proceso de elaboración el cuál consiste en reducir sus dimensiones a las establecidas por las normas.

El material es proveniente de lechos de ríos, cerros, del conglomerado de Lima o de cerros, extraídos por excavaciones, voladuras, etc. Las rocas que se eligen como canteras para agregado del concreto deben tener características de ser duras, tenaces, resistentes, compactas, es decir deben cumplir con las características que exige la norma y que se describen más adelante en el ítem 1.1

Generalmente las rocas utilizadas para la fabricación de los agregados son pertenecientes a los siguientes grupos de clasificación geológica:

- **Rocas Plutónicas** : Pertenecen a las rocas ígneas, son muy densas compactas y de grano grueso como las granodioritas, granitos, dioritas sus componentes son cuarzo, feldespato.
- **Areniscas** : Silíceas o cuarzosas, ferruginosas, son de utilizadas comúnmente para tarrajeo.

- Agregados Artificiales Provenientes de otros Materiales.-

Hay dos casos especiales que son el cascote de ladrillo usado en la zona norte baja de la Selva, donde no se encuentra agregado grueso, estando las canteras más cercanas a más de 320 km (Yurimaguas- Río Huallaga), río arriba de la ciudad de Iquitos y la arcilla expansiva.

- Cascote de Ladrillos.-

Los pedazos de ladrillos, limpios y de buena calidad pueden constituir un agregado satisfactorio, dependiendo de la resistencia del concreto requerida, de la densidad y del tipo de ladrillo.

Los tabiques de construcción cuando se trituran o rompen forman un buen concreto de regular resistencia a la compresión. Los ladrillos porosos no deben ser usados como agregados en obras de concreto reforzado debido a la penetración de humedad que puede ocasionar corrosión en el refuerzo.

Se obtiene un concreto más económico que el integrado por grava o piedra chancada pero con resistencias menores. Por otro lado los concretos de cascote de ladrillo son más aislantes que los de piedra.

- Arcilla Expandida.-

Consiste en obtener un agregado grueso proveniente de arcilla. La arcilla es triturada y calcinada en hornos para lograr su aglomeración, tiene alta porosidad, lo cuál significa que tiene poco peso.

Es un agregado en forma de bolitas de cerámica muy livianas con estructura interna, micro - porosa encerrada en una corteza rígida y resistente.

El proceso es caro debido a que se emplea considerable cantidad de petróleo en los hornos rotativos que llegan a una temperatura de 1200 °C, se usan como agregados para producir concretos estructurales ligeros.

A estos agregados se les define según la norma como:

Piedra Triturada o Piedra Chancada:

Se denomina así al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas.

a.3) Subproductos.-

Se nombra subproductos a aquellos materiales obtenidos de desechos orgánicos o industriales; para poder ser utilizados como agregados de concreto deberán ser tratados.

- Subproductos Industriales.-

En el país existen plantas de concentración de minerales y complejos siderúrgicos en los cuales se obtiene como subproducto la escoria, pudiéndose emplear como agregado fino o grueso.

- Subproductos Orgánicos.-

Se procesan el bagazo proveniente de la caña de azúcar, cáscara de arroz proveniente de los molinos y la viruta de los aserraderos.

Para ser utilizados hay necesidad de lavar el subproducto, también se debe mineralizar estos desechos orgánicos, cubrirlos con una película para que no entre en reacción durante el proceso de hidratación del cemento y no se descomponga con el tiempo.

b) Clasificación por su Peso Unitario.-

b.1) Agregados de Peso Ligero.-

Son aquellos que producen concretos de peso unitario de 320 kg/m^3 a 2000 kg/m^3 .

Los agregados muy ligeros de peso unitario menor de 1100 kg/m^3 como tobas volcánicas perlita, vermiculita, diatomita, arcillas y pizarras expansivas, se utilizan para producir concreto de peso ligero. Las aplicaciones del concreto ligero son como aislador o material de relleno pero en algunos casos se les emplea en estructuras.

b.2) Agregados de Peso Normal.-

Son aquellos que producen concreto de peso unitario de 2100 kg/m^3 a 2400 kg/m^3 .

Los agregados de peso unitario de 1500 kg/m^3 a 1700 kg/m^3 , son de uso común como la arena, grava, piedra chancada, y escoria de altos hornos enfriada al aire.

b.3) Agregados de Gran Peso.-

Son aquellos que producen concreto de peso unitario de 2500 kg/m^3 a 4800 kg/m^3 .

Los agregados muy pesados de peso unitario mayor de 2500 kg/m^3 como barita, hematita, ilminita, goetita, magnetita y recortes de acero y munición se utilizan para producir concreto de gran peso, funciona como material de blindaje para proteger obreros y equipo de peligrosos efectos de los rayos x, gamma, y radiación de neutrones.

1.1 Agregados para Concretos de Normales y Medianas Resistencias a la Compresión.-

Los agregados utilizados en las mezclas de normales y medianas resistencias deben cumplir con los requisitos físicos y químicos establecidos por las normas sólo de esta manera estarían calificados para preparar concreto y obtenerse resultados y comportamiento dentro de márgenes conocidos.

- Agregados Gruesos.-

Los agregados gruesos, presentan por lo general las siguientes características:

- Calidad de las Partículas: Duras, densas, resistentes y durables.
- Textura: Suavizada.
- Forma: Pueden ser redondeadas, sub-redondeadas, angulares o cuboides, es recomendable que contengan una baja cantidad de partículas de formas planas y alargadas o en forma de placas, en lo posible limitarlas a un máximo del 15% en peso del agregado total.
- Estructura Interna y Composición Mineralógica: No deberá exceder una porosidad mayor al 3%, ni presentará fallas, fracturas o alteraciones.
- Libres de Impurezas: Orgánicas, sustancias químicas, pizarras laminares naturales, esquistos, ni algunos tipos de cuarzo por presentar baja resistencia al intemperismo ni otros materiales perjudiciales.
- Origen:
Pueden ser entre algunas otras:
 - Igneas:
 - Intrusivas ácidas: Granito, granodiorita, adomelita, riolita, riodacita, lalita.
 - Intrusivas básicas: Sienita, Andesita, Diorita, Pómez, Gabro, Basalto.
 - Volcánicas: Andesitas.

- Agregados Finos.-

Los agregados finos por lo general presentan las siguientes características:

- Calidad de las Partículas: Duras, densas, resistentes, durables.
- Libres de Impurezas: Orgánicas, finos, esquistos, álcalis o sustancias químicas perjudiciales u otros materiales.
- Estructura Interna: Con bajo porcentaje de porosidad.
- Forma: Redondeada, sub redondeadas o angulares.
- Módulo de Finura: Deberán pertenecer al rango de 2.3 a 3.2.

1.2 Agregados para Concretos de Alta Resistencia.-

Las normas para diseñar concretos de normales y medianas resistencias constan de especificaciones y requisitos técnicos que presentan rangos de valores permisibles muy generales para las características de los materiales que intervienen en la preparación del concreto pero al aplicarlas a concretos de alta resistencia son válidas solo algunas de ellas.

Esto es debido a que es una tecnología que exige el más alto control de calidad en todas las etapas de su obtención inclusive en la selección de los agregados de esta manera resulta imprescindible identificar tales parámetros y proceder a definirlos detalladamente mediante pruebas experimentales. Se presentan a continuación algunas recomendaciones basadas en los resultados de los ensayos experimentales.

- Agregado Grueso.-

Se recomienda que sean de:

- Procedencia: Piedra triturada o chancada.
- Tamaño Nominal Máximo: $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ ".
- Textura: Suavizada.
- Forma: Cuboides.
- Contenido bajo de porcentaje de lajas.
- Estructura interna compacta: Baja porosidad.
- Composición mineralógica: Elementos de mayor resistencia como cuarzo.

- Es recomendable que no presente:
 - Micro fisuraciones internas.
 - Alteraciones.
 - Zonas Oxidadas
 - Humedecimiento.
 - Planos de Falla.
 - Finos.
 - Lajosidad.
 - Porosidad.
 - Caolín.
 - Fracturaciones.
 - Friabilidad.

- Se recomienda que sean de origen:
 - Roca ígnea Intrusiva : Del grupo de las plutónicas de grano fino y compacto.
 - Roca ígnea Volcánica: De grano grueso compacto.

En la investigación presentada no se han ensayado concretos elaborados con agregados provenientes de granitos, graneodioritas, basaltos, gabros, motivo por el cual no se afirma el valor de resistencia a la compresión del concreto a la que pudieran llegar, quedando como inquietud para futuros estudios el determinar con exactitud los valores a los que son capaces de llegar cada uno de los agregados provenientes de éstas rocas.

- Agregado Fino.-

Las arenas deberán estar lavadas de preferencia hasta eliminar la presencia de los finos que pasan la malla N° 200, sin presencia de óxidos o materiales perjudiciales, las partículas son de características duras, densas, resistentes, durables, su estructura interna compacta con bajo porcentaje de porosidad y composición mineralógica de los componentes de mayor resistencia como el cuarzo, de forma redondeada, sub redondeadas o angulares. El módulo de finura especificado en los reportes extranjeros es variable: de 2.5 a 3.2, de 2.8 a 3.2, de 3.0 a 3.2.

1.3 Ensayos de las Características Físicas.-

Las características físicas de los agregados son un indicativo de la calidad de estos, mediante los ensayos y el análisis de los resultados es posible conocer el probable comportamiento del concreto.

La norma clasifica los ensayos en tres clases:

- Ensayos de Carácter Obligatorio.
- Ensayos de Carácter Complementario.
- Ensayos de Carácter Opcional.

Ensayos Normalizados de Carácter Obligatorio.-

(Referencia N° 4)

Por la importancia de las características que se analizan con estos ensayos, son aplicados en los agregados que serán utilizados para concretos, comprenden:

- Ensayos de Granulometría.-
Deben pertenecer a los husos especificados por las normas, se permite el uso de aquellos que no cumplan con los requisitos siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de los involucrados, que aseguren que el agregado producirá el concreto de la calidad requerida.
- Ensayos para Determinar las Sustancias Dañinas para el Concreto.-
Son aquellas que podrían contener los agregados y que perjudicarían su comportamiento. Son consideradas sustancias perjudiciales:
 - a) Partículas Deleznables:
Son considerados así los grumos de arcilla que pueden deshacerse con la compresión de dos dedos.
 - b) Material más Fino que la Malla N° 200:
Son los limos o arcillas, por lo general se encuentran como polvo cubriendo las partículas de los agregados perjudicando la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas.
 - c) Carbón de Piedra y Lignito:
Son materiales que podrían contener las partículas de los agregados, en exceso afectarían la durabilidad, produciendo manchas y reventones. Se usa un líquido de gravedad específica de 2, para remover las partículas de carbón y lignito, solamente las partículas de color marrón oscuro o negras se deben considerar como carbón o lignito, no se consideran las partículas de coque.
 - d) Materia Orgánica en el Agregado Fino:
En exceso estas impurezas retrasarían el fraguado y endurecimiento del concreto y producirían el deterioro del mismo.
Se aplica el ensayo colorimétrico con hidróxido de sodio, los agregados que no cumplan con lo especificado, podrán ser utilizados si la decoloración es debida

principalmente a pequeñas cantidades de carbón, lignito u otras partículas o si la resistencia a la compresión relativa a los 7 días no es menor del 95% de la resistencia requerida.

e) Partículas Blandas:

Son perjudiciales para el concreto por que pueden afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste del concreto por que al ser débiles, quebradizas, podrían romperse durante la mezcla absorbiendo y por consiguiente disminuyendo el agua de la mezcla.

Se presenta el cuadro N° 1.1, con los rangos de los valores máximos permisibles de los ensayos descritos:

TABLA N° 1.1 RANGOS PERMISIBLES DE LAS SUSTANCIAS DAÑINAS		
Sustancias Dañinas	Agregado Fino	Agregado Grueso
	Máximos Valores Permisibles	
Partículas Deleznables	3%	5%
Material más fino que la malla N° 200	5%	1%
Carbón y Lignito	0.5%	0.5%
Materia Orgánica	Se podrá utilizar el ag.fino que no cumpla con el ensayo podrá ser utilizado si la resistencia de morteros a 7 días no es menor de 95%	

- Listado de los Ensayos Obligatorios y las Normas a los que Pertenecen:

- Análisis granulométrico de los agregados: ASTM C 33; NTP 400.012
- Método de ensayo para determinar cualitativamente las impurezas orgánicas del agregado fino ASTM C 40; NTP 400.013
- Método de ensayo para determinar los terrones de arcilla y partículas friables en el agregado ASTM C142; NTP 400.015
- Método de ensayo para determinar la cantidad de carbón de piedra, lignito u otras partículas livianas en los agregados finos: ASTM C 123; NTP 400.023
- Método de ensayo para determinar el efecto de impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia en morteros y hormigones: ASTM C 87; NTP 400.024
- Método de ensayo para determinar las partículas blandas en los agregados: ASTM C 235

Ensayos Normalizados de Carácter Complementario.-
(Referencia Nº 4)

Los ensayos complementarios a los obligatorios son aplicados a agregados utilizados para concretos de resistencia a la compresión mayor de 210 kg/cm² y para los utilizados en pavimentos.

Son considerados ensayos complementarios:

a) El índice de espesor:

Es un indicador de la forma de las partículas de los agregados, aquellos de forma de laja son partículas débiles y quebradizas, por su forma originan concretos difícilmente trabajables y de baja compactación, es recomendable que no excedan un 15% del total de partículas del agregado grueso. La norma adopta el criterio de establecer una relación límite entre el grosor y el espesor:

$$\frac{G}{E} > 1,58$$

TABLA 1.2 INDICE DE ESPESOR DEL AGREGADO GRUESO	
Agregado	Indice
Natural	50
Artificial	35

b) Desgaste por Abrasión en la Máquina de Los Angeles.-

Es un indicador de la calidad de los agregados, siendo esta una característica esencial cuando el concreto va a ser usado en un concreto sujeto a desgastes como en pavimentos o pisos para servicios pesados. La prueba de Los Angeles es el método más usado y nos permite determinar el porcentaje de pérdida del material desprendido respecto a una muestra por acción rotativa del tambor, indicando el grado de resistencia mecánica del agregado.

TABLA 1.3 RESISTENCIA MECANICA DE LOS AGREGADOS	
Método de Abrasión	No mayor del 50%
Método de Impacto	No mayor del 30%

c) Impacto:

El método determina el porcentaje de pérdida del material desprendido respecto a una muestra por impacto de un pisón metálico sobre las partículas de los agregados.

d) Resistencia al Intemperismo:

Es un indicador fundamental para las estructuras que van a estar sujetas al interperismo ó congelación y deshielo; está relacionado a la porosidad y absorción del agregado.

La resistencia al intemperismo se determina mediante la prueba de durabilidad e inalterabilidad ante el ataque por sulfato de sodio o magnesio, con este ensayo se halla experimentalmente el porcentaje de pérdida de peso de un material sujeto a varios ciclos de inmersión en las soluciones de los sulfatos para saturarlos y secarlos al horno creando presiones por la formación de cristales; semejantes a las producidas por la congelación del agua.

En caso del agregado no cumplir con el rango establecido por la norma no podría resistir el ciclo de hielo y deshielo al que estaría sometido.

TABLA N° 1.4 RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
Solución de Sulfato de Sodio		Solución de Sulfato de Magnesio	
Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agregado Grueso
10%	15%	12%	18%

- Listado de los Ensayos Complementarios y las Normas a las que Pertenecen:
- Determinación de la inalterabilidad de los agregados por medio de Sulfato de Sodio o de Magnesio:
ASTM C 88; NTP 400.016
- Determinación del material que pasa el tamiz N° 200
NTP 400.018
- Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaño pequeño por medio de la máquina de Los Angeles:
ASTM C 131; NTP 400.019
- Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de gran tamaño por medio de la máquina de Los Angeles:
ASTM C 535; NTP 400.020
- Método de ensayo para determinar el índice de espesor del agregado grueso: Se encuentra en estudio las normas NTP pero por mientras se utiliza:
BS 812-parte I

Ensayos de Carácter Opcional.-

(Referencia N° 4)

- Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de combinaciones cemento – agregado.
ASTM C 227 NTP 334.067
- Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de las rocas carbonatadas.
ASTM C 586
- Método de ensayo para determinar la reactividad potencial de los agregados.
ASTM C 289
- Método de ensayo de equivalente de arena en el agregado fino.
ASTM D 2419 NTP 24:01-13

Ensayos Realizados en Obra Aplicados a los Agregados para el Diseño de Mezclas.-

(Referencia N° 3)

- Análisis granulométrico de los agregados:
ASTM C 33; NTP 400.012
- Método de cálculo para determinar el módulo de finura:
NTP 400.011
- Método de ensayo para determinar el peso unitario:
ASTM C 29; NTP 400.017
- Método de ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.
ASTM C 127; NTP 400.021
- Método de ensayo para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.
ASTM C 128; NTP 400.022
- Método de ensayo para determinar el contenido de humedad
ASTM C 566

1.4 Ensayos en los Agregados para Diseño de Mezcla.-

1.4.1 GRANULOMETRÍA

La granulometría es un ensayo experimental mecánico aplicado a los agregados finos, gruesos y a la combinación de ambos.

El procedimiento de ensayo consta en tomar una muestra representativa para separar por orden de tamaño las partículas presentes mediante el uso de tamices normalizados, éste método se aplica para las partículas mayores a la malla N° 200; para las menores, se cuenta con otro método granulométrico realizado por sedimentación, con éste método aplicado a la tecnología del concreto se obtiene la distribución de tamaños de los finos que contienen las arenas si es que el porcentaje que presentara fuera alto a simple vista.

Con los datos del tamizado se podrá calcular la distribución proporcional aproximada de las partículas en la muestra, la misma que irá representada en una gráfica denominada Curva Granulométrica.

Las curvas granulométricas nos ofrecen una vista panorámica de los materiales con los que contamos, de su acertada interpretación depende que se tomen los criterios y las recomendaciones necesarias para efectuar el diseño que nos asegure un mortero plástico, denso, compacto, moldeable que envuelve a un agregado grueso también compacto, generándose una matriz aglomerante óptima.

La granulometría es un ensayo obligatorio en los agregados que intervendrán en la preparación del concreto, debiendo realizarse:

- a) Granulometría del Agregado Fino.
- b) Granulometría del Agregado Grueso.
- c) Granulometría del Agregado Global.

Husos.-

(Referencia N° 3)

Los husos son franjas o zonas granulométricas definidas, no constituyen curvas rigurosas por el contrario cuentan con límites amplios, debido a que cada curva granulométrica es muy particular ya que depende de las características propias de su cantera como el tamaño máximo y de las arenas con las que se combine.

Los husos aseguran un satisfactorio comportamiento en el diseño de mezclas lo contrario ocurre con aquellas curvas que no caen dentro de ellos y que por consiguiente no son aptas para preparar concreto excepto sea demostrado con estudios calificados el buen comportamiento mecánico del concreto debiendo además estar de acuerdo las partes involucradas.

Normas.-

Las normas del análisis granulométrico estandarizan todo lo relacionado al ensayo, como el peso de las muestras correspondiente al tamaño máximo de su agregado, al procedimiento, al equipo utilizado además especifican que las curvas granulométricas deberán pertenecer a algún huso normalizado.

- ASTM C - 33.
- NTP - 400.012.

Importancia del Ensayo de Granulometría.-

La importancia de este ensayo radica en la interpretación de las curvas granulométricas, de ello depende la obtención de la compactación y densidad del concreto, propiedades cuyos valores influyen de manera directamente proporcional en los valores de las propiedades del concreto endurecido.

En la tesis se ensayaron agregados gruesos de tamaño máximo: 1", 3/4", 1/2". En el agregado fino se combinaron dos arenas gruesa y fina, la unión no incrementó los resultados de la resistencia a la compresión lo que no justificaba el esfuerzo y costo, razón por la que se continuó únicamente con la arena gruesa.

Ensayo de Granulometría por el Método Mecánico de Tamizado.-

a) Granulometría del Agregado Fino.- (Referencia N° 3)

El agregado fino corresponde a las arenas, se clasifican como: fina y gruesa, presentan comportamientos diferentes como se puede observar en sus curvas granulométricas.

- Arena Fina.-

Es considerada arena fina aquella que cuenta con significativos porcentajes de partículas de arena más fina que:

- Los 300 micrones ó malla N° 50 y.
- Los 150 micrones ó malla N° 100.

La cantidad predominante de estos porcentajes son los que otorgan a la mezcla la plasticidad, compactación y trabajabilidad al mortero o concreto, pero a la vez hace que se requiera una cantidad adicional de agua lo que llevaría a incrementar el contenido de cemento para no afectar la relación agua/cemento, siendo lo más recomendable en este caso incrementar la relación piedra/arena, así mismo se puede observar que la curva se pega al huso.

- Arena Gruesa.-

Lo contrario ocurre en las arenas gruesas debido a que contiene mínimos porcentajes de arena más fina que los 300 micrones ó malla N° 50 y 150 micrones ó malla N° 100, lo que podría causar segregación en la mezcla.

La norma establece que para arenas con 5 % y 0 % de estos finos es recomendable el uso de más de 300 Kg por m³ de cemento, de esta manera el cemento cumplirá la función de los finos.

- Husos. -

(Referencia N° 3).

Los husos correspondientes al agregado fino se muestran en el cuadro N° 1.5.

TABLA N° 1.5		HUSOS GRANULOMETRICOS DE LA ARENA		
Agregado Fino	Huso			Límites Totales
Malla	C	M	F	
9.5 mm. = 3/8"	100%	100%	100%	100%
4.75 mm. = N° 4	95 % - 100 %	85 % - 100 %	89 % - 100 %	89 % - 100 %
2.36 mm. = N° 8	80 % - 100 %	65 % - 100 %	80 % - 100 %	65 % - 100 %
1.18 mm. = N° 16	50 % - 85 %	45 % - 100 %	70 % - 100 %	45 % - 100 %
600 micrones = N° 30	25 % - 60 %	25 % - 80 %	55 % - 100 %	25 % - 100 %
300 micrones = N° 50	10 % - 30 %	5 % - 48 %	5 % - 70 %	5 % - 70 %
150 micrones = N°100	2 % - 10	0 % - 12 %	0 % - 12 %	0 % - 12 %

b) Granulometría del Agregado Grueso. -

(Referencia N° 3).

En el agregado grueso obtener una curva granulométrica continua y uniforme infiere un contenido heterogéneo de los tamaños de las partículas, lo que propicia un mejor acomodo de las mismas y la consiguiente reducción de los espacios vacíos.

Cuando se presentan irregularidades en la gráfica como cambios bruscos de pendiente o saltos por lo general se deben a que el agregado contiene una predominante cantidad de partículas de algunos tamaños consecutivos a la vez que carece de otros tamaños también consecutivos sin embargo cabe anotar que la presencia de todos los tamaños normalizados a lo que se conoce como distribución homogénea de partículas de los agregados, también resulta perjudicial para la compacidad.

En términos técnicos cuando se refiere a la granulometría y los husos de los agregados gruesos, se indican con respecto a su tamaño máximo y tamaño nominal máximo.

- Tamaño Máximo. -

El tamaño máximo es una medida en pulgadas que corresponde a la malla por la que pasará toda la muestra, este valor se utiliza para seleccionar el agregado según las condiciones de geometría del encofrado y del refuerzo de acero que será utilizado el RNC indica que el tamaño máximo del agregado no debe ser mayor de:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado
 - 1/3 del peralte de la losa.
 - 3/4 del espaciamiento libre entre las varillas o alambres individuales del refuerzo de paquetes de varillas, cables o ductos de pre-esfuerzo.
- Tamaño Nominal Máximo. -

El tamaño nominal máximo corresponde a la malla en la que se produce el primer retenido.

- Husos del Agregado Grueso. -

Los husos correspondientes al agregado grueso se muestran en el cuadro N° 28

TABLA N° 1.6 HUSOS GRANULOMETRICOS DEL AGREGADO GRUESOS

Tamaño Nominal	Porcentaje que Pasa por los Tamices Normalizados												
	4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16
90 a 37,5 mm 3 1/2" a 1 1/2"	100%	90% ^a 100%		25% a 60%		0% a 15%		0% a 5%					
63 a 37,5 mm 2 1/2" a 1 1/2"			100%	90% a 100%	35% a 70%	0% a 15%		0% a 5%					
50 a 25 mm 2" a 1"				100%	90% a 100%	35% a 70%	0% a 15%		0% a 5%				
50 a 4,75 mm 2" a N° 4				100%	95% a 100%		35% a 70%		0% a 10%		0% a 5%		
37,5 a 19 mm 1 1/2" a 3/4"					100%	90% a 100%	20% a 55%	0% a 5%		0% a 5%			
37,5 a 4,75 mm 1 1/2" a N° 4					100%	95% a 100%		35% ^a 70%		10% ^a 30%	0% a 5%		
25 a 12,5 mm 1" a 1/2"						100%	90% a 100%	20% ^a 55%	0% a 10%	0% a 5%			
25 a 9,5 mm 1" a 3/8"						100%	90% a 100%	40% ^a 85%	10% a 40%	0% a 15%	0% a 5%		
25 a 4,75 mm 1" a N° 4						100%	95% a 100%		25% ^a 60%		0% a 10%	0% a 5%	
19 a 9,5 mm 3/4" a 3/8"							100%	90% a 100%	20% a 55%	0% a 15%	0% a 5%		
19 a 4 mm 3/4" a N° 4							100%	90% a 100%		20% ^a 55%	0% a 10%	0% a 5%	
12,5 a 4,75 mm 1/2" a N° 4								100%	90% a 100%	40% 70%	0% a 15%	0% a 5%	
9,5 a 2,36 mm 3/8" a N° 8									100%	85% ^a 100%	10% a 30%	0% a 10%	0% 5%

c) Granulometría en el Agregado Global.-
(Referencia N° 5)

La curva granulométrica del agregado global es una representación gráfica del material compuesto por la combinación de los agregados finos y gruesos, cuya granulometría cumple con los límites indicados en el huso. Esta representación aproximada nos muestra la tendencia de su comportamiento, es así que se podrán tomar los criterios y las recomendaciones adecuadas.

TABLA N° 1.7 HUSOS DE AGREGADO GLOBAL			
Huso DIN 1045			
Malla	A	B	C
N° 32	100%	100%	100%
N° 16	62%	80%	89%
N° 8	38%	62%	77%
N° 4	23%	47%	65%
N° 2	14%	37%	53%
N° 1	8%	28%	42%
0.25	2%	8%	15%

Granulometría para Concretos de Alta Resistencia:

Se presentan recomendaciones basadas en publicaciones extranjeras y en la experiencia obtenida al preparar en el laboratorio las mezclas de tanteo del concreto de alta resistencia.

a) Agregado Fino.-

Se presenta una restricción en cuanto a las arenas pues para este tipo de concretos no podemos utilizar las arenas finas o medianas siendo aptas únicamente las arenas gruesas de alta resistencia. En alguna ocasión si es justificado podemos combinarla con arena fina que sea también de alta resistencia.

b) Agregado Grueso.-

Los tamaños máximos de 1", 3/4", 1/2" son los más recomendables para preparar concretos de alta resistencia, los resultados obtenidos en laboratorio mostraron un incremento de resistencias a razón de la disminución del tamaño máximo. Se debe tener en cuenta que mientras decrece el tamaño máximo aumenta el costo por m³ de concreto por efectos de desperdicio y de consumo de cemento.

Descripción del Ensayo.-
(Referencia N° 6)

- Equipo Necesario.-

- Se requiere de una balanza de ± 0.01 g de sensibilidad.
- Se requiere de recipientes para pesar las muestras.
- Se requiere de tamices o mallas estandarizadas. Se presentan los tamaños reglamentarios para agregado grueso y fino en la tabla N° 1.8.

TABLA N° 1.8 MEDIDA DE LA MALLAS PARA LOS AGREGADOS			
Agregado Fino		Agregado Grueso	
Malla	Medida	Malla	Medida
N° 4	4,76 micrometros	4"	101,6 mm
N° 8	2,38 micrometros	3 1/2"	90,5 mm
N° 16	1,19 micrometros	3"	76,1 mm
N° 30	595 micrometros	2 1/2"	64,0 mm
N° 50	297 micrometros	2"	50,8 mm
N° 100	149 micrometros	1 1/2"	38,1 mm
		1"	25,4 mm
		3/4"	19,0 mm
		1/2"	12,7 mm
		3/8"	9,5 mm

- Procedimiento.-

El ensayo consiste en separar por orden de tamaño las partículas de la muestra tomada, e ir pesando las fracciones la secuencia es como sigue:

- Se toman las muestras por el método del cuarteo de:
 - Agregado Fino:
500 gramos.

- Agregado Grueso:
Se toma de acuerdo al tamaño máximo del agregado. Se muestra en el siguiente cuadro:

TABLA N° 1.9 CANTIDAD DE MUESTRA PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRIA		
Tamaño máx de las Partículas		Peso de la muestra
Malla	Medida	Malla
3/8"	9,51 mm	2,00 kg
1/2"	12,7 mm	4,00 kg
3/4"	19,0 mm	8,00 kg
1"	25,4 mm	12,00 kg
1 1/2"	38,1 mm	16,00 kg
2"	50,8 mm	20,00 kg
2 1/2"	64,0 mm	25,00 kg
3"	76,1 mm	45,00 kg
3 1/2"	90,0 mm	70,00 kg

- Dichas muestras se pasan por mallas o tamices normalizados según la serie de la "Organización Internacional de Normalización ISO".
- Se coloca la muestra en el tamiz superior y se zarandea por un minuto.
- Se pesan los materiales retenidos en cada malla y se hallan sus porcentajes respectivos.
- La norma indica que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido de la siguiente, no debe ser mayor del 45 % del total de la muestra, de esta manera se asegura una granulometría más regular.
- Los valores hallados se aprecian en una gráfica de Sistemas Coordinado semi-logaritmico en el cual las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz y las abscisas, las aberturas correspondientes.
- La curva granulometrica debe resultar dentro de los husos respectivos del agregado fino, grueso y global.

Ensayo de Granulometría por el Método de Análisis de Suspensión de Finos.-

(Referencia N° 7)

Se realiza este ensayo en la segunda etapa de la tesis pues en las etapas anteriores se aplica el criterio de que las arenas gruesas no contienen mucha cantidad de finos razón por la cual no se lavaron, entonces se hacía necesario determinar cuantitativamente los finos de la arena gruesa y conocer de esta manera si es un porcentaje significativo que podría influir en la resistencia a la compresión del concreto por lo que sería necesario lavar la arena gruesa.

La granulometría por sedimentación, la base teórica del método es el fenómeno de que la velocidad de sedimentación de partículas en un líquido es función de su tamaño, el método más conocido es el del hidrómetro, se obtiene la separación de las fracciones de las partículas de los finos menores de la malla N° 200 (0.074 mm), según sus tamaños. Este método fue propuesto independientemente por Goldschmidt en Noruega en 1926 y por Bouyoucos en los Estados Unidos en 1927, convirtiéndose quizá hasta el día de hoy en el método de uso más extendido.

(Referencia N° 7)

La ley fundamental de que se hace uso en el procedimiento del hidrómetro es debido a Stokes que nos dice: "Si una esfera cae através de un fluido incomprensible en reposo, su velocidad aumentará rápidamente bajo la aceleración de la gravedad, pero si las condiciones no varían momentos después se obtendrá una velocidad constante que se expresa como:

$$v = \frac{2}{9} \frac{\gamma_s \gamma_f (D)^2}{g \eta} \quad \text{donde: } D = \frac{18 \eta v}{\gamma_s - \gamma_f}$$

El rango de los diámetros "D", para los cuales es válida esta ecuación es:

$$0.0002 \leq D \leq 0.2 \text{ mm}$$

v	=	Velocidad de sedimentación de la esfera.
γ_s	=	Peso específico de la esfera en g/cc.
γ_f	=	Peso específico del fluido en g/cc.
η	=	Viscosidad del fluido en g/cc.
D	=	Diámetro de la esfera en cm.

Descripción del Ensayo de Granulometría por Sedimentación.-

- Equipo Necesario.-
- Un hidrómetro graduado para medir pesos específicos relativos calibrado a 20 °C y con escala de 0.995 a 1.060. Modelo 152 H.
- Un cilindro de sedimentación (1000 cc).
- Un aparato para dispersar el suelo.
- Un agente dispersivo (Silicato de Sodio Na₂SiO₃).
- Termómetro.

- Hipótesis en el Ensayo del Hidrómetro. -

- Las partículas del suelo son esferas rígidas.
- Las partículas alcanzan su velocidad final en el instante en que se detiene la agitación.
- No existe cohesión o choque entre las partículas.
- Se aplica a intervalos de tamaños de partículas comprendidos entre 0.0002 y 0.2mm.
- Al comienzo de la prueba la suspensión es uniforme y de concentración suficientemente baja o que las partículas no se interfieran al sedimentarse. (En general es apropiado una concentración de 50 g/lit).
- El área de la sección recta del bulbo del hidrómetro es despreciable en comparación a la de la probeta, donde tiene lugar la sedimentación de manera que dicho bulbo no interfiere en la sedimentación de las partículas en el instante de efectuarse una medición.

- Procedimiento. -

El procedimiento se divide en tres partes:

- La Calibración del Hidrómetro. -

El hidrómetro se calibra hundiéndose en una suspensión hasta que su peso se equilibre con el peso de la suspensión desplazado por este, el hidrómetro mide de esta forma el peso específico relativo promedio de la suspensión desplazada.

La distancia de la superficie libre de la suspensión al centro del bulbo, indicada por la lectura del hidrómetro debe corregirse. La calibración de un hidrómetro consiste precisamente en la determinación para un aparato dado de la verdadera altura de caída H en función de las lecturas realizadas.

La determinación del volumen del bulbo del hidrómetro V_H por cualquiera de los procedimientos es el que sigue:

- Midiendo el volumen de agua desplazada por dicho bulbo, para ello úsese una probeta graduada de 1000 cc. Con agua destilada hasta un cierto nivel, suméjase el hidrómetro y léase el nuevo nivel; la diferencia de las dos lecturas es el volumen del bulbo, si se desprecia como es usual el efecto del vástago.
- A partir del peso del hidrómetro, pesando éste con aproximación de 0.01 g. Suele considerarse que el peso específico del hidrómetro es unitario, por lo que el peso en gramos es directamente el volumen en cc. También en este caso se desprecia el efecto del vástago.
- Determínese el área (A) de la probeta de 1000 cc. Que se vaya a usar en la prueba; para ello médase la distancia entre dos graduaciones. El área será igual al volumen indicado entre las graduaciones escogidas, dividido entre la distancia medida.
- Médanse las distancias de la marca de calibración inferior del vástago a cada una de las otras marcas. (RH).
- Médase la distancia desde el extremo superior al bulbo a la marca de calibración inferior del vástago. La distancia H_1 correspondiente a una lectura RH , es la suma de las mediciones hechas en el ítem anterior y en el presente.
- Médase la distancia desde el extremo inferior al superior del bulbo. Esta medida se anota como h , altura del bulbo.

- Calcúlense las verdaderas alturas H, correspondiente a cada marca de calibración en el vástago RH, con la fórmula:

$$H = H_1 + 0.5 \left(h - \frac{V_H}{A} \right)$$

- Dibújese en una curva la relación H - Rh. Esta curva servirá para dibujar la escala RH a la derecha de la H, en el nomograma para solución de la ley de Stokes.

- Corrección por Menisco. -

- Sumerjase el hidrómetro en agua destilada, limpia.
- Háganse dos lecturas cuidadosas, una en la base y la otra en el borde del menisco formado; su diferencia es la corrección por menisco Cm; para tener la seguridad de que el menisco está bien desarrollado, lávese previamente el vástago con solución jabonosa o alcohol.

- Desarrollo de Ensayo en Suelos Arenosos. -

Los agregados finos son arenas por lo tanto sólo en este rubro se le aplicaría el ensayo del hidrómetro.

- Se tamiza de 50 g a 100 g por la malla N° 60, de material seco y pulverizado y se mezcla con el dispersor, dejándose reposar 18 horas.
- Si es más del 50% lo que se retiene en esta malla es necesario separar su fracción gruesa y hacer la prueba del hidrómetro solo a lo que pase la malla N° 60.
- Se le añade 0.5 cc. De solución de silicato de sodio a 300 cc de agua destilada y mézclase una parte con el suelo de modo que trabajando con espátula alcance este la consistencia de una pasta suave. A veces será necesario utilizar otra concentración de silicato de sodio u otro agente dispersor. Para determinar el tipo apropiado de solución de floculante, deberán añadirse diferentes cantidades de estos productos a varias muestras de suspensión de suelo; tras reposar varias horas las muestras podrá verse por simple observación la efectividad de los distintos defloculantes y concentraciones usadas.
- La pasta se coloca en un batidor mecánico añadiéndose el resto de la solución preparada, se bate por 10 a 20 minutos.
- Determinése la corrección por el cambio en la densidad del agua destilada (Cd) debido a la adición del defloculante. La corrección se calcula añadiendo a 1000 cc de agua destilada en una probeta graduada, la cantidad de defloculante que vaya a usarse introduciendo un hidrómetro y haciendo una lectura. La diferencia entre esta lectura y otra previamente hecha en agua destilada es la corrección Cd.
- Se pasa la suspensión a una probeta graduada de 1000 cc. Añadir agua destilada hasta completar exactamente los 1000cc del cilindro, taparlo con un tapón y agitar la probeta vigorosamente invirtiéndola varias veces por lo menos durante un minuto.
- Se coloca la probeta sobre una mesa fija echándose a andar un cronómetro e introdúzcase el hidrómetro sujetándolo hasta un poco más abajo de su nivel de flotación; después suéltesele dejándolo libre.

- El hidrómetro permanecerá en la suspensión durante 2 minutos, haciéndose lecturas en periodos de medio, uno y dos minutos. También tome la temperatura.
- Retírese suavemente el aparato sumergiéndolo en agua limpia y secándolo con un paño.
- Se repite el mismo procedimiento haciéndose otras lecturas a los 4, 8, 15, 30 minutos, así mismo a una, dos, cuatro horas, finalmente una o dos veces al día, siempre retirando el hidrómetro tras cada lectura. Estos son los tiempos que se toman en caso de suelos arcillosos pero en el caso de las arenas el ensayo termina antes de las 8 horas.
- Mídase la temperatura de la suspensión una vez durante los primeros 15 minutos y después otra vez tras cada lectura.
- La introducción del hidrómetro debe hacerse muy suavemente disponiendo de unos 10 segundos para cada operación.
- De vez en vez lávese el vástago con solución jabonosa para permitir en cada lectura la completa formación del menisco.
- Antes e cada inmersión se limpia el hidrómetro con un paño suave.
- Al concluir la prueba se determina el peso seco del material contenido en la suspensión, pasando ésta a un recipiente evaporador y dejándola en éste hasta que pierda el agua.
- Añadiendo al recipiente unas gotas de ácido clorhídrico y agitando suavemente se logra en menor tiempo que la suspensión se precipite y que el agua de arriba quede clara, esta agua puede retirarse con una pipeta, acelerando así el proceso de evaporación.
- Se tiene un cilindro de control en la misma cantidad de dispersante y agua a una misma temperatura con una variante de $\pm 1^\circ$ de temperatura.

- Procedimiento de Cálculo.-

- El hidrómetro ha sido calibrado para leer granos de suelo con un $S_s = 2.65$, en un litro de suspensión a una temperatura de 20°C en el centro del suelo siempre que no haya más de 60 gr de suelo en la solución.
- El R debe corregirse por efecto del defloculante y a una temperatura de 20°C :

$$R_c = R - C_d + C_t$$

C_d = Corrección del cero.

C_t = Está en la tabla 6.3 en función de la temperatura.

- Se halla "a" si el S_s es diferente de 2.65:

$$a = \frac{S_s \times (1.65)}{(S_s - 1) \times 2.65}$$

- Se halla el porcentaje de tamaño inferior (p %) ó también conocido como el porcentaje del más fino ó porcentaje del suelo en suspensión:

$$p\% = \frac{R_c}{W_s} \times a \times 100$$

W_s = Peso del suelo seco.

- Se corrige la lectura R por menisco:

$$R_a = R + \text{corrección por menisco.}$$

- Hallar "L" de una tabla en función de R_a .

- Se halla la relación de L/t ; donde t es tiempo.

- Se halla "K" en función de una tabla en función de la temperatura.

- Se obtiene "D", donde T es tiempo:

$$D = k (L/T)^{1/2}$$

- Se hallan de esta manera los datos y con ellos se realiza la gráfica de granulometría.

TABLA N° 1.10 FACTORES DE CORRECCION "a" PARA EL PESO UNITARIO DE SOLIDOS	
Peso Unitario	Factor de Corrección
g/cm ³	a
2.85	0.96
2.80	0.97
2.75	0.98
2.70	0.99
2.65	1.00
2.60	1.01
2.55	1.02
2.50	1.04

TABLA N° 1.11 FACTORES DE CORRECCION "Ct" POR TEMPERATURA	
Temp (° C)	C _t
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	0.20
22	0.40
23	0.70
24	1.00
25	1.30
26	1.65
27	2.00
28	2.50
29	3.05

TABLA N° 1.13 VALORES DE "K" PARA VARIAS COMBINACIONES DE PESO UNITARIO DE LOS SOLIDOS (g/cm ³) Y TEMPERATURAS								
T °C	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.012
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.013	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.012	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

Ensayos Granulometricos Efectuados en la Tesis:

Se presentan los resultados de los ensayos granulométricos efectuados a los agregados con los que se realizaron las probetas de ensayo.

– Agregado Fino:

Se utilizaron 500 g, de la arena.

- Arena Gruesa, de la cantera de Manchay.

– Agregado Grueso:

Se utilizaron 5000 g de la piedra.

- Piedra Chancada proveniente de roca Diorita, de la cantera de la Gloria.
- Piedra Chancada proveniente de roca Cuarcita.

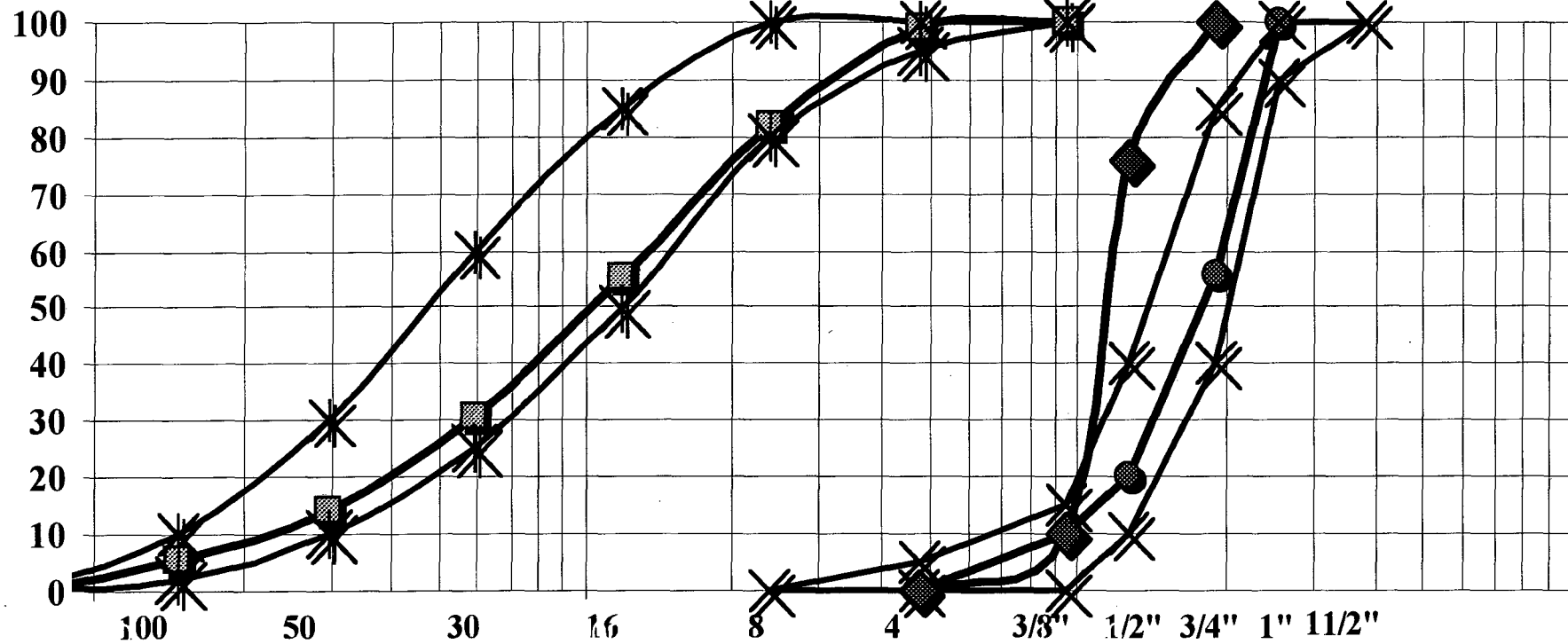
– Agregado Global:

- Combinación de 50% de Piedra Diorita + 50% de Arena Gruesa.
- Combinación de 50% de Piedra Cuarcita + 50% de Arena Gruesa.

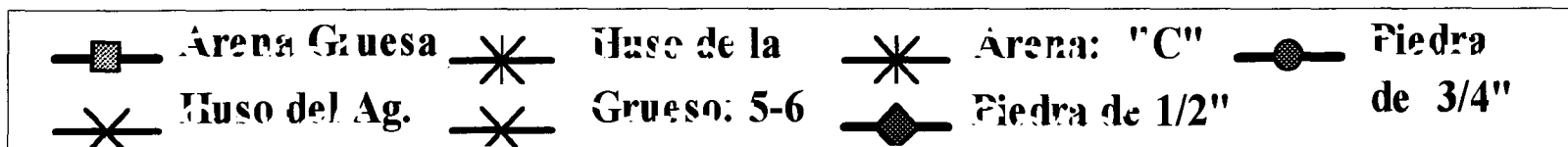
– Granulometrías de los Agregados Utilizados en las Etapas de la Tesis:

Se presenta en la tabla N° 1.14 un resumen de las granulometrías de los agregados utilizados durante todos los ensayos de la tesis así como la respectiva gráfica.

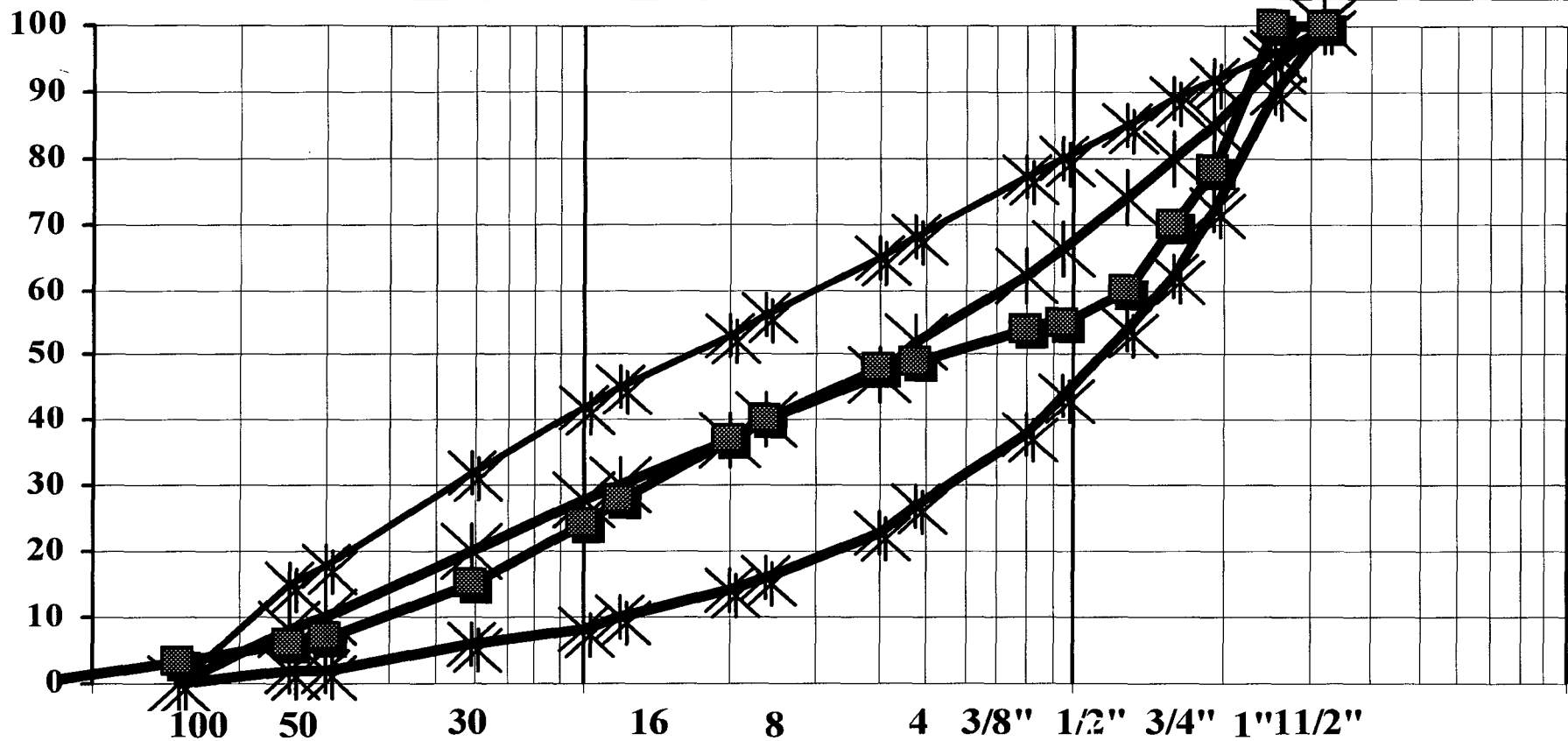
Malla	Arena Gruesa	Piedra Chancada	Global 50%P+50%A
3/4"		56%	78%
1/2"		20%	60%
3/8"	100%	10%	55%
N° 4	98.8%	0%	49%
N° 8	82%		40%
N° 16	55.1%		28%
N° 30	30.7%		15%
N° 50	14.1%		7%
N° 100	5.6%		3%
Fondo	0%		0%



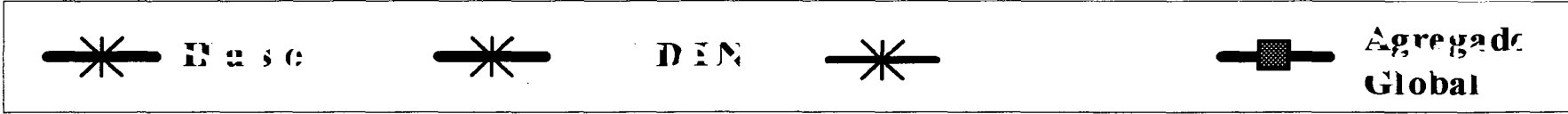
GRAFICA N° 1.1 CURVAS GRANULOMETRICAS DE LA ARENA GRUESA Y LA PIEDRA CHANCADA



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 kg/cm² a 1200 kg/cm²"



GRAFICA N° 1.2 CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GLOBAL



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 kg/cm² a 1200 kg/cm²

Estudios Realizados de Granulometría.-

Se realizaron algunos estudios en granulometría para determinar su influencia en el incremento de la resistencia a la compresión.

Los estudios que se realizaron fueron:

- Estudio de la combinación de arenas fina y gruesa.
- Determinación de la cantidad de finos de la arena gruesa.

– Estudio de la Combinación de Arenas.-

Se realizó este estudio debido a que la arena fina tiene una mejor matriz aglomerante que la arena gruesa, es así como se utilizó el método del cuadrado para la combinación de las dos arenas, los porcentajes hallados fueron de 34% de arena fina y 66% de arena gruesa resultando esta combinación muy fina, por tal motivo se optó por 90% de arena gruesa y 10% de arena fina.

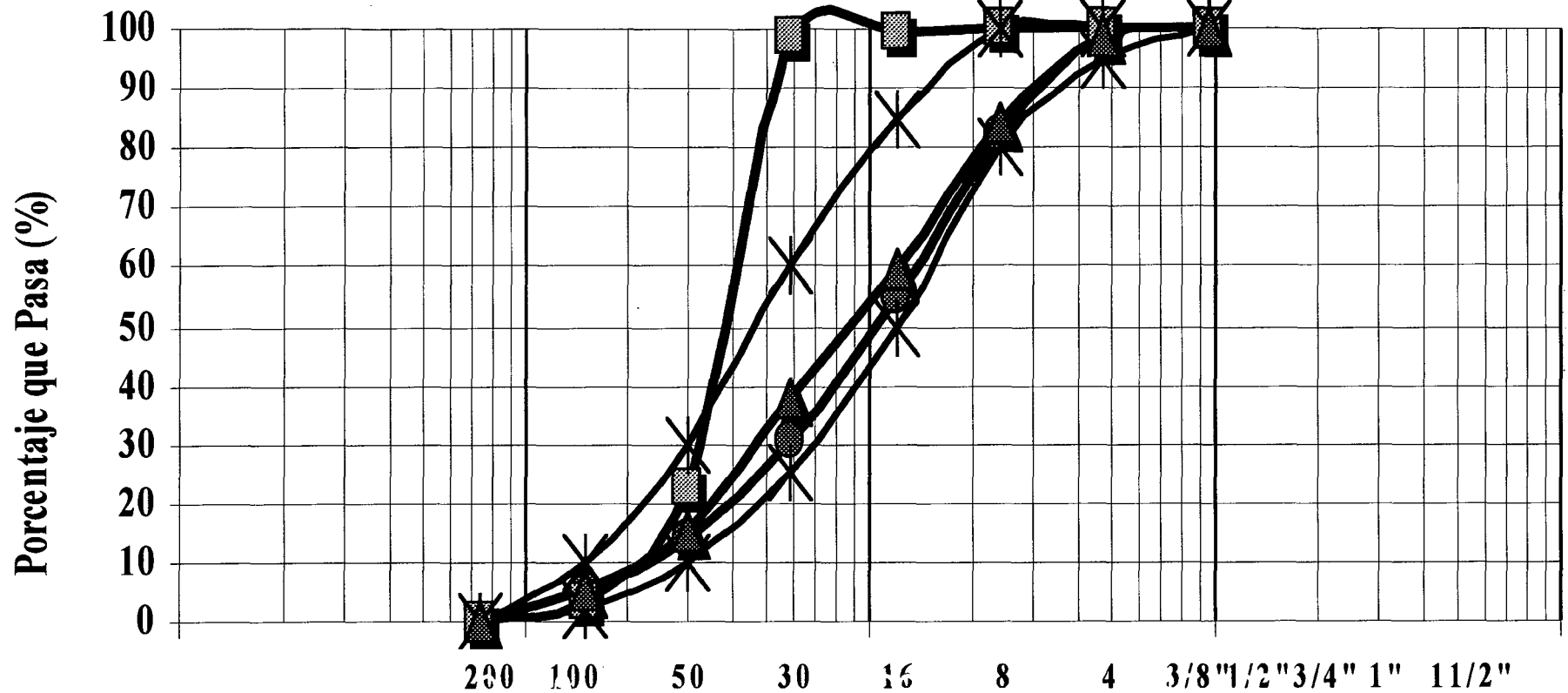
Se realizaron los ensayos y los resultados de resistencia a la compresión no presentaron una variación significativa motivo por el cual se continuó únicamente con la arena gruesa.

Arenas	Gruesa	Fina	Combinación
Malla	% Pasa	% Pasa	90%A.G + 10%A.F
3/8"	100%	100%	100%
N° 4	98.8%	100%	98.9%
N° 8	82%	100%	83.8%
N° 16	55.1%	99.60%	59.6%
N° 30	30.7%	98.40%	37.5%
N° 50	14.1%	22.60%	15.0%
N° 100	5.6%	3.40%	5.4%
Fondo	0%	0%	0%

- Estudio de la Cantidad de Finos de la Arena Gruesa. -

Este estudio se realizó en la segunda etapa de la tesis, se utilizó el método granulométrico del hidrómetro.

Cuadro Resumen de la Granulometría de los Agregados			
Malla	Arena Gruesa Utilizada	Arena Sin Lavar	Arena Lavada
3/8"	100%	100%	100%
Nº 4	98.8%	98.8%	98.8%
Nº 8	82%	82.0%	82.0%
Nº 16	55.1%	55.1%	55.1%
Nº 30	30.7%	30.7%	30.7%
Nº 50	14.1%	14.1%	14.1%
Nº 100	5.6%	5.6%	5.6%
0.0939 mm	0%		5.2%
0.0929 mm		5.2%	
0.074 mm		4.1%	5.0%
0.0697 mm			4.4%
0.0673 mm		3.8%	
0.050 mm			3.4%
0.0485 mm		2.3%	
0.0354 mm			3.2%
0.0347 mm		1.4%	
0.0252 mm			2.9%
0.0248 mm		0.8%	0%
0.0176 mm		0.6%	0%
0.0124 mm		0.3%	0%
0.0091 mm		0.1%	0%
0.0079 mm		0%	0%



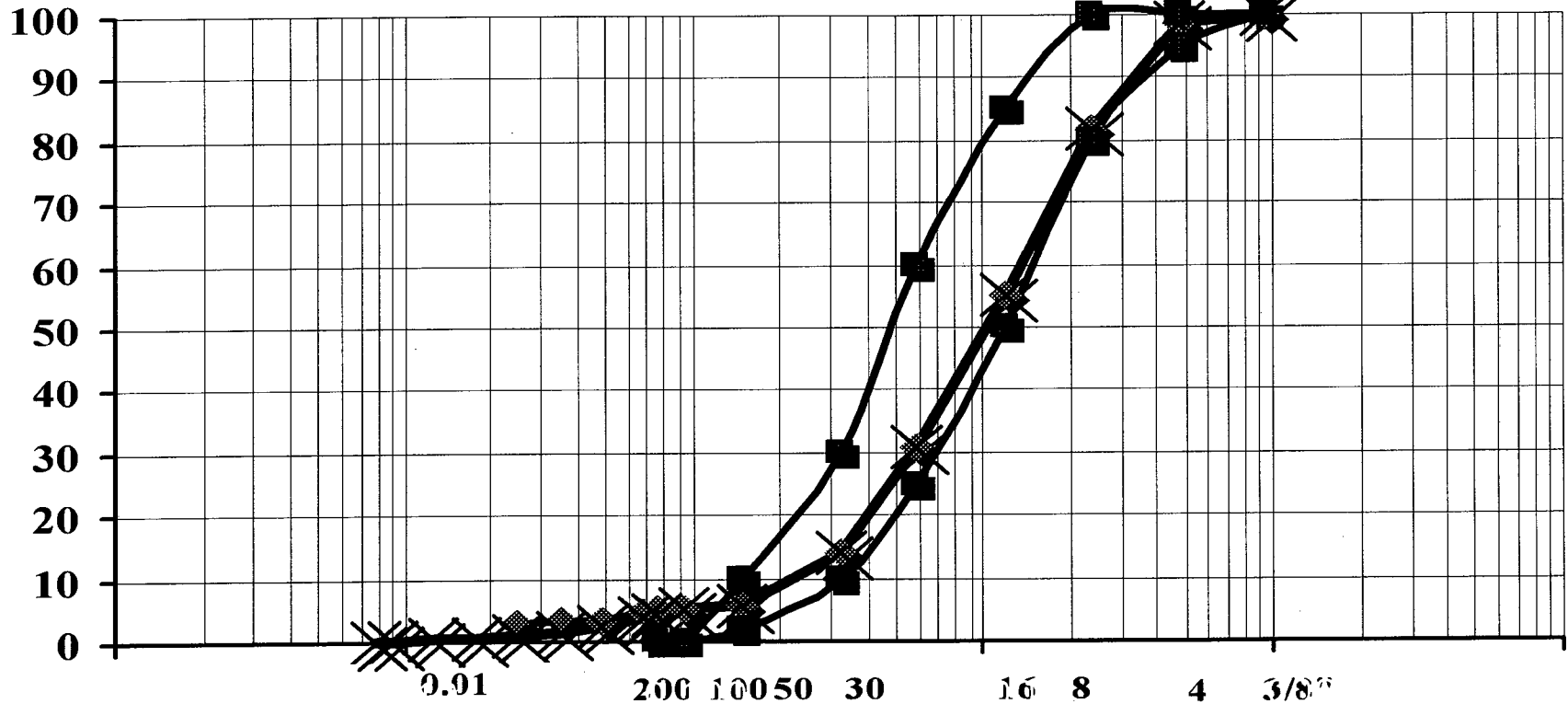
GRAFICA N° 1.3 GRANULOMETRIAS DE LAS ARENAS Y SU COMBINACION

Arena Gruesa
 Arena Fina
 Hazo del Ag "C"
 Fines
 Combinación de Arenas

Tesis: " Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 kg/cm² a 1200 kg/cm²

Arcillas 0.02 Limos

Porcentaje Acumulado que Pas



Curvas Granulométricas de la Arena Gruesa Lavada y Sin Lavar



4.1.2 MODULO DE FINURA

El módulo de finura es el promedio ponderado de los porcentajes retenidos acumulados de la muestra, este valor nos permite clasificar al agregado de acuerdo al rango al que pertenecen de esta manera se podrán tomar los criterios y recomendaciones respectivos para un adecuado diseño de mezcla.

El módulo de finura no es un ensayo experimental, su valor se calcula tomando los datos del ensayo de granulometría, se aplica al:

- Agregado Grueso.
- Agregado Fino.
- Agregado Global.

Módulo de Finura para Agregados de Normales y Medianas Resistencias.-

a) Módulo de Finura en el Agregado Fino.- (Referencia N° 8).

Las aplicaciones en el agregado fino son las mas conocidas, tienen mayores recomendaciones dadas por las normas ASTM y por ASOCCEM.

- La norma recomienda que el módulo de finura de la arena debe encontrarse en el rango de 2.3 a 3.2. Especifica que este no debe variar en ± 0.2 de la base del módulo para una determinada obra, dicha referencia, se obtiene de acuerdo a los valores conocidos en la producción anterior, por ensayos previos o como el promedio de las primeras muestras del material recibido.
- Se recomienda que las arenas comprendidas entre los módulos de finura 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación.
- Procedimiento.-
(Referencia N° 5)
El cálculo se obtiene sumando los porcentajes acumulados retenidos desde la malla N° 4 hasta la malla N° 100 de la arena, dividiendo todo entre 100.

$$M.F_{\text{arena}} = \frac{\% N^{\circ} 4 + \% N^{\circ} 8 + \% N^{\circ} 16 + \% N^{\circ} 30 + \% N^{\circ} 50 + \% N^{\circ} 100}{100}$$

Con el valor hallado se clasifica la arena según la tabla N° 1.17.

TABLA N° 1.17 CLASIFICACION DEL AGREGADO FINO	
Módulo de Finura	Tipo de Arena
Mayor de 3	Gruesa
Igual a 3	Normal
Menor de 3	Fina

b) Módulo de Finura en el Agregado Grueso. -

(Referencia N° 5)

El cálculo del valor del módulo de finura permite clasificar al agregado grueso, como se indica en la tabla N° 1.18.

- Procedimiento. -

El cálculo se obtiene sumando los porcentajes acumulados retenidos en las mallas correspondientes al agregado grueso intercaladamente, quedando así las mallas de 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" además desde la malla N° 4 hasta la malla N° 100, se le asigna valor numérico de 100 a cada malla, dividiendo todo entre 100.

$$M.F_{\text{piedra}} = \frac{\% 3'' + \% 1 \frac{1}{2}'' + \% 3/4'' + \% 3/8'' + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

TABLA N° 1.18 CLASIFICACION DEL AGREGADO GRUESO	
Módulo de Finura	Tipo de A. Grueso
Mayor de 7	Grueso
Igual a 7	Normal
Menor de 7	Fino

c) Módulo de Finura en el Agregado Global. -

(Referencia N° 5)

El cálculo del valor del módulo de finura sugiere la elección de la máquina más adecuada para mezclar el concreto como se indica en el cuadro N° 3.

- Procedimiento. -

El cálculo se obtiene sumando los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de % 3", % 1 1/2", % 3/4, % 3/8, % N° 4 + % N° 8 + % N° 16 + % N° 30 + % N° 50 + % N° 100, dividiendo el resultado entre 100.

$$M.F_{\text{gl.}} = \frac{\%3'' + \%1 \frac{1}{2}'' + \%3/4 + \%3/8'' + \%N^{\circ} 4 + \%N^{\circ}8 + \%N^{\circ}16 + \%N^{\circ}30 + \%N^{\circ}50 + \%N^{\circ}100}{100}$$

TABLA N° 1.19 CLASIFICACION DEL AGREGADO GLOBAL	
Módulo de Finura	Tipo de Máquina
5.4 a 5.6	Mezcladora
5.2 a 5.4	Trompo
5.0 a 5.1	Bombeo

Módulo de Finura para Concretos de Alta Resistencia.-

a) Agregado Fino.-

En los reportes extranjeros se pueden observar hasta tres criterios con respecto al valor recomendable para el módulo de finura.

- El rango de 2.5 a 3.2.
- El rango de 2.8 a 3.2.
- El rango de 3.0 a 3.2.

En la tesis no se investigó sobre el rango de valores del módulo de finura apropiado para concretos de alta resistencia.

b) Agregado Grueso.-

En la tesis no se investigó sobre el rango de valores apropiados para concretos de alta resistencia.

Módulo de Finura de los Agregados Utilizados en la tesis.-

Se presenta un resumen en el cuadro N° 37 de los módulos de finura de los:

- Agregados utilizados en la evaluación de las propiedades del concreto
- Agregados estudiados.

TABLA N° 1.20 MODULO DE FINURA DE LOS AGREGADOS UTILIZADOS					
Agregados	Agregados Utilizados en los Ensayos			Agregados Estudiados	
	Arena Gruesa	Piedra Chancada	Global	Arena Fina	Combinac. Finos
M.F	3.13	8.14	5.15	1.76	3.00
Clasificación	Arena Gruesa	Partículas Gruesas	Mezcladora	Arena Fina	Arena Gruesa

1.4.3 SUPERFICIE ESPECÍFICA

(Referencia N° 5)

Es el área superficial de las partículas que ocupan un determinado volumen, así a los agregados más gruesos les corresponderá menor superficie específica, por ejemplo los agregados gruesos de forma redondeada ocupan menor área superficial que los de perfiles angulosos, al igual que en el agregado fino, las arenas gruesas ocupan una menor área superficial que las arenas finas. Aplicando este concepto a la tecnología del concreto nos ayudará a conocer el probable consumo de cemento así como la necesidad de agua. Este parámetro es muy útil en casos en que se tenga que elegir entre dos o más canteras de agregados debido a que a mayor superficie específica se requerirá mayor contenido de cemento así como mayor contenido de agua por consiguiente mayor costo para mantener las mismas propiedades de cohesividad, trabajabilidad y resistencia.

Procedimiento del Cálculo de la Superficie Específica.-

- Se asume que todas las partículas son circulares.
- El diámetro medio es el promedio de las aberturas del tamiz que pasa y el retenido.
- Se divide cada porcentaje retenido entre el diámetro promedio.
- Se suman luego los cocientes obtenidos.
- Se calcula el valor de la superficie específica con la ecuación: $S_e = \frac{6 * \sum \text{cocientes}}{100 * P.E}$
- Se muestran las tablas N° 1.21 y 1.22 de los diámetros promedios de cada malla.

Malla	Diámetro Prom.
1"	3.175 cm
3/4"	2.225 cm
1/2"	1.585 cm
3/8"	1.114 cm
1/4"	0.793 cm
Fondo	0.556 cm

Malla	Diámetro Prom.
3/8"	1.111
1/4"	0.794
N° 4	0.556
N° 8	0.357
N° 16	0.179
N° 30	0.089
N° 50	0.045
N° 100	0.022
Fondo	0.011

Superficie Especifica Aplicada a los Agregados de la Tesis.-

Agregados	Arena Gruesa	Diorita	Cuarcita	Arena Fina	Comb. Arenas
S.E	39.50	1.52	1.610	68.86	42.16

1.4.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

Es la cantidad de agua que contienen las partículas del agregado; atrapada en estas de forma natural, el grado de humedad que contienen depende de las condiciones ambientales en las que se encontraban las canteras.

El contenido de humedad se calcula mediante un ensayo experimental, el resultado se expresa como porcentaje, a causa de esta característica sumada a la absorción el contenido de agua calculado inicialmente es ligeramente modificado por lo que son incluidos en el diseño de mezcla para calcular la corrección de la cantidad de agua que se usara para el mezclado del concreto.

Cabe mencionar la importancia de mantener la relación a/c proyectada para no afectar la trabajabilidad ni la resistencia a la compresión, sea por un déficit o un exceso de agua en la mezcla del concreto.

Su valor se expresa en porcentaje y se calcula matemáticamente tomando una muestra representativa, se relaciona el peso del agua que contienen y el peso de las partículas secadas al horno.

Ensayo de Contenido de Humedad.-

(Referencia N° 5)

- Equipo. -

- Balanza, con una capacidad de ± 0.1 gramos y con capacidad de 5 Kg.
- Estufa de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Procedimiento. -

- Se toma una muestra del volumen del agregado traído de la cantera.
- Se pesan 1000 g. en caso del agregado grueso y 500 g en el caso del agregado fino.
- Luego de pesado se seca al horno por 24 horas, a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Sacar del horno, dejar enfriar y volver a pesar las partículas las cuales se encuentran en estado sólido.
- Calcular la cantidad de agua que contenía en estado natural mediante la diferencia:

$$C.H(\%) = \frac{\text{Peso del material en estado natural} - \text{Peso del material secado al horno}}{\text{Peso del material secado al horno}} * 100$$

Materiales Ensayados en la Tesis.-

TABLA N° 1.24 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD								
Agregados	Roca Diorita		Roca Cuarcita		Arena Gruesa		Arena Fina	
Ensayos	I	II	I	II	I	II	I	II
C.H	0.54%	0.55%	0.10%	0.12%	0.53%	0.52%	0.73%	0.73%
Promedio	0.55%		0.11%		0.53%		0.73%	

1.4.5 ABSORCIÓN

La absorción de agua es una de las características de los agregados; gruesos y finos, depende de la capacidad de cada partícula y del grado del contenido de humedad que posea, de acuerdo a estos parámetros al intervenir los agregados en el proceso de mezclado podrían aumentar o disminuir el contenido de agua de la mezcla, efecto que modificaría la relación a/c, afectando perjudicialmente las características del concreto para las que fue diseñado.

El ensayo de absorción es un proceso experimental que calcula el porcentaje de absorción, la diferencia de este valor con el porcentaje del contenido de humedad indica la corrección por agregados, adecuada para el contenido de agua de la mezcla con lo que se define la dosificación del agua.

(Referencia N° 8)

Las partículas de los agregados contienen poros internos, todos los agregados en general presentan porosidad en mayor o menor grado, es recomendable que en agregados para concretos menor de 3%, de los poros depende la capacidad de absorción de agua, así se encuentran clasificados en:

- Poros Cerrados: Se encuentran en el interior del agregado sin canales de conexión con la superficie, se podrían saturar con fluidos impulsados a presión.
- Poros Abiertos: Se encuentran en contacto con la superficie y son susceptibles a captar el agua o humedad del exterior, este fenómeno ocurre a diferentes velocidades, dependiendo de su tamaño y disposición.

Según el estado de absorción en el que se encuentran los poros de los agregados se les considera:

- Saturado Superficialmente Seco: Es cuando sus poros abiertos se llenan totalmente de agua con la superficie libre de humedad. Este estado es el ideal para el proceso de mezclado del concreto pues no pueden absorber ni ceder agua, este estado es el que se trata de conseguir por medio de la corrección de agua en el diseño de mezcla.
- Saturado Superficialmente Húmedo: Es cuando los poros abiertos se llenan totalmente de agua y la superficie se observa húmeda, en este estado el agregado aportaría agua a la mezcla.
- Parcialmente Seco: Las partículas del agregado pierden el agua que contienen por efecto del aire, en esta condición el agregado absorbería el agua de la mezcla.
- Secado al horno: Es cuando la muestra del agregado es secada artificialmente al horno por 24 horas, perdiendo toda el agua que contienen en sus poros abiertos.

Normas.-

Las normas respectivas definen la Absorción como:

La cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergida por 24 horas en esta, se expresa como porcentaje del peso.

Las normas que estandarizan los ensayos son:

- Ensayo de Absorción para el Agregado Grueso NTP 400.021, ASTM C-127
- Ensayo de Absorción para el Agregado Fino NTP 400.022, ASTM C-128

Ensayo de Absorción para el Agregado Grueso y Fino.-

(Referencia N° 6)

Se realiza conjuntamente con el ensayo de Peso Específico, sin embargo se describe el procedimiento aunque en la práctica se ensayen juntos.

- Equipo.-

Los aparatos utilizados son:

a) En el Agregado Grueso.-

- Balanza, con una capacidad de ± 0.1 gramos y con capacidad de 5 Kg.
- Estufa de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) En el Agregado Fino.-

- Balanza, con una capacidad de ± 0.1 gramos y con capacidad de 1 Kg.
- Frasco, de pirex de 500 c.c. de capacidad, calibrado hasta 0.10 c.c. a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Molde tronco cónico de metal de 40 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm de diámetro en la parte inferior, 75 mm de altura.
- Barra Compactadora: Barra de metal de 340 gramos ± 15 gramos de peso con un extremo de superficie plana o circular de $25\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$ de diámetro.
- Estufa de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Procedimiento.-

a) En el Agregado Grueso.-

- Se selecciona por el método del cuarteo más de 5 kg. del agregado que se desea ensayar rechazando todo el material que pase por la malla N° 4.
- Lavar toda la muestra para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas, luego cubrir la muestra con agua por 24 horas ± 4 horas para que al término se encuentre saturada.
- Transcurridas las 24 horas se seca la superficie de las partículas rodándolas por una franela teniendo el cuidado de no evaporar el agua, de esta manera la muestra se encuentra saturada superficialmente seca.
- Se pesa la muestra saturada superficialmente seca.
- Luego de pesarla se seca al horno por 24 horas.
- Se saca la muestra del horno, dejándose enfriar a temperatura ambiente de 1 a 3 horas y se pesa.
- Se calcula matemáticamente el porcentaje de absorción, restando el peso de la muestra saturada y el peso de la muestra secada al horno, dividiendo el resultado entre el peso de la muestra secada al horno.
- El resultado definitivo será el promedio de dos o más resultados de los ensayos que cumplan con las especificaciones descritas.

b) En el Agregado Fino. -

- Se selecciona por el método del cuarteo más de 1000 gramos del agregado fino.
- Lavar toda la muestra para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas, luego cubrir la muestra con agua por 24 horas \pm 4 horas para que al término se encuentre saturada.
- Luego de las 24 horas se extiende la muestra sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire removiéndose con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continúa esta operación hasta que los granos no se adhieran entre sí.
- Se cubre con las partículas de arena un molde cónico estandarizado, se golpea la superficie con 25 golpes suavemente con la barra de metal y se levanta el molde verticalmente.
- Si aún se encuentran en condición de saturadas superficialmente húmedas mantendrán la forma del cono, por lo que continuaremos exponiéndolas al aire hasta que se encuentren saturadas superficialmente secas.
- Si se encuentran saturadas superficialmente secas el cono se derrumbará parcialmente, lo que indicará que se encuentran listas para proceder a pesarse.
- Si se encuentran las partículas secas, el cono se derrumbará totalmente o en su mayoría debiéndose entonces añadir agua al agregado fino y revolver totalmente la muestra, se dejará reposar durante 30 minutos en un envase tapado para posteriormente repetir el proceso.
- Pesar una probeta de 500 centímetros cúbicos, luego de esto introducir 500 gramos de las partículas saturadas superficialmente secas, y volvemos a pesar.
- Se cubre con agua la muestra a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, luego se hace rodar el frasco sobre una superficie plana con el objetivo de eliminar todas las burbujas de aire, después de lo cuál se le deja reposar por una hora.
- Al término del período de reposo se completa con agua hasta el volumen de 500 centímetros cúbicos y se pesan con aproximación de 0.1 gramos.
- Se seca al horno por espacio de 24 horas.
- Se vuelve a pesar.

- Expresión de Resultados. -

Se ensayan dos o más muestras, los resultados no deben diferir en $\pm 0.1\%$, de no cumplirse con esta precisión los ensayos deberán realizarse nuevamente.

a) En el Agregado Grueso. -

Peso de la arena saturada superficialmente seca = B = 5000 gramos

Peso de la arena secada al horno = A

Porcentaje de Absorción = $(B-A)/A * 100$

b) En el Agregado Fino.-

Peso de la arena saturada superficialmente seca = B = 500 gramos

Peso de la arena secada al horno = A

Porcentaje de Absorción = $(B-A)/A*100$

Absorción de los Agregados para Concretos de Alta Resistencia.-

Se recomienda restringir el uso de los agregados con valores altos de absorción, debido a que las partículas de los agregados se presentan oxidadas, alteradas, con micro fisuraciones internas debido a la permeabilidad que presentan, para elaborar concretos de alta resistencia no es posible utilizar agregados con partículas debilitadas o de baja o mediana resistencia.

Ensayos Realizados en la Tesis.-

En la tesis aplicamos los ensayos de absorción a los agregados:

- Agregado Grueso.-

- Roca Diorita.
- Roca Cuarcita.

- Agregado Fino.-

- Arena Fina.
- Arena Gruesa.

TABLA N° 1.25 ENSAYO DE ABSORCION DE LOS AGREGADOS				
Agregados	Diorita	Cuarcita	Arena Gruesa	Arena Fina
%Absorción	0.67%	0.80%	0.70%	0.80%

1.4.6 PESO ESPECIFICO

Es la relación de la masa de las partículas del agregado y el volumen que ocupan dichas partículas en un volumen unitario excluyendo los espacios vacíos que pudieran haber entre ellos, por tal motivo se utiliza para el ensayo una aplicación del principio de Arquimides, conforme al Sistema Internacional de Unidades, adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo, además el peso específico es un indicador de calidad, en cambio valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es recomendable realizar pruebas adicionales.

Definiciones de Pesos Específicos y Fórmulas.-

– Peso Específico (densidad). -

En un volumen unitario medido a una temperatura estable en el aire, se halla la relación de la masa de las partículas (sólidas) y el volumen que ocupan los sólidos de dichas partículas, medido en agua destilada libre de gas.

– Peso Específico (densidad) Aparente. -

En un volumen unitario medido a una temperatura estable en el aire, se halla la relación de la masa de las partículas (sólidas) y el volumen que ocupan los sólidos de dichas partículas, comprendiendo solo la porción impermeable de las partículas, es decir considerando solo los poros cerrados no tomándose los poros abiertos ni el agua contenida en los poros abiertos.

- En el Agregado Grueso se expresa como:
$$P.E_{\text{aparente}} = \frac{A}{A-C}$$

- En el Agregado Fino se expresa como:
$$P.E_{\text{aparente}} = \frac{A}{V-C} = \frac{A}{500-C}$$

– Peso Específico (densidad) de Masa o Nominal:

En un volumen unitario medido a una temperatura estable en el aire, se halla la relación de la masa de las partículas (sólidas) y el volumen que ocupan los sólidos de dichas partículas, comprendiendo la porción permeable e impermeable de las partículas, es decir considerando los poros cerrados y abiertos.

En el Agregado Grueso se expresa como:
$$P.E_{\text{masa}} = \frac{A}{B-C}$$

En el Agregado Fino se expresa como:
$$P.E_{\text{masa}} = \frac{A}{(500-W)-(500-A)}$$

– Peso Específico (densidad) de Masa Saturado Superficialmente Seco:

Es casi lo mismo que peso específico de masa; en un volumen unitario medido a una temperatura estable en el aire, se halla la relación de la masa de las partículas (sólidas) y el volumen que ocupan los sólidos de dichas partículas, comprendiendo la porción permeable con el agua que contienen y la porción impermeable de las partículas, es decir considerando los poros cerrados y en los poros abiertos el agua que contienen.

En el Agregado Grueso se expresa como:
$$P.E_{s.s.s.} = \frac{B}{B-C}$$

En el Agregado Fino se expresa como:
$$P.E_{s.s.s.} = \frac{500}{V-W}$$

Donde: W = Volumen del agua añadida para completar el volumen de la probeta

V = Volumen de la probeta en cm³.

A = Peso en gramos de la muestra seca.

B = Peso en gramos de la muestra saturada superficialmente seca.

C = Peso en gramos de la muestra sumergida en agua.

Ensayo de Peso Específico para los Agregados Gruesos y Finos.-

En la práctica el procedimiento de ensayo es para obtener los resultados de peso específico y de absorción.

– Equipo.-

Los aparatos utilizados son:

a) En el Agregado Grueso.-

- Balanza, con una capacidad de ± 0.1 gramos y con capacidad de 5 Kg.
- Estufa de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) En el Agregado Fino.-

- Balanza, con una capacidad de ± 0.1 gramos y con capacidad de 1 Kg.
- Frasco, de pirex de 500 c.c. de capacidad, calibrado hasta 0.10 c.c. a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Molde tronco cónico de metal de 40 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm de diámetro en la parte inferior, 75 mm de altura.
- Barra Compactadora: Barra de metal de 340 gramos ± 15 gramos de peso con un extremo de superficie plana o circular de $25\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$ de diámetro.
- Estufa de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Procedimiento. -

a) En el Agregado Grueso. -

- Se selecciona por el método del cuarteo más de 5 kg. del agregado que se desea ensayar rechazando todo el material que pase por la malla N°4.
- Lavar toda la muestra para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas, luego cubrir la muestra con agua por 24 horas \pm 4 horas para que al término se encuentre saturada.
- Transcurridas las 24 horas se seca la superficie de las partículas rodándolas por una franela teniendo el cuidado de no evaporar el agua, de esta manera la muestra se encuentra saturada superficialmente seca.
- Se pesa 5000 g de la muestra saturada superficialmente seca con una aproximación de 0.5 g, y se anota este valor, siendo:
 $B = \text{Peso de la muestra saturada superficialmente seca} = 5000 \text{ g.}$
- Se coloca la muestra en una canasta de alambre con dimensiones aproximadas de 20 cm de diámetro y de 20 cm de altura provista de aberturas comprendidas entre 2mm. y 4 mm, se anota este valor, siendo:
 $E = \text{Peso de la Canastilla.}$
- Se determina su peso sumergido en agua a una temperatura entre 21 °C y 25 °C, se anota este valor, siendo:
 $D = \text{Peso de la muestra saturada dentro del agua} + E$
- Luego de pesarla se seca al horno por 24 horas a una temperatura de 110 °C.
- Se saca la muestra del horno, dejándose enfriar a temperatura ambiente de 1 a 3 horas y se pesa, se anota este valor, siendo:
 $A = \text{Peso de la muestra secada al horno.}$
- Se calcula con las fórmulas presentadas anteriormente.
- El resultado definitivo será el promedio de dos o más resultados de los ensayos que cumplan con las especificaciones descritas.

b) En el Agregado Fino. -

- Se selecciona por el método del cuarteo más de 1000 gramos del agregado fino.
- Lavar toda la muestra para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas, luego cubrir la muestra con agua por 24 horas \pm 4 horas para que al término se encuentre saturada.
- Luego de las 24 horas se extiende la muestra sobre una superficie plana expuesta a una corriente suave de aire removiéndose con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continúa esta operación hasta que los granos no se adhieran entre sí.
- Se cubre con las partículas de arena un molde cónico estandarizado, se golpea la superficie con 25 golpes suavemente con la barra de metal y se levanta el molde verticalmente.
- Si aún se encuentran en condición de saturadas superficialmente húmedas mantendrán la forma del cono, por lo que continuaremos exponiéndolas al aire hasta que se encuentren saturadas superficialmente secas.
- Si se encuentran saturadas superficialmente secas el cono se derrumbará parcialmente, lo que indicará que se encuentran listas para proceder a pesarse.

- Si se encuentran las partículas secas, el cono se derrumbará totalmente o en su mayoría debiéndose entonces añadir agua al agregado fino y revolver totalmente la muestra, se dejará reposar durante 30 minutos en un envase tapado para posteriormente repetir el proceso.

- Pesarse una probeta de 500 centímetros cúbicos, se anota este valor, siendo:

$$E = \text{Peso de la probeta.}$$

- Luego de esto introducir 500 gramos de las partículas saturadas superficialmente secas, y volvemos a pesar, se anota este valor, siendo:

$$C = 500 (P_{SSS}) + E (\text{Peso de la probeta})$$

- Se cubre con agua la muestra a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, luego se hace rodar el frasco sobre una superficie plana con el objetivo de eliminar todas las burbujas de aire, después de lo cual se le deja reposar por una hora.

- Al término del período de reposo se completa con agua hasta el volumen de 500 centímetros cúbicos y se pesan con aproximación de 0.1 gramos, se anota este valor, siendo:

$$D = 500 (P_{SSS}) + E (\text{Peso de la probeta}) + \text{Peso del Agua.}$$

- Se seca al horno por espacio de 24 horas, y se pesa, se anota este valor, siendo:

$$F = \text{Peso de la arena secada al horno} + \text{Peso del balón.}$$

- Expresión de Resultados.-

Se ensayan dos o más muestras, los resultados no deben diferir en $\pm 0.1\%$, de no cumplirse con esta precisión los ensayos deberán realizarse nuevamente.

- Resultados de los Ensayos Realizados.-

- En el Agregado Grueso:

TABLA N° 1.26 PESO ESPECIFICO DE LOS AGREGADOS				
Agregado	Diorita	Cuarcita	Arena Gruesa	Arena Fina
Peso Especifico de Masa	2.75	2.58	2.63	2.51

1.4.7 PESO UNITARIO

Es la relación medida en un volumen unitario, del peso de las partículas de los agregados dividido por el volumen que ocupan las partículas incluyendo los vacíos que se forman entre estas, es así que se encuentra el agregado en las condiciones de suelto y compactado.

(Referencia N° 3)

El peso volumétrico del agregado varía de acuerdo a condiciones intrínsecas, como la forma, granulometría y tamaño máximo. Asimismo, depende de factores externos como la relación del tamaño máximo con el volumen del recipiente, la consolidación impuesta, la forma de colocación, etc.

En consecuencia, para ser de utilidad, el ensayo de peso unitario debe ceñirse a los procedimientos descritos y las especificaciones indicadas en la norma, definiendo si la determinación corresponde al agregado suelto o compactado, según el procedimiento utilizado.

Clases de Peso Unitario.-

(Referencia N° 3)

El Peso Unitario se ensaya mediante un procedimiento de consolidación seleccionado de acuerdo al tamaño máximo del agregado. Tiene dos parámetros de medida usados.

- Peso Unitario Suelto.-

Es el peso del agregado que se encuentra en su forma natural, la condición de los vacíos es tal que no se ejerce ninguna presión externa sobre las partículas. Este dato es útil al momento de metrar el agregado y para el cálculo del volumen de los agregados para comercializarlos.

- Peso Unitario Compactado.-

Se emplea en agregados de tamaño nominal menor o igual a 50 mm. Se trata de eliminar los vacíos que contenga el material.

Métodos de Ensayo de Peso Unitario para los Agregados Gruesos y Finos.-

(Referencia N° 3)

Los métodos de ensayo para la determinación del peso unitario elegido según su consolidación son:

- Método de Apisonado:

Es aplicado para la determinación del peso unitario compactado. Se emplea en agregados de tamaño nominal menor o igual a 50 mm ó 2" pulgadas.

- Método de Vibrado:

Es aplicado para la determinación del peso unitario compactado, se utiliza en agregados de tamaño nominal comprendido entre 38 mm y 100 mm.

- Método con Pala:

Es aplicado para la determinación del peso unitario suelto, se aplica a agregados de tamaño nominal menor de 100mm.

Normas.-

Las normas a consultar son:

- ASTM C 29.
- N.T.P 400.017

Ensayo de Peso Unitario para los Agregados Gruesos y Finos.-

(Referencia N° 3)

Equipo Utilizado.-

- Una balanza que permita lecturas con exactitud de 0.1 % del peso de la muestra.
- Barra Compactadora, es una barra circular recta de acero de 16mm ó 5/8" de diámetro y aproximadamente 600 mm de largo, con un extremo redondeado en forma de punta semi - esférica.
- Los recipientes utilizados para el ensayo constan de un cilindro metálico de geometría normalizada de preferencia con asas, impermeable con tapa y fondo firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígido para mantener su forma en condiciones de trabajo duras.

Las dimensiones de los recipientes deben cumplir con la siguiente tabla.

TABLA N° 1.27 DIMENSIONES DE LOS RECIPIENTES DE PESO UNITARIO									
Dimensiones									
Tamaño máx.		Volumen.		Diámetro.		Altura Inferior		Espesor en mm.	
mm	pulg.	dm ³	p ³	mm.	pulg.	mm.	pulg.	Fondo	Pared
12.5	0.5"	3	1/10	155±2	6 "+0.1"	160±2	6.1"+0.1"	5	2.5
25	1"	10	1/3	205±2	8 "+0.1"	305±2	11.5 "+0.1"	5	2.5
40	1.5"	15	1/2	255±2	10 "+0.1"	295±2	11"+0.1"	5	3
100	4"	30	1	355±2	14 "+0.1"	305±2	11.2"+0.1"	5	3

Procedimiento.-

Método de Apisonado:

Este método se utiliza con agregados que tengan un tamaño máximo nominal menor o igual a 50 mm ó 2 pulgadas. El agregado se coloca en el recipiente correspondiente a tres capas de igual volumen aproximadamente, hasta colmarlo.

Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente en cada capa. Al apisonarla se aplica la fuerza necesaria para que la varilla atraviese solamente la capa respectiva.

Una vez colmado el recipiente se enrasa la superficie usando la varilla como regla y se determina la masa del recipiente lleno en kg y se divide entre el volumen del recipiente.

- Método de Vibrado:

Se utiliza en agregados de tamaño nominal comprendido entre 38 mm y 100 mm, el agregado se coloca en el recipiente, en tres capas de igual volumen aproximadamente hasta colmarlo.

Se coloca en el recipiente sobre una base firme y se inclina hasta que el borde opuesto al punto de apoyo diste unos 5 cm de la base, luego se le suelta, con lo que se produce un golpe seco y se repite operación inclinando el recipiente por el borde opuesto. Estos golpes alternados se ejecutan 25 veces de cada lado, de modo que el número total sea 50 para cada capa y 150 para todo el conjunto. Al término, se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase y se determina la masa en kg del recipiente lleno.

- Método con la Pala:

El peso unitario del agregado suelto se aplica para agregados de tamaño nominal menor o igual a 100mm. Se llena el recipiente por medio de una pala de modo que el agregado se descargue de una altura menor de 50 mm. por encima del borde hasta colmarlo. Se enrasa la superficie del agregado con una regla o con la mano de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase y se determina la masa en kg del recipiente lleno.

- Expresión de Resultados:

El agregado se coloca en el recipiente de una sola vez sin presión, se halla el peso del agregado y se divide entre el volumen del recipiente. Los resultados de los ensayos realizados con la misma muestra no deben diferir del 1%.

Resultados Materiales Ensayados en La Tesis:

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la tesis.

TABLA N° 1.28 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO				
Agregados	Diorita	Cuarcita	A. Gruesa	A. Fina
Peso Unitario Suelto P.U.S	1575	1479	1638	1402
Peso Unitario Compactado P.U.C	1659	1657	1798	1604

1.4.8 ANALISIS PETROGRAFICO DE LOS AGREGADOS

El análisis petrográfico proporciona una descripción panorámica de las características de los agregados, se realizan estos ensayos en el laboratorio donde los ingenieros geólogos determinan las propiedades físicas y la composición de los minerales principales de los agregados.

Norma.-

La norma es Practica Normalizada para el examen petrográfico de agregados para hormigón. ASTM C 295

Análisis Petrográfico realizado en la Tesis.-

Se realizó el análisis petrográfico a los agregados gruesos y finos usados en la tesis.

TABLA Nº 1.29 ANALISIS PETROGRAFICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS		
PROVIENEN DE ROCAS:	DIORITA CUARCIFERA	CUARCITA
PROCEDENCIA	CAUCE DEL RIO	CAUCE DEL RIO
CLASE DE ROCA	IGNEA	METAMORFICA
<u>MINERALES PRINCIPALES:</u>		
	BIOXIDO DE SILICIO 52% al 66%	CUARZO 60% al 95%
	PLAGIOCLASAS (Andesina, Oligoclasas)	MAGNETITA
	HORNBLENDA	ILMENITA
	BIOTITA	RUTILO
		ESFENA
<u>MINERALES SECUNDARIOS:</u>		
	APATITO	SERICITA
	ZIRCON	CLORITA
	MAGNETITA	LEUCOXENO
		LIMONITA
<u>PROPIEDADES FISICAS:</u>		
a) TEXTURA	FANERITICA	EQUIGRANULAR
b) ESTRUCTURA	COMPACTA	COMPACTA
c) TAMAÑO DE GRANO	FINA	MEDIA A GRUESA
d) REACCION AL HCL	NO EFERVECE	NO EFERVECE
e) FRACTURA	IRREGULAR	IRREGULAR
f) COLOR	GRIS OSCURO	BLANCO AMARILLENTO
g) INDICE DE COLOR	MAYOR DE 10 %, MENOR DE 40 %	
h) YACIMIENTO		POR METAMORFISMO
i) DUREZA	5	7
j) PESO ESPECIFICO	2.75	2.58
k) INDICE DE REFRACCION	1.54	

- Análisis Petrográfico a los agregados finos.-

Se presenta el cuadro con los resultados del análisis petrográfico.

TABLA N° 1.30 ANALISIS PETROGRAFICO DE LOS AGREGADOS FINOS		
NOMBRE DE LA ARENA	ARENA GRUESA	ARENA FINA
CANTERA	MANCHAY	CAUCE DEL RIO CHANCAY
MICROSCOPIO PETROGRAFICO	ZEISS CARLD GERMANY	ZEISS CARLD GERMANY
CLASIFICACION SUCS	S M	S M
TIPO DE ARENA	DE POCO TRANSPORTE	ARENA LIMOSA TRANSPORTADA
<u>PARTICULAS ROCOSAS PRINCIPALES:</u>		
	CUARZO	CUARZO
	ARENISCA CUARZOSA	ARENISCA CUARZOSA
	SILICE	SILICE
	GRANODIORITA	GRANODIORITA
		GRANTO BLANCO
<u>PARTICULAS ROCOSAS SECUNDARIAS:</u>		
	DIORITA	DIORITA
	GABRO	GABRO
	GRANTO BLANCO	FILITA
		MICA (BIOTTA)
<u>PROPIEDADES FISICAS:</u>		
a) GRADO METEORIZACION	LIGERAMENTE METEORIZADO	MODERADAMENTE METEORIZADA
b) GRADO DE ALTERACION	LIGERAMENTE ALTERADO	LIGERAMENTE ALTERADO
c) HUMEDAD NATURAL	SECO	LIGERAMENTE HUMEDO-SECO
d) LIMITE PLASTICO	NO PLASTICO	NO PLASTICO
e) COMPASIDAD	SUELTA	SUELTA
f) COHESION	NO TIENE (CERO)	NO TIENE (CERO)
g) TEXTURA	GRANULAR A MICROGRANULAR	MICROGRANULAR
h) ESTRUCTURA	COMPACTA EN MAY. PORCENTAJE	COMPACTA EN MAY. PORCENTAJE
I) DUREZA	5-7 EN MAYOR PORCENTAJE	2-7 EN MAYOR PORCENTAJE
J) REACCION AL HCL	NO EFERVECE	NO EFERVECE
k) FORMA de las PARTICULAS ROCOSAS	ANGULOSO A SUB-REDONDEADO	REDONDEADO A SUB-REDONDEADO
l) COLOR	GRIS OSCURO A BEIGE CLARO	BEIGE OSCURO

1.5 ADITIVOS PARA CONCRETO

1.5.1 ADITIVOS

Los aditivos son sustancias químicas las que añadidas a la mezcla del concreto o mortero, modifican, mejoran o incrementan las propiedades físicas seleccionadas tanto en estado fresco como endurecido.

Los aditivos están agrupados en diversos tipos, cada uno cumple con una función determinada, la elección del mismo es de acuerdo al requerimiento de la obra.

El obtener resultados óptimos depende de varios factores debido a que cada mezcla es muy particular pues se realiza en diferentes condiciones algunas de ellas son: El clima, la temperatura, el uso de cualquiera de los distintos tipos de cemento, en ocasiones se utilizan dos aditivos además de requerirse diferentes propiedades por todo ello ocurren variaciones en el tiempo de mezclado y en el momento de adición del aditivo.

Siguiendo estas consideraciones es recomendable preparar varias mezclas de prueba hasta encontrar una apropiada dosificación y la aplicación del aditivo en el momento adecuado del mezclado, con estos dos criterios se podrán asegurar óptimos resultados.

Clasificación.-

Los aditivos se clasifican según su origen como:

– **Aditivos Químicos.-**

La mayoría son sustancias químicas, excepto los incorporadores de aire, son de procedencia química, mineral ó mezclas de otros compuestos, son distribuidos como sustancias solubles.

– **Aditivos Físicos.-**

Este tipo de aditivo no es reactivo y está compuesto por partículas muy finas como los coloides.

Modo de Aplicación.-

El modo de aplicación tiene mucha influencia en el buen resultado de la mezcla, es recomendable seguir las especificaciones del fabricante y comprobarlas con mezclas de pruebas pues las condiciones de clima temperatura, naturaleza de los agregados, tipo de cemento pueden variar y por lo tanto necesitar algún pequeño ajuste, de acuerdo a observaciones en el comportamiento de la mezcla se presentan los siguientes criterios para el modo de aplicación de los aditivos:

- Incorporando el aditivo al inicio del mezclado: Los resultados son satisfactorios.
- Incorporando el aditivo en el agua de mezclado: Los resultados son óptimos.
- Se puede añadir el aditivo sobre cualquier parte del concreto excepto sobre el cemento, a menos que así lo especifique el fabricante.
- No deberá añadirse sobre el cemento seco.
- Mezclese el concreto a las revoluciones indicadas por el fabricante.
- Si se emplean dos o más aditivos es preferible se añadan independientemente, no se mezclan los aditivos entre sí y es recomendable incorporarlos en diferentes intervalos de tiempo así como incrementar el tiempo de mezclado.

Compatibilidad.-

Los aditivos presentan compatibilidad con diversos productos, generalmente los retardantes de fragua, reductores de agua, aceleradores de fragua e incorporadores de aire son compatibles con los superplastificantes. Los usualmente utilizados y compatibles entre sí son:

- Agentes inclusores de aire.
- Aditivos de diferentes grupos.
- Los diferentes tipos de cementos.
- Cloruros de Calcio.
- Materiales cementicios: Slug, Fly Ash, Silica Fume, u otros.
- Tipos de fibras.
- Polímeros.

En la mayoría de los casos los efectos resultantes son complementarios sin embargo es recomendable la evaluación de cada combinación de aditivos, preparando mezclas de prueba para verificar la compatibilidad entre los aditivos y los cementos o las cenizas a utilizarse y comprobar el resultado satisfactorio de las propiedades físicas que se desean modificar.

Descripción General de los Aditivos.-

- Color: Claro u oscuro.
- Viscosidad: Baja o moderada (10 - 150 cp)
- Densidad: 1.05 a 1.35 g/cc.
- PH: Neutral o Alcalino.
- Suceptibilidad: En algunos casos al congelamiento, excepto se indique lo contrario.
- Presentación: Soluciones acuosas.
Polvos solubles en agua.
Eventualmente en pasta.

Modo de Acción.-

Se presentan de manera general la secuencia de interacciones de las moléculas de los aditivos con los compuestos de los diferentes tipos del cemento.

a) Micro-estructura.-

En presencia de los aditivos, los productos de hidratación pueden formar un gel que recubre la superficie de los compuestos del cemento C_3A y C_3S

En general los hidratos formados con presencia de los aditivos, cuentan con partículas más finas, una estructura más densa, más compacta, y al parecer menos porosa que si se encontraran sin el aditivo.

b) Absorción.-

Las moléculas de los aditivos interactúan con el cemento cuando se encuentran en sus fases C-A-H y C-S-H, en el momento en que se forman los compuestos C_3A y C_3S , los aditivos intervienen en forma de gel envolviendo la superficie de los compuestos siendo absorbidos por ellos, dicha conclusión está basada en exploraciones electrónicas microscópicas y radiografías electrónicas.

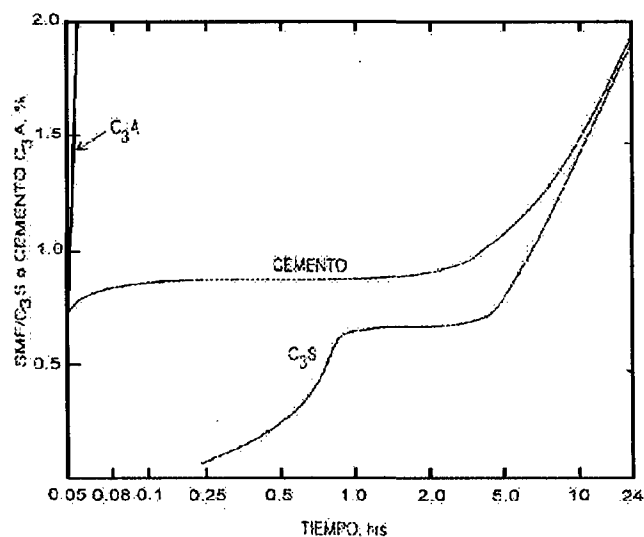
Los ensayos de absorción del aditivo se hacen mediante el método espectrofotométrico, el cual mide la concentración del aditivo en la solución con unidades de longitud de onda. Otro método es medir la cantidad del aditivo no absorbido en la solución conociendo la cantidad de aditivo añadida se obtiene por diferencia la cantidad del aditivo absorbida.

El valor de la absorción es directamente proporcional a la cantidad del aditivo absorbido.

- Absorción del compuesto C_3A : El contenido del C_3A es aproximadamente del 10% de la cantidad de cemento, este compuesto tiene una capacidad de absorción del aditivo muy alta que resulta en cantidades importantes y acciona pocos segundos después del contacto de las partículas de cemento con el agua.

Luego de estas reacciones iniciales no ocurre nada hasta que actúa:

- Absorción del compuesto C_3S : Estos compuestos también se desarrollan en partículas muy pequeñas entrampadas a las cuales los aditivos dispersan. Los experimentos muestran que en la primera hora ocurre una absorción reducida y posteriormente ocurre en una cantidad significativa.
- Desabsorción: Los experimentos medida de la desabsorción indican que el aditivo es irreversiblemente absorbido.

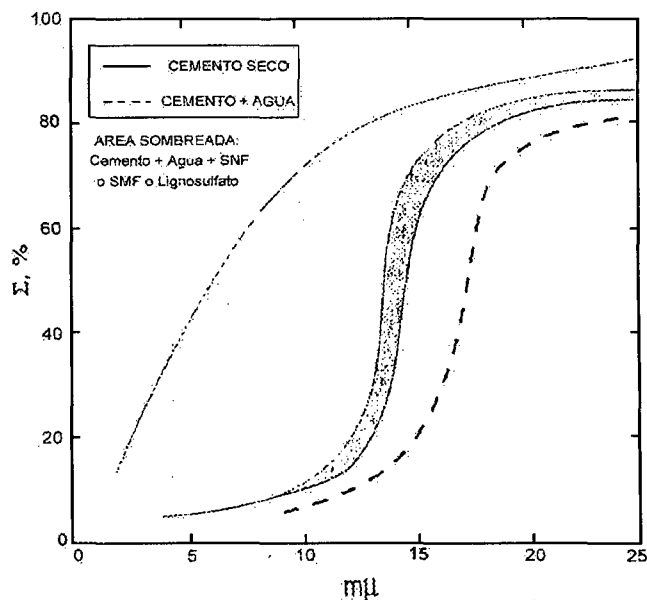


GRAFICA N° 1.1

c) Dispersión.-

Las partículas de cemento en estado seco son muy finas y presentan una distribución uniforme, dichas partículas al contacto con el agua forman grumos (floculaciones) en cantidades predominantes perdiéndose de esta manera la finura inicial del cemento, se continúan desarrollando fuerzas de atracción que con el tiempo forman un cuerpo rígido, en cambio en una solución acuosa con aditivo las fuerzas de atracción son neutralizadas debido a que los compuestos de C_3A y C_3S del cemento absorben el aditivo de naturaleza aniónica formándose por consiguiente aniones, estas cargas negativas por la acción de repulsión electrostática entre sí dispersan los grumos en pequeños grupos de partículas no tan pequeños como en su estado seco sin embargo es una distribución ventajosa con respecto a la resultante cuando son hidratadas solo con agua.

En síntesis la dispersión se produce por la repulsión electrostática entre los aniones formados.



GRAFICA N° 1.2

d) Potencial Zeta.-

El potencial zeta es desarrollado en la mezcla cuando se utilizan los aditivos de los tipos A, D, E, F, G.

El potencial zeta o potencial electro-cinético es la medida de la diferencia de potencial de la capa exterior de absorción y el volumen del medio dispersivo provocado por los aditivos.

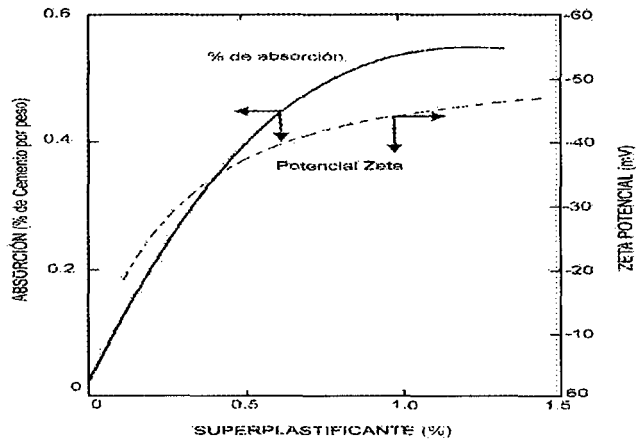
El gradiente de potencial es alto dentro de la distancia de un ión en la fase dispersada, en cambio en un medio dispersivo el gradiente de potencial es muy bajo llegando a cambiar de signo, el potencial llevará el signo de los primeros iones absorbidos los cuales están estrechamente unidos.

El valor del potencial zeta es directamente proporcional a la cantidad de aditivo absorbido así mismo a mayor desarrollo del potencial zeta mayor será la estabilidad del sistema.

e) Peso Molecular.-

El peso molecular del dispersante, esta relacionado con la reducción de la tensión superficial del agua en la mezcla pero a la vez incorpora aire, en caso de un peso molecular muy bajo la cantidad de aire incorporado puede ser perjudicial por lo que son usados los de alto valor, en algunos casos en que es necesario mantener un peso molecular bajo se corrige utilizando un polimero de alto peso molecular.

En un estudio de su efecto se utilizó poliestireno de sodio en el rango de 4000 a 70000, se observó que el potencial zeta es directamente proporcional al peso molecular del aditivo, sin embargo la capacidad de absorción puede no estar relacionada.



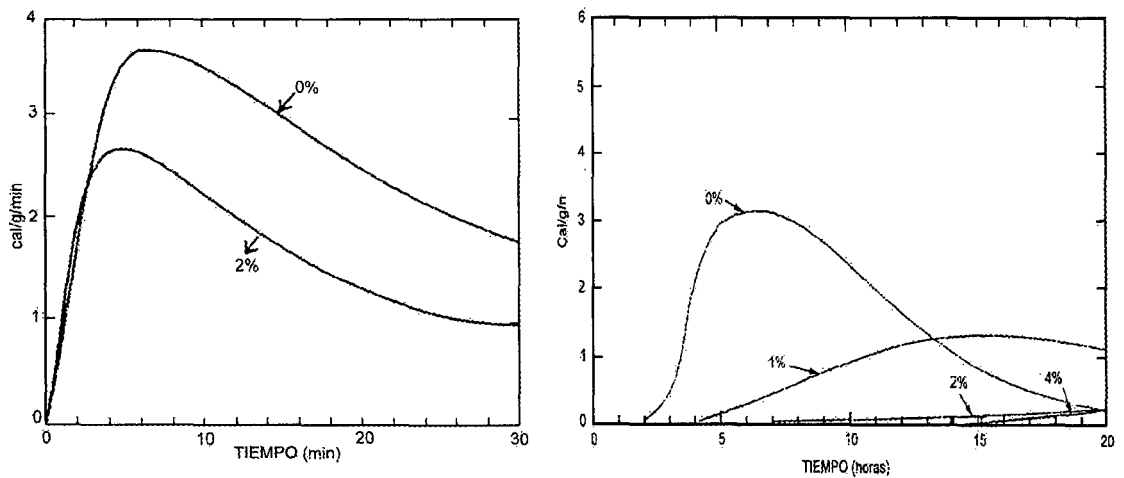
GRAFICA N° 1.3

f) Hidratación.-

La hidratación del cemento y sus componentes pueden ser modificados por los aditivos, se pueden alterar de esta manera las características de fraguado y trabajabilidad de las mezclas.

Cuando se mezcla cemento con agua el calor se desarrolla rápidamente, el valor máximo es logrado entre 8 y 9 minutos, en las curvas de conducción calorimetrica, el valor máximo ocurre aproximadamente en 5 horas, los aditivos tienen la capacidad de modificar este valor máximo y el tiempo de desarrollo.

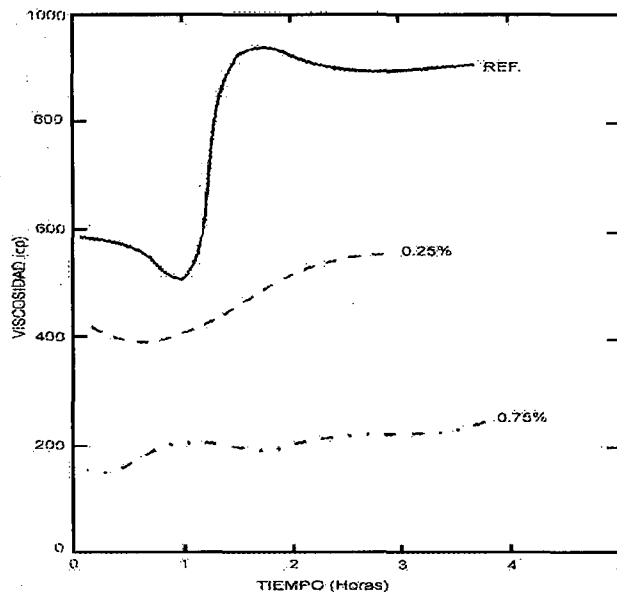
La formación de etringita en el cemento puede ser acelerada o retardada dependiendo de la cantidad de sulfato alcalino en el cemento, la relación CaO/SiO₂ del producto C-S-H en el cemento hidrtado también es afectada.



g) Viscosidad.-

El coeficiente de viscosidad de la mezcla esta relacionado inversamente proporcional con la cohesión y la plasticidad, si disminuimos su valor aumenta la plasticidad y por consiguiente la trabajabilidad.

Los aditivos realizan esta función en diferente magnitud de acuerdo al tipo al que pertenecen y a sus componentes siendo así que algunos pueden dosificarse en altas cantidades resultando altos valores de asentamiento.



GRAFICA N° 1.6

Normas para los Aditivos.-

Las normas que reglamentan a los aditivos son las ASTM American Society for Testing and Materials. Se muestra en la tabla N° 48 los requisitos físicos de las normas ASTM C-494.

- ASTM C-260 : Especificaciones estandarizadas para incorporadores de aire.
- ASTM C-494 : Especificaciones estandarizadas para aditivos químicos.
- ASTM C-1017 : Especificaciones estandarizadas, aditivos para Concreto Fluído.

Las normas ASTM clasifica a los aditivos químicos en los siguientes tipos:

- Tipo A: Reductor de Agua.
- Tipo B: Retardador de Fragua.
- Tipo C: Acelerantes de Fragua.
- Tipo D: Reductores de Agua y Retardadores de Fraguado.
- Tipo E: Reductores de Agua y Aceleradores de Fraguado.
- Tipo F: Reductores de Agua de Alto Rango.
- Tipo G: Reductor de Agua de Alto Rango y Retardador de Fragua.

Tipo A: Reductores de Agua

Este grupo de aditivos tiene la capacidad de reducir el requerimiento de agua de mezclado del 5% al 15%, para el mismo slump de diseño, son conocidos como plastificantes.

- Composición.- Están basados en:
 - Lignosulfonatos : 0.1% al 0.3% . ,
 - Compuestos Principales : Sulfato de Calcio (todo), Sales de Na y Ca.
 - Componentes Secundarios: Triethanolamina, Jarabe de maíz, Sacarosa, Cloruro de Calcio, Nitrato de Calcio.
 - Componentes Menores : Antimicrobiales.
 - Carbohidratos Procesados.
 - Acidos Hidroxicarboxílicos.
 - Condensado de ácido sulfónico naftaleno

- Modo de Acción.-
 - Absorción : Dirigida a las partículas de cemento mediante enlace iónico.
 - Electrostatica : Repulsión, Dispersión, Defloculación.
 - Potencial Zeta : Se hace más negativo.
 - Peso Molecular : Alto.
 - Electrolito : Polianiónico, presenta una alta densidad de carga.

- Ventajas en el Mortero y Concreto.-
 - En concreto Fresco:
 - Desarrolla rápidamente la resistencia.
 - Es capaz de reducir el contenido de cemento a un mismo slump de diseño.
 - Incrementa el tiempo de trabajabilidad.
 - Mejora la trabajabilidad y plasticidad.
 - Facilita el bombeo.
 - Mejora el acabado e incrementa la durabilidad.
 - Disminuye la segregación y exudación.
 - Controla el calor de hidratación.
 - Reduce los requerimientos de agua.
 - Acelera o retarda el tiempo de colocación.
 - Reduce el slump y la viscosidad a un mismo contenido de agua.
 - En concreto Endurecido:
 - Incrementa la resistencia a la compresión y flexión.
 - Incrementa la consistencia y reduce la permeabilidad.
 - Incrementa la durabilidad frente al ciclo de hielo y deshielo.
 - Reduce el agrietamiento.
 - Atrasa en aproximadamente 20 minutos los tiempos de fragua inicial y final, con respecto al concreto simple.

- Aplicaciones Principales.-
 - Losas de concreto.
 - Pre-mezclado en general.
 - Concreto Arquitectónico.

Tipo B: Retardadores de Fraguado

Este grupo de aditivos tiene la capacidad de reatrdar el tiempo de fraguado, prolongan el tiempo del inicio y final de la fragua incrementando el tiempo de trabajabilidad de la mezcla. Son aplicados en climas cálidos y para transportar concretos a distancias lejanas.

- Composición. -

- Sacarosa, melazas, jarabe de maíz, gluconato de Na, citrato de Na, fosfatos, boratos.

- Modo de Acción. -

- Electroestática: Presenta repulsión electrostática.
- Actúa en los compuestos del cemento C3A y C3S, en el momento de la hidratación.
- Absorción: Muestra una alta afinidad con el C3A, compuesto muy absorbente del aditivo.
- Va uniendo el carboxil, sulfonatos y grupos hidróxilos.
- Disminuye la velocidad de disolución de cationes y aniones del cemento (ej: aluminatos)
- Forma barreras de baja permeabilidad.
- Retarda la formación de lazos.
- Une los iones de calcio complejos con los aniones de aluminato.
- Retarda el ataque de la precipitación del hidróxido de calcio.
- Es irreversible removerlo de la solución.

- Ventajas en el Mortero y Concreto . -

- Es recomendable en climas cálidos.
- Es usado en las plantas de pre mezclado por que permite el transporte de la mezcla a grandes distancias.
- Retarda el tiempo de fragua inicial y final.
- Retarda las ganancias de resistencias a las edades iniciales sin embargo incrementa los últimos esfuerzos.
- Reduce la pérdida de resistencias a edades tardías.
- Reduce la pérdida del slump.
- Reduce el calor de hidratación.
- Es recomendable en vaciados masivos pues reduce el proceso exotérmico.
- Se puede combinar con otros aditivos como:
 - Reductores de Agua: Incrementa las últimas edades.
 - Acelerantes: Incrementa los esfuerzos.
 - Superplastificantes: Reduce la pérdida de los slumps.

- Algunas Desventajas. -

Incompatibilidad de cementos, puede presentar un falso fraguado en la superficie cuando se combina con cementos con alto contenido de sulfatos.

Excesiva cantidad de aditivo puede retardar mucho la formación de los compuestos del cemento C₂S y C₃S. Puede retrasar gravemente la fragua inicial cuando se le combina con cementos de bajo contenido de sulfatos.

Tipo C: Acelerantes de Fragua

Este grupo de aditivos tiene la facultad de desarrollar rápidamente la resistencia del concreto en un rango del 30% al 100% en las primeras edades.

- Composición.-

- Cloruro de calcio: Contenido del 0.5% al 2%, este componente es el que le permite ganar las mayores resistencias a edades muy tempranas sin embargo puede afectar a la corrosión del acero.
- Nitrato de calcio: Es un inhibidor para la corrosión, no es usado en aditivos con contenido de cloruros.
- Triethanolamine: Contenido menor de 0.05%, se usa en pequeñas cantidades para incrementar tempranamente el desarrollo de resistencias debido a que acelera la hidratación del C3A, en altas concentraciones retarda el desarrollo del C3S y C2S.
- Thiocyanate de Sodio: Contenido del 0.10%, incrementa el desarrollo de los esfuerzos iniciales, no es usado en aditivos con contenido de cloruros.
- Hidroxilos de alcalís, carbonatos, silicatos y aluminatos.

- Modo de Acción.-

- Acelera los tiempos inicial y final de fragua.
- Los compuestos inorgánicos aceleran la formación de C3A, como los iones Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, SO₄⁻, OH⁻
- Los compuestos orgánicos aceleran la formación del C3A, retardando la formación del C3S.
- Incrementa la velocidad de disolución de cationes y aniones como los aluminatos, silicatos, en los poros de agua.
- Efecto Osmótico:
- Pequeños radios de aniones de Cl⁻, difundidos a través del gel de tobermorita a la zona de hidratación.
- La difusión del agua es incrementada.
- El Ca (OH)₂, precipita tempranamente y la velocidad de reacción del C3S es incrementada.
- Incrementa el grado de hidratación.
- La porosidad comparada con la porosidad del cemento sin aditivo. Composición de los hidratos: Gel de tobermorita tiene un alto contenido de relación cal/silice.

- Ventajas en el Mortero y Concreto.-

Es recomendable en climas muy fríos, se han registrado aditivos que funcionan para temperaturas de -15 °C a 16 °C, intervalo apto para preparar concreto pues acelera el fraguado al inicio y final, de esta manera previene el congelamiento del concreto antes de terminar de colocarlo.

- En el Concreto Fresco:
- El calor de hidratación es incrementado: 30% en los primeros 3 días, a las edades finales es del mismo valor que el concreto simple.
- Incrementa ligeramente la trabajabilidad, reduce el sangrado.
- Se usa en aplicaciones con el shotcrete.

- En el Concreto Endurecido:
 - Son ganadas resistencias iniciales a 1, 3 y 7 días, a los 7 días se puede obtener la resistencia de los 28 días, a veces las resistencias en las últimas edades decrecen un poco.
 - La resistencia a la flexión decrece a los 28 días.
 - Incrementa el encogimiento.
 - Densifica y reduce la permeabilidad.
 - Presenta resistencia a los ciclos de hielo y deshielo.
 - Provee altas resistencias a edades tempranas para un rápido desencofrado.
 - No permite atrasos de trabajo por temperaturas frías.
 - Minimiza la exudación y segregación.
- Precauciones. -
 - Si presentara un alto contenido de cloruro de calcio:
 - No es recomendable en concreto pretensado.
 - No es recomendable en estructuras con un alto contenido de acero.
 - Reduce la resistencia a los sulfatos.
 - Retarda la hidratación del aluminio-ferrito tetracálcico.
 - Mantenerse en lo posible sobre el punto de congelamiento algunos no se deben congelar otros en cambio no se dañan si se siguen las indicaciones del fabricante del modo de descongelarlo.

Tipo D: Reductor de Agua y Retardante

Este grupo de aditivos presenta ambas características, de reductor de agua y de retardante, pueden ser formulados con cloruros y sin cloruros.

Composición. -

- Sales de ácido lignosulfónico modificado, químicamente diferente al tipo A.
- Pueden presentarse libres de iones cloruros.

Ventajas en el concreto y mortero. -

En Concreto Fresco:

- Mezclas más plásticas y cohesivas en el concreto fresco.
- Mayor durabilidad.

En Concreto Endurecido:

- Reduce la Contracción y la permeabilidad.
- Aumenta la resistencia a la compresión y tracción.

Aplicaciones Principales. -

- Concreto pre-mezclado.
- Concreto pre-tensado, si en su formulación no hay cloruros.
- Concreto pre-fabricado.
- Concreto ligero.
- Concreto Expansivo.
- Permite el transporte a grandes distancias o en medio de un tránsito intenso.

Tipo E: Reductor de Agua y Acelerante

Este grupo de aditivos tiene la capacidad de realizar las dos acciones a la vez. Reducen la cantidad de agua requerida por el diseño para el mezclado y acelera el fraguado, además mejora la consistencia, y desarrolla rápidamente la resistencia inicial.

Puede contener o no cloruros de calcio, iones de cloruro adicionales.

- Ventajas en el concreto o mortero.-
- Mejora significativamente el fraguado y el endurecimiento a edades tempranas.
- Mejora la trabajabilidad.
- Produce un concreto más denso.
- Minimiza la exudación y la segregación.

- Aplicaciones Principales.-
- Colocación del concreto en climas fríos.
- Concreto estructural y convencional.
- Concreto pre-tensado.
- Desarrolla rápidamente resistencias a edades tempranas.
- Disminuye horas extras de trabajo pues permite realizar el acabado el mismo día.
- Aumenta la protección del refuerzo en el concreto.
- Cubiertas galvanizadas, pisos con metal embebido, concreto reforzado en ambientes húmedos y/o expuestos a sales descongelantes de cloruro.
- Permite el vaceado a temperaturas menores de -10 °C.
- Colocación de concreto estructural.
- Bloques de concreto.
- Tubos de concreto.
- Elementos pre-fabricados.
- Resistencia al ciclo de hielo y deshielo.

Tipo F: Super Plastificantes, Alta Reducción de Agua

Este grupo de aditivos tiene la capacidad de reducir del 15% al 30% el contenido de agua requerido para la mezcla, son químicamente diferentes a los reductores de agua normales, se les conoce como super reductores de agua de alto rango.

- Clasificación.-
- Se clasifican en cuatro grupos, nombrados:

- Formaldehido Melanina Sulfonato Condensado SMF:
- Se presentan en polvo o líquido (30% al 34% de sólidos).
- Contienen sales de sodio.
- Peso molecular: $\cong 30000$.

- Formaldehido Naftaleno Sulfonato Condensado SNF:
 - Se presentan en polvo o líquido (40% al 42% de sólidos).
 - Contienen sales de sodio y calcio.
 - Peso Molecular: Varía entre pocos cientos a 100 000.

- Lignosulfonatos modificados MLS:
 - Presentan ultra filtración.
 - Otros que incluyen sulfonatos policíclicos, compuestos poliaromáticos, esterres carbohidratos, etc.
 - Componentes Secundarios:
Sodio, Calcio, Lignosulfonato, gluconato de sodio, heptonato, Triethanolamina, Nitrato de Calcio, Thiocyanate de Sodio.

- Modo de Acción.-
 - Electrolito : Polianico, moléculas lineales.
 - Peso molecular : Alto.
 - Absorción : Sobre los componentes del cemento.
 - Zeta potencial : Negativo.
 - Electrostatica : Repulsión por cargas negativas produciendo dispersión.

- Ventajas en el Concreto o Mortero.-
 - Reduce del 15% al 30% el contenido de agua incrementando la resistencia y el slump.
 - Reduce del 20% al 30% el contenido de cemento sin cambiar la relación a/c.
 - Produce concretos fluidos con slumps de 7 pulgadas a 10 pulgadas, sin reducir el contenido de agua ni del cemento solo aumenta la trabajabilidad.
 - Incrementa la viscosidad para un slump fijo.
 - Incrementa significativamente los esfuerzos de compresión, tensión y flexión.
 - Proporciona resistencia y durabilidad a los ciclos de hielo y deshielo.
 - Permite elaborar concretos con una relación baja de a/c.
 - Produce concreto con contenido mínimo de agua.
 - Produce concreto con alto comportamiento.
 - Produce concreto de Alta Resistencia.
 - Produce concreto pre-mezclado.
 - Produce concreto fuertemente reforzado.
 - Produce concreto para losas y concreto masivo.
 - Produce concreto con resistencias más altas que las normales.
 - Facilita la colocación, reduciendo el tiempo empleado en la mano de obra.

Tipo G: Reductores de Agua de Alto Rango y Retardantes

Este grupo de aditivos tienen la capacidad de producir concretos de una alta calidad por la capacidad de reducción de agua con la que cuentan, un slump muy alto además de alargar el tiempo de trabajabilidad por el efecto retardante con el que cuentan, son recomendados a temperaturas muy altas hasta de 54 °C. Pueden contener o no cloruros en su formulación.

- Ventajas en el concreto o mortero. -

- Produce concreto fluido con un intervalo controlado de pérdida de asentamiento y trabajabilidad.
- Reduce significativamente la demanda de agua, pueden ser logradas reducciones de agua mayores al 30%.
- Produce concretos con relaciones a/c muy bajas como 0.28, siendo colocadas satisfactoriamente.
- Reduce la segregación y exudado en el concreto plástico.
- Reduce fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.
- Produce un concreto homogéneo y plástico.
- Produce concretos más impermeables pues aumenta la densidad.
- Demora la carbonización del concreto.
- Mejora el acabado de las superficies.
- Reduce las contracciones.

- Aplicaciones Principales. -

- Concreto con alta congestión de refuerzo.
- Concreto de Alto Comportamiento.
- Concreto Reforzado.
- Concreto de Alta Resistencia.
- Losas industriales.
- Concreto ligero.
- Concreto pre-tensado.
- Estructuras de estacionamiento.
- Concreto a prueba de agua, con baja permeabilidad.
- Concreto pre-fabricado.
- Concreto Bombeable.

TABLAN° 1.31 REQUISITOS FISICOS DE LOS ADITIVOS

ASTMC - 494

Propiedades de los Aditivos	Reductor de Agua	Retardador de Fragua	Acelerador de Fragua	Reductor + Retardador	Reductor + Acelerador	Reductor de Alto	Reduc. de Rango+Retard
Parámetros	Tipo A	Tipo B	tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
Máx. % de control de contenido de Agua	95%	0%	0%	95%	95%	88%	88%
Tiempo de fraguado							
Inicial: Al menos		1.0 desp.	1.00 antes	1.0 despues	1.00 antes		1.0 despues
No Mayor	1.00 antes ni 1.30 desp.	3.30 desp.	3.30 antes	3.30 despues	3.30 despues	1.00 antes ni 1.30 desp.	3.30 despues
Final: Al menos					1.00 antes		
No mayor	1.00 antes ni 1.30 desp.	3.30 tarde	1.00 antes	3.30 despues		1.00 antes ni 1.30 desp.	3.30 despues
Esfuerzo de Compresión							
Porcentaje de Control							Mínimo
1 día	-	-	-	-	-	140%	125%
3 días	110%	90%	125%	110%	125%	125%	125%
7 días	110%	90%	100%	110%	110%	115%	115%
28 días	110%	90%	100%	110%	110%	110%	110%
6 meses	100%	90%	90%	100%	100%	100%	100%
1 año	100%	90%	90%	100%	100%	100%	100%
Esfuerzo de Flexión							
Porcentaje de Control							Mínimo
3 días	100%	90%	110%	100%	110%	110%	110%
7 días	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%
28 días	100%	90%	90%	100%	100%	100%	100%
Cambio de Longitud							
Acortamiento							Máximo
Porcentaje de Control (concreto normal)	135%	135%	135%	135%	135%	135%	135%
Aumento respecto al concreto normal	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Factor de relativa durabilidad							
Mínimo Factor	80	80	80	80	80	80	80

Aditivos Utilizados en la Tesis

Se utilizaron los siguientes aditivos retardadores de fragua y super reductores de agua:

- EUCON 537
- SIKAMENT 10

- Aditivo EUCON 537:

Aditivo reductor de agua de alto rango formulado específicamente para prolongar el tiempo de trabajabilidad del concreto fluido a temperaturas hasta de 54 ° C.

a) Características del aditivo. -

- Produce concreto fluido con un intervalo controlado de pérdida de revenimiento y trabajabilidad:
 - Hasta por seis horas a una temperatura de 22 °C.
 - Hasta por tres horas a una temperatura de 49 °C.
 - En la investigación se trabajó a una temperatura de 29 °C y se obtuvo la pérdida gradual del asentamiento a partir de las cuatro horas.
- Reduce en gran medida la demanda de agua.
- Reduce la segregación y exudado del concreto plástico.
- Reduce fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.
- Cuando se utiliza para producir concreto fluido, se reduce significativamente el tiempo y costo de colocación.
- Incrementa la resistencia a la compresión:
 - Resultados típicos de concreto:
Edad:

1 día	hasta un 140 %
3 días	140 – 160 %
7 días	130 – 150 %
28 días	125 – 135 %
- Resultados en la tesis: Se redujo la cantidad necesaria para otorgarle trabajabilidad de 3 pulgadas a la mezcla del concreto más microsilica, no se buscó la máxima reducción posible de agua. Los resultados fueron satisfactorios.

7 días	125 %
28 días	125 %
- Presenta una Resistencia al efecto de congelamiento/ deshielo98.7 %
- No se debe congelar.
- Se debe agregar independientemente de otros aditivos.

b) Composición del aditivo .-

El aditivo EUCON 537 cumple o excede las siguientes normas:

- ASTM C- 494, tipo G..
- ACI 201 – Contenido mínimo de cloruro.
- ACI 318 – Contenido mínimo de cloruro.
- Densidad: 1.21 kg/lt

c) Modo de Aplicación.-

- Se usa a razón de 375-875 ml por cada 100 Kg de cemento.
- Se recomienda dosificar EUCON 537 como se indica debido a que las variaciones de pérdida de revenimiento y las características de fraguado están en función de la cantidad de aditivo que se utiliza así como de las características del cemento y el diseño de mezcla que se seleccione. Un aumento de la temperatura del concreto va a causar un incremento en la pérdida de revenimiento y una disminución del tiempo inicial de fraguado.
- Para conseguir concreto fluido cargue todos los materiales en la mezcladora y mezcle por cinco minutos o 70 revoluciones al revenimiento inicial especificado. Agregue EUCON 537 y mezcle por otros tres minutos.

- Cuando se agrega EUCON 537 a razón de 750 ml por cada 100 Kg de cemento a 25-76 mm de revenimiento va a producir concreto fluido con un revenimiento de 178-254 mm.

Se sugieren las siguientes cantidades por cada 100 Kg de cemento a 76 mm de revenimiento vs temperatura ambiental:

- | | | |
|---------------------------------|-------------|----|
| - A temperatura de 27 ° C | 625 – 1000 | ml |
| - A temperatura de 32 ° C | 625 – 1125 | ml |
| - A temperatura de 38 ° C | 750 – 1250 | ml |
| - A temperatura de 43 ° C | 750 – 1500 | ml |
| - A temperatura de 49 ° C | 1000 – 2000 | ml |
| - A temperatura de 54 ° C | 1250 – 2000 | ml |

En la tesis realizada los ensayos se realizaron:

- A temperatura de 29 °C 1150 ml.
- Las cimbras para paredes y secciones angostas deben ser a prueba de agua, resistentes y estar bien afianzadas. Durante el período de fluidez cuando el concreto tiene un revenimiento de 178 – 254 mm, el concreto va a ejercer una presión más alta en la base de la cimbra que el concreto convencional.
- Dosificación.-
Las son de 375 a 875 ml por cada 100Kg de cemento.
- Almacenamiento.-
No permita que se congele.

ADITIVO SIKAMENT 10.-

Es un superplastificante de alta potencia con efecto retardado para la elaboración de concretos y morteros.

a) Características del aditivo.-

Con Sikament 10 se mejora la dispersión del cemento y al mismo tiempo aumenta la cohesión interna del concreto, por tal motivo se vuelve más plástico y por lo tanto más trabajable.

- PH: 9.0 ± 1.0
- Densidad: 1.21 ± 0.01 kg/lt.
- Homogeneidad mejorada y plasticidad del concreto.
- Aumento sustancial de la densidad del concreto.
- Mejor impermeabilización.
- Demora la carbonización del concreto.
- Poca pérdida de consistencia durante tramos largos de transporte.
- Poco gasto de energía durante la condensación.
- No contiene cloruros ni otros elementos corrosivos del acero o concreto pretensado.

b) Composición del aditivo.-

Cumple con las especificaciones de las normas

- ASTM C 494, tipo G.
- Cumple con las exigencias de un aditivo para concreto de los grupos activos BV-VZ, HBV-VZ según normas A del FSHBZ y SIA 162 (1989).

c) Modo de Aplicación.-

Se agrega al agua de amasado o se agrega junto con éste a la mezcladora. También se puede agregar a pie de obra al concreto pre mezclado y/o se puede redosificar el concreto ya dosificado con el aditivo. En este caso hay que observar que se cumpla rigurosamente el tiempo de mezclado de 1 minuto por m^3 , se debe revisar visualmente la uniformidad de la consistencia del concreto antes del vaciado.

Con el empleo de Sikament 10 se producen concretos de alta calidad para lo cual se deberá seguir las normas generales para la producción de un buen concreto. Igualmente se tiene que efectuar un buen tratamiento posterior del concreto fresco.

En la tesis realizada se siguieron las indicaciones señaladas siendo los resultados satisfactorios.

d) Dosificación.-

Son porcentajes respecto al peso del cemento:

- Para producir concreto plástico de 0.6% a 1.4%
 - Para concreto superplastificado 0.8% a 1.7%
- En la tesis se utilizó 1.4% de Sikament 10.

e) Almacenamiento. -

En el envase original sellado, protegido de la exposición directa a los rayos solares, así como de las heladas, con temperaturas de +1 °C y 35 °C hasta 12 meses de producido.

Si se congela es factible descongelarlo, lentamente a temperatura ambiente y luego mezclarlo.

Reportes de Ensayos Realizados con aditivos de los grupos SMF y SNF

Se proporcionan resultados de ensayos realizados con los aditivos de los grupos SMF y SNF, existen variaciones en cada clase y algunas formulaciones pueden contener ingredientes secundarios. La mayor información disponible ha sido obtenida usando aditivos basados en SMF y SNF.

Características y Modo de Acción de los aditivos de los grupos SMF y SNF

- Características:

Los Aditivos superplastificantes de los grupos SMF y SNF presentaron las siguientes características en su comportamiento:

- Los grupos SMF y SNF, contiene las unidades básicas de lignosulfonatos y sales de sodio de estos grupos tiene el siguiente modo de acción:
- La molécula de lignosulfonato, consiste en la sustitución de unidades de pentil propano con grupos hidroxilos, metoxicos, carbonilos y ácidos sulfónicos.
- Los valores del potencial Zeta y la absorción crecen con el incremento de la concentración del superplastificante añadido a la pasta.
- Los superplastificantes de los grupos SMF, SNF, retardan la hidratación del C₃A y C₃S, así como las conversiones de estringita a monosulfatos.

- Modo de Acción:

a) Micro-estructura. -

En la hidratación del C₃A, se forman inicialmente láminas exágonales pero con la presencia del superplastificante se forma como un gel que recubre la superficie del C₃A, en las mezclas del

C₃A-CaSO₄.2H₂O- H₂O no se han sacado conclusiones definitivas en los cambios morfológicos.

De los estudios realizados se observó la formación formarse agujas como redes en lugar de grandes paquetes de fibras por causa del superplastificante.

b) Absorción de un SMF. -

- Absorción del compuesto C₃A:

Este compuesto tiene una capacidad de absorción del superplastificante muy alta que resulta en cantidades importantes.

Acción: Pocos segundos después del contacto de las partículas de cemento con el agua ocurre la formación del C_3A , el producto aluminato exagonal absorbe irreversiblemente grandes cantidades de SMF, pero presenta una demora para convertirse a su forma cúbica debido a que se forman compuestos complejos entre el SMF y el C_3A hidratado. Se hicieron ensayos adicionales en el C_3A , añadiéndole yeso prehidratado siendo mas lenta la velocidad y cantidad de absorción por un espacio de 5 a 30 minutos, un SMF tiene absorción en longitud de onda de 219 nm.

– Absorción del compuesto C_3S :

La cantidad de SMF absorbida en el cemento, varía con el tiempo de la exposición a la solución. Luego de la absorción producida por los componentes de C_3A -yeso, los resultados indican que en la primera hora ocurre una absorción reducida en la superficie no habiendo absorción adicional durante el proceso de inducción sin embargo la absorción continúa durante las siguientes 4 ó 5 horas a causa de la hidratación del componente C_3S del cemento.

Los experimentos muestran que se produce absorción y desabsorción sin embargo la cantidad del superplastificante no absorbido no se disuelve siendo absorbido por el C_3S hidratado.

b) Potencial Zeta. -

Se ha estudiado el desarrollo del potencial zeta en suspensiones de alita C_3A y $Ca(OH)_2$ conteniendo un superplastificante, el resultado fue de grandes potenciales negativos. Mayores valores de potenciales V_e ocurren en suspensiones que contienen C_3A más yeso.

c) Hidratación. -

Los estudios realizados indican que los superplastificantes de los grupos SMF, SNF, retardan la hidratación del C_3A , del C_3S y de las conversiones de la etringita a monosulfatos.

– Con aditivo del grupo SMF:

El calor de hidratación que ocurre normalmente entre 8 y 9 minutos, como fue anotado anteriormente, en muestras que contienen SMF se genera en 30 minutos y los máximos alcanzados son menores. El valor máximo de calor alcanzado se reduce con respecto a concretos sin SMF, y la reducción va en aumento a medida que se incrementa el porcentaje del aditivo, lo cual indica que la hidratación del C_3S , la etringita, la relación CaO/SiO_2 , son retardadas como se mencionó anteriormente por ejemplo un 2% de SMF aumenta la relación de CaO/SiO_2 de 1.19 a 1.21.

– Con aditivo del grupo SNF:

En las mezclas que han sido ensayadas con SNF, se observó que los efectos de retardo de los superplastificantes en la hidratación del cemento dependen del tipo de catión ligado al polímero, es así que usando cemento tipo I y SNF con cationes de:

- NH_4 Los máximos valores de calor se alcanzaron a las: 12.75 horas
- Co. Los máximos valores de calor se alcanzaron a las: 11.50 horas
- Mn. Los máximos valores de calor se alcanzaron a las: 10.50 horas
- Li, Ni. Los máximos valores de calor se alcanzaron a las: 9.25 horas

Influencia del Modo de Acción de los superplastificantes en algunas de las Principales Propiedades del Concreto

- En el Concreto Fresco:

a) Trabajabilidad.-

El comportamiento de los superplastificantes en los resultados de trabajabilidad están directamente influenciados por:

- Cantidad de Cemento:

Usando un aditivo tipo SMF, concretos que contienen 237 Kg/m³, 326 Kg/m³, 415 Kg/m³ tienen asentamientos de 203 mm, 222 mm, y 254 mm respectivamente.

- Tipo de Cemento:

Pruebas con diferentes cementos y con los grupos SMF y SNF, los resultados están directamente relacionados con los resultados de la absorción y del potencial zeta:

- Aditivo del grupo SMF:

Utilizando este grupo de aditivos, se ensayaron concretos de asentamiento inicial de 76 mm. A los que se les añadió el aditivo del grupo SMF, los resultados

- Cemento tipo I: 222 mm.
- Cemento tipo II: 216 mm.
- Cemento tipo V: 229 mm.

El de mejor comportamiento es el cemento tipo V, luego el tipo I, y el tipo II aunque cabe anotar que los comportamientos de los cementos tipo I y II son similares.

- Aditivo del grupo SNF:

Utilizando este grupo de aditivos, los valores de mini-asentamientos aumentan en forma proporcional a la cantidad de absorción del aditivo.

Se ensayaron tres tipos de cemento, la concentración del aditivo encontrado en las soluciones fue de mayor absorción para el cemento tipo III, seguido por el cemento tipo I, finalmente el cemento tipo II. Se ensayó el cemento tipo V resultando ser de mayor absorción que el tipo I. La cantidad de superplastificante absorbido se observa en los resultados de trabajabilidad, puede ser necesaria mayor cantidad de SMF que SNF para lograr la misma trabajabilidad manteniendo la misma reducción de agua. El dosaje para obtener un asentamiento requerido depende también del asentamiento inicial ya que mezclas de bajo asentamiento requieren mayores dosajes. Para valores mayores de 180 mm de asentamiento los volúmenes de arena deben ser incrementados para evitar problemas de segregación.

- Tiempo de Adición a la Mezcla.-

- Adición Temprana:

A los pocos minutos luego del mezclado con el agua, si se adicionan el superplastificante conjuntamente con el agua de mezclado, el superplastificante es fuertemente unido en cantidades importantes por la mezcla de C3A-yeso, soltando solo pequeñas cantidades para la dispersión en la fase silicato, se pueden lograr significativos valores de asentamientos.

- Adición del superplastificante con el agua de mezclado:
Puede ser incrementado considerablemente el valor del asentamiento.
 - Adición Tardía:
Aún si es añadido el superplastificante solo 5 minutos después de realizada la mezcla, la absorción es en una menor extensión sobrando en la solución para promover la dispersión en las fases silicato y disminuir la viscosidad de la mezcla así como el asentamiento.
- b) Ensayos de pérdida de Asentamiento.-
Los concretos que contienen superplastificantes generalmente se mantienen con trabajabilidades mayores que las normales hasta los 60 o 90 minutos. Luego se esto se presenta un rápido decrecimiento en el asentamiento.
Se ha observado que los cementos tipo I y II pueden presentar mayores perdidas de asentamiento que los cementos tipos II ó V en dosajes normales.
Los altos requerimientos de dosaje para los cementos tipo I y III pueden estar relacionados a los altos contenidos de C₃A, para evitar las pérdidas de asentamiento se podría añadir mayor porcentaje del aditivo pero esto podría ser perjudicial ocasionando segregación, exudación y mayores tiempo de fraguado inicial. Un alternativa podría ser añadir el superplastificante en diferentes intervalos.
- c) Contenido de Aire.-
Los superplastificantes basados en SNF disminuyen algo de aire en el concreto, siendo así que en concretos fluidos los superplastificantes facilitan la liberación de aire normalmente de 1% a 3% está siendo perdido, por ejemplo en un concreto con relación a/c = 0.42, puede decrecer de 4.9% a 3.8% y puede seguir decreciendo a 1.7% y 1.5% si se le dosifica en tres partes.
En los superplastificantes basados en lignosulfonatos el contenido de aire puede incrementarse dependiendo de su capacidad de fomentar la unión de las burbujas de aire, por lo tanto concretos con superplastificantes requieren de mayores dosajes de un agente incorporador de aire que si fuera un concreto simple.
- d) Tiempo de Fragua.-
Los superplastificantes retardan el fraguado inicial del concreto, depende del tipo y dosaje del superplastificante. En el Concreto Endurecido:
- a) Resistencia.-
Los superplastificantes al reducir la cantidad de agua incrementan la resistencia a la compresión del concreto, flexión y módulo de elasticidad, el incremebto en las propiedades mecánicas están generalmente relacionadas con la capacidad de reducción, la dosificación y el slump requerido se muestran en el siguiente cuadro con resultados del comportamiento de un SMF y un SNF con los diferentes tipos de cemento.

TABLA N° 1.32 PORCENTAJE DE INCREMENTO DE RESISTENCIA DEL SUPERPLASTIFICANTE CON RESPECTO AL CONCRETO NORMAL					
Tipos de Cementos Ensayados	Resistencia a la Compresión			Resistencia a la Flexión	Módulo de Elasticidad
	7 días	28 días	90 días	28 días	28 días
Tipo I	100%	100%	100%	100%	100%
Aditivo SMF	139%	134%	128%	145%	116%
Aditivo SNF	133%	120%	126%	145%	116%
Tipo II	100%	100%	100%	100%	100%
Aditivo SMF	142%	130%	130%	115%	116%
Aditivo SNF	144%	130%	132%	120%	116%
Tipo V	100%	100%	100%	100%	100%
Aditivo SMF	167%	125%	122%	113%	113%
Aditivo SNF	133%	130%	128%	114%	110%
Resultado:SMF	I > II > V	I > II > V	II > I > V	I > II > V	I > II > V
Resultado:SNF	II > V > I	II > V > I	II > V > I	I > II > V	I = II > V

b) Ciclos de Hielo y Deshielo. -

Los concretos o morteros que contienen superplastificantes presentan buena resistencia a la helada, el mejoramiento de la resistencia a la congelación es atribuido al incremento del número de poros con diámetro en el rango de 0.35 μ .

Los superplastificantes parecen incorporar burbujas de aire e incrementar el volumen de poros del tamaño requerido para la resistencia a la congelación.

El factor de espaciamiento de burbujas aumenta con el incremento del dosage del superplastificante y alcanza su valor máximo. Incrementos adicionales a los dosages recomendados decrecen este valor, consecuentemente el factor de durabilidad es mayor que 40, lo que indica que los resultados serán satisfactorios.

c) Corrosión. -

Experimentos de corrosión en concretos con superplastificante demuestran que la incorporación de un aditivo basado en SNF no ocasiona formación de óxido en el refuerzo.

d) Adherencia entre el Acero y el Refuerzo. -

La incorporación de un superplastificante mejora satisfactoriamente la adhesión entre el acero y el concreto para concretos normales y ligeros. De los ensayos realizados se han registrado los siguientes valores.

TABLA N° 1.33 RESISTENCIA POR ADHERENCIA			
EN kg/cm^2			
Barras	Edad en días	Conc. simple	Conc.+Aditivo
Lisas	7	12.2	35.7
Rugosas	28	150	280

1.5.2 LA MICROSÍLICE

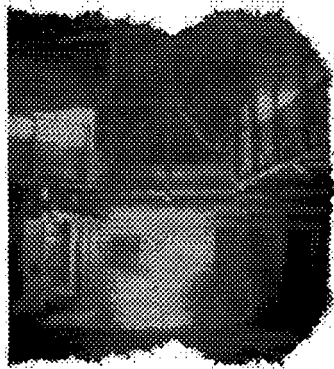
(Referencia N° 9)

El Humo de Sílice o Microsílice es un subproducto resultado de la fabricación de Silicón Metálico o aleaciones de Fierro-Silicón, producto de las combustiones de los materiales crudos que son cuarzo de alta pureza, carbón mineral, hierro y astillas de madera, a la temperatura aproximada de 1800 °C a 2000 °C, colectado en hornos de arco eléctrico, produciéndose un vapor de condensación que es filtrado y llamado Humo de Sílice. El uso de hornos de arco eléctrico es de menor costo que algún otro.

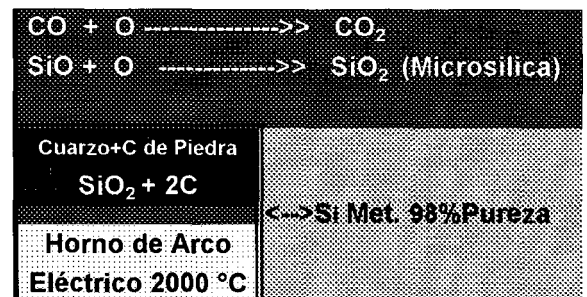
El humo posee un alto contenido de dióxido silicio amorfo no cristalino SiO₂, consistente en partículas perfectamente esféricas muy finas debido a su origen de vapor de condensación por lo que tienen un área superficial muy grande y un consiguiente volumen abundante, debido a sus propiedades físicas y químicas se comporta como una puzolana muy reactiva.

El humo de Sílice es vendido como aditivo mineral para concreto, quizá esta es su aplicación más importante en comparación con ser usado como tierra de relleno.

El ACI 116. Define a la microsílice como una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro-silicio.



Horno de Arco Eléctrico



Proceso de Obtención de la Microsílice

Normas para la Microsílice

La calidad de humo de sílice es especificada por ASTM C 1240, AASHTO M 307. Se ha llegado a un consenso para el nombre correcto de la microsílice, el término correcto es Condensed Silica Fume (CSF) que quiere decir Humo de Dióxido de Silicio condensado Si O₂. Cabe anotar que se le conoce también como sílica, polvo de ferrosilicón, humo de sílice condensada, polvo de humo condensado y sílice amorfa.

En Norte América los términos más usados son Microsílice y Silica Fume.

Características Físicas de la Microsílice

- a) Color.-
La microsíllice varía de color gris claro a color gris oscuro y cuando se mezcla con agua da una lechada de color negro.
- b) Densidad Relativa.-
La densidad relativa de la microsíllice es de 2.2, es inferior a la del cemento Portland cuyo valor es de 3.1. Como la microsíllice es generalmente usada en pequeñas cantidades en el concreto, la densidad del material cementante prácticamente no variará.
- c) Peso Unitario.-
El peso unitario suelto de la microsíllice es del orden de 150 a 300 Kg/m³
- d) Fineza.-
La microsíllice está constituida por partículas vítreas muy finas. La extrema fineza de la microsíllice es mejor ilustrada si se compara con otros materiales:
- Microsílice 200000 cm²/gr
 - Ceniza..... 4000 - 7000cm²/gr
 - Cemento Portland normal..... 3000 - 4000cm²/gr
- e) Tamaño.-
La microsíllice típica muestra que su tamaño es menor que 1 μm y el diámetro promedio es 0.1 μm.
Estos son resultados de la distribución de tamaños de sus partículas, es aproximadamente, semejante al tamaño de las partículas del humo que producen los cigarrillos o aproximadamente 1/100 del tamaño de media partícula de cemento.



Composición Química de la Microsílice

Los humos generalmente contienen más de 90 % de dióxido de silicio, la mayor parte del cual se encuentra en forma amorfa. La composición química de los humos variará de acuerdo al tipo de aleación o metal que se esté produciendo. Por ejemplo los humos de los hornos de ferro-silicio generalmente contendrán más fierro y magnesio que los hornos que producen silicio metálico.

La siguiente tabla muestra la composición química de la microsíllice de hornos de silicio de Noruega y América del Norte.

TABLA N° 1.34 COMPOSICION QUIMICA DE LA MICROSILICE		
Hornos de Sílice de Noruega y Canadá		
Constituyente	Noruega	Norte América
SiO₂	90% - 96%	93.70%
Al₂O₃	0.5% - 3.0%	0.30%
Fe₂O₃	0.2% - 0.8%	0.80%
MgO	0.5% - 1.5%	0.20%
CaO	0.1% - 0.5%	0.20%
Na₂O	0.2% - 0.7%	0.20%
K₂O	0.4% - 1.0%	0.50%
C	0.5% - 1.4%	2.60%
S	0.1% - 0.4%	0.10%
Otros	0.7% - 2.5%	2.80%

Modo de Acción en el concreto

La microsíllice ejerce una doble acción tanto física como puzolánica por las cuales desarrolla las propiedades del concreto de alta resistencia.

Propiedades puzolánicas de la microsíllice

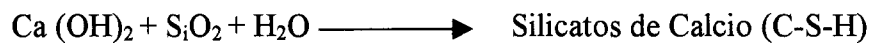
Debido a la alta fineza de la microsíllice, a su gran superficie específica y al gran contenido de dióxido de sílice amorfa la microsíllice posee propiedades puzolánicas superiores las cuales tiene la facultad de reaccionar químicamente con el Ca (OH)₂ libre formando silicatos de calcio con lo que se incrementa la resistencia.

Para que estos mecanismos se efectúen satisfactoriamente es necesario que todas las partículas de la microsíllice se encuentren dispersadas para lograr esto es imprescindible el uso de aditivos superplastificantes de alto rango que permiten la alta reducción de agua, la movilidad de las partículas y la trabajabilidad de la mezcla así como un tiempo de trabajabilidad adecuado.

a) Hidratación.-

En el concreto normal el término hidratación significa la reacción entre el cemento y el agua produciéndose con el tiempo silicatos de calcio hidratados C_3S-C_2S , los cuales tienen la misión de desarrollar la resistencia, pero paralelamente se forma el hidróxido de calcio (15% al 25% de la cantidad de cemento) es un material débil y soluble que no contribuye en la resistencia, ni en la durabilidad del concreto.

Las partículas de la microsilíce son compuestas por sílice amorfa (desde el 85% SiO_2) con una área superficial sumamente alta, ellos reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio del cemento para formar hidratos de silicato de calcio (C-S-H ó C_3S) con lo que se incrementa la cantidad de este compuesto disminuyendo significativamente la cantidad del $Ca(OH)_2$, efecto que explica el aumento de la resistencia del concreto así mismo realiza un efecto de bloqueo de poro reduciendo la permeabilidad del hormigón.



(Referencia N° 9)

La velocidad a la cuál la cal puede ser removida por la microsilíce puede ocurrir desde las 4 horas de la hidratación o hasta después de 28 días, su comportamiento esta directamente relacionado con la cantidad de SiO_2 presente, su tamaño, sus componentes, la disponibilidad de sílice activa, al parecer no influye el área superficial de sus partículas, sin embargo se ha observado que la presencia excesiva del carbón sobre la superficie de las partículas de la microsilíce retarda la reacción con la cal por reducir el área superficial disponible para reaccionar con el agua. Esto es aparentemente generado por componentes volátiles provenientes de carbono o astillas de madera depositados después de la formación de las microesferas.

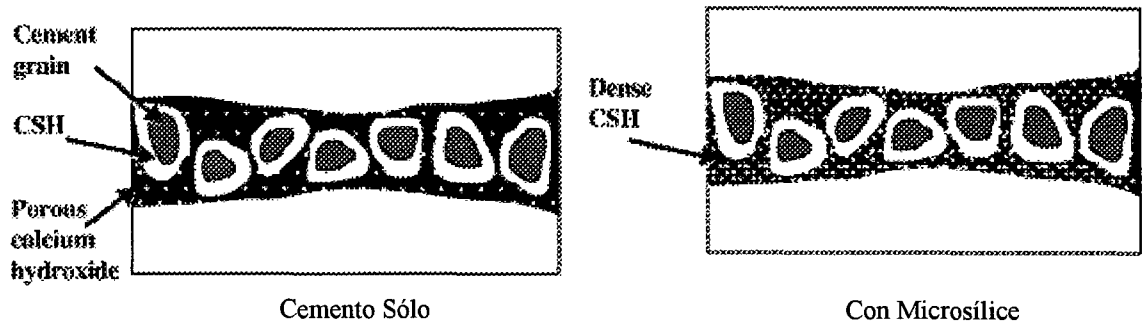
Así mismo cuando la alita C_3S se forma libera $Ca(OH)_2$ la cual reacciona con la microsilíce, en diversos ensayos realizados al respecto se concuerda en que la presencia de la microsilíce acelera la velocidad de reacción de la fase de la alita.

En ensayos realizados con componentes puros se ha observado que la microsilíce también acelera la reacción de la estrigita con la consiguiente conversión a monosulfatos.

(Referencia N° 10)

En solución acuosa la microsilíce desarrolla un gel rico en sílice en tiempos de 15 minutos a 1 hora, el cuál posee propiedades aglomerantes consumiéndose la mayoría del agua disponible. Los silicatos de calcio anhidros son rodeados por el gel de sílice el cual reacciona variablemente desde diversas horas a diversos días reaccionando con el $Ca(OH)_2$ formando mas silicato de calcio.

Como resultado se obtiene la formación de una estructura más rígida a tempranas edades que en las pastas normales.



b) Los Intersticios del Concreto.-

Uno de los principios básicos de la tecnología del concreto es la necesidad de crear una masa compacta con el menor volumen de vacíos o menor espacio del agua de relleno en el material. La microsílíce incrementa la cantidad de los sólidos colocándose en los espacios vacíos con lo que se incrementa la cohesividad en la mezcla, a este efecto se le llama:

Efecto de microfiller o micro-llenado

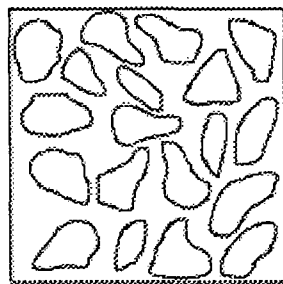
El efecto de microllenado se refiere a la facilidad de las partículas de Humo de Sílice de introducirse en los espacios existentes entre los granos de cemento reduciendo el espacio así disponible para el agua actuando más bien como núcleos para el proceso de hidratación.

El rango de los vacíos diminuidos por la presencia de la microsílíce no ha sido posible determinarlos aun por ser difícil experimentalmente pero se han registrado fuertes reducciones en los tamaños de los poros de 50 a 500 nm y en el largo de los poros de 500 a 3000 nm sin embargo hay un consenso en que los poros capilares son significativamente reducidos.

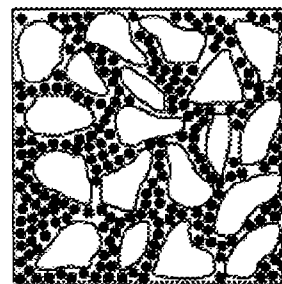
Recientes trabajos en morteros concluyen en que el total del volumen de los poros y la fracción del largo de los poros en el mortero incrementa con la cantidad de arena, esto responde a la tendencia a de los cristales de hidróxido de calcio a rodear las partículas de arena, cuando la microsílíce es añadida el número de poros decrece de 50 a 500 nm pero se incrementa el largo de los mismos, pero son discontinuos no contribuyendo a la permeabilidad, este comportamiento no ocurre siempre.

Un ejemplo de esto es una mezcla de 85% cemento y 15% humo de sílice, en la que se ha encontrado aproximadamente 2 000 000 de partículas de Humo de Sílice para cada grano de cemento lo que lleva a un denso condensado de las partículas de humo de sílice entre las partículas de cemento minimizando de esta manera la porosidad.

Este fenómeno de condensación mejora las interfaces del cemento-agregado, a esto se le llama Efecto Pared y aumenta la atadura entre el mortero y los agregados.



Sólo cemento



Con Microsílíce

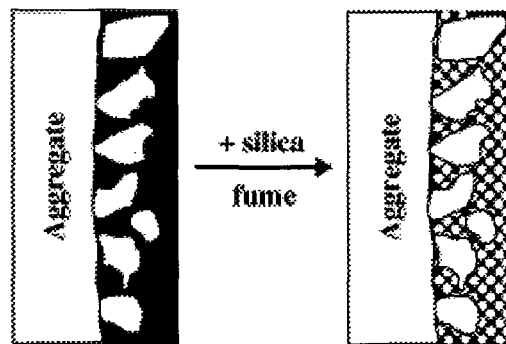
El incremento de las fuerzas de enlace entre la pasta – agregado:

(Referencia N° 9)

En el concreto convencional rodea al agregado una capa débil, de 1 μm de espesor formado por la migración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ orientados al azar y los AF_t cerca de la interfase, en diversos trabajos se ha observado que este comportamiento esta influenciado por el tipo de agregado y las relaciones agua-sólido. Las partículas individuales de cemento no pueden aglomerarse cerca de la superficie del concreto como en el volumen de la pasta causando un incremento de las proporciones agua/sólido cerca de la interfase.

Cuando la microsilica es incluida ocurren significativos cambios en el comportamiento de la pasta:

El índice de orientación de los hidroxidos de calcio decrece por ser la relación agua/sólidos alta consiste en reducir el espesor de esta zona de transición mediante la disminución de la presencia de los cristales del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en esta región así como su orientación al azar.



Efecto Pared

c) Calor de Hidratación. -

La hidratación del cemento es un proceso que libera calor. La reacción puzolánica entre la microsilice, el hidróxido de calcio y el agua también generan calor sin embargo es de menor valor que en el caso anterior.

Modo de Aplicación de La Microsilice en el Concreto

El procedimiento actual de mezclas describe métodos para seleccionar las proporciones y diseñar concretos de resistencias normales en el rango de 2000 psi a 6000 psi, su equivalente es de 140 Kg/cm^2 a 420 Kg/cm^2 .

Proporcionar la mezcla para concreto de alta resistencia es más crítico que para un concreto de resistencia normal, por que se tienen consideraciones que requieren de un control de calidad muy cuidadoso, por lo general las puzolanas especialmente

seleccionadas y mezclas con los aditivos químicos que son empleados son diseñadas a una relación muy baja de agua a cemento, la proporción de los materiales y los tiempos de mezclado y curado son considerados como criterios esenciales.

Se exigen a menudo muchas mezclas de ensayo para generar los datos necesarios para identificar la proporción de mezcla óptima para hormigón de alta resistencia y para perfeccionar éstas proporciones de la mezcla sobre la base de los resultados del ensayo. La microsílíce puede intervenir en la preparación del concreto, de las siguientes formas:

a) Reemplazo parcial del cemento.-

Esta es la forma de mayor uso, parte del cemento es reemplazado por una muy pequeña cantidad de micro sílica, este reemplazo causa un incremento en la demanda de agua.

Si se desea mantener la misma relación agua / (cemento + microsílíce), pueden ser usados superplastificantes para mantener el asentamiento requerido.

La resistencia a la compresión se incrementa comparada con la resistencia de la mezcla de control.

b) Como Aditivo.-

Si se le utiliza como aditivo del concreto para impartir determinadas propiedades específicas al concreto, se recomiendan pequeñas cantidades de microsílíce, del 5% al 10% del peso de cemento pueden ser añadidas. La necesidad de más agua para la mezcla y la pérdida del asentamiento es compensada por la adición de más agua o el uso de un superplastificante. En cualquiera de los casos habrá un marcado incremento de la resistencia a la compresión, permeabilidad, etc. comparado con los resultados del concreto normal.

c) El Uso de un Superplastificante.-

La microsílíce tiene una altísima capacidad de absorción del agua, como fue indicado anteriormente por lo que es recomendable el uso de un superplastificante para no afectar la trabajabilidad del concreto y poder obtener ventajas superiores a las normales.

Beneficios en el Concreto

a) Concretos de muy Alta Resistencia.-

- El humo de sílice al combinarlo con un superplastificante permite bajas relaciones de a/c lográndose producir concretos en el rango de 85 MPa - 100 Mpa, hasta 1500 Kg/cm² a los 100 días han sido registrados.

Se presenta a continuación una tabla con algunos resultados registrados:

TABLA N° 1.35 PROPIEDADES DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA				
Tipo de Agregado	T máx. del Agregado	Densidad kg/m ³	Resistencia a la Compresión kg/cm ²	Modulo Elástico kg/cm ² *10 ⁻³
Granito	5/8" ó 16 mm	2500	1270	694
Diabasa	5/8" ó 16 mm	2667	1715	663
Bauxilita	3/8" ó 10 mm	2878	2220	775
Bauxilita	4 mm	2875	2735	959

b) Permeabilidad y Densidad de la Pasta:

- Reduce la permeabilidad en el concreto con lo que aumenta su durabilidad.
- Con humo de sílice es posible reducir la permeabilidad de la pasta de cemento considerablemente la porosidad de la zona de la transición entre la pasta y los agregados.
- Proporciona una mejor adherencia entre la pasta y los agregados tan buena como en un concreto de baja permeabilidad.

c) Exudación y Segregación.-

- Porque la pasta es considerablemente más densa, hay menos caminos capilares para que el agua de la mezcla emigre a la superficie en la forma de sangre de agua o exudación.
- Estas mejoras junto con una reducción sangrando interior son principalmente debidas a sus propiedades puzolánicas y el relleno que efectúa el humo de sílice.
- Reduce el sangrado en el concreto.
- Debido a la reducción de la exudación se produce una mejor adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto evitándose la formación de grietas encima del acero de refuerzo.

d) Resistencia a los Ciclos de Hielo y Deshielo:

- Mejora la resistencia a los ciclos de hielo y deshielo.
- Presenta muy buena durabilidad en los ciclos de hielos deshielo los concretos que contienen humo de Silice contienen humo de sílice. Cuentan con un satisfactorio sistema aire- nulo.

e) Resistencia a los Sulfatos:

- La reacción química entre el humo de sílice y el hidróxido del calcio del cemento produce C-S-H secundario que densifica la pasta. Se cree que esta reacción química es la razón principal para la resistencia a los sulfatos.
- Mejora la resistencia a los sulfatos.
- Mejora la bombeabilidad en el concreto debido al efecto de pelota producido por la forma de las partículas esféricas.

f) Protección Contra la Corrosión del Acero de Refuerzo:

- Debido a la impermeabilidad que presenta y una mejor estructura de poros cerrados no permite el ingreso de los cloruros y es más resistente a su ataque.
- Normalmente en un concreto de alta calidad el inicio de la corrosión se iniciará por las fisuras formadas por contracción, mientras que esta posibilidad es reducida con la microsílíce.

Aplicaciones Principales

- Se puede aplicar en obras que se encuentren en ambientes muy agresivos.
- Conductos de alcantarillas.
- Plantas de tratamiento.
- Obras de irrigación.
- Ambientes industriales.
- Estructuras marinas.
- Estructuras expuestas al ataque de cloruros como puentes y áreas de estacionamiento vehicular.

Producción actual de la Microsílíce

Actualmente encontramos en Norte América 13 plantas productoras de humo condensado de silicón metálico y de fierro silicón, dos de ellas están en el Este de Canadá y 11 están en los Estados Unidos, se debe al alto consumo de electricidad para los hornos de arco eléctrico, la mayoría de fabricas de este tipo están localizadas en áreas donde se cuenta con abundantes y económicos recursos eléctricos.

Se estima que la producción anual de Canadá es de 15000 tn, Estados Unidos con 300000 tn y Noruega que es uno de los mayores productores del mundo con 120000 tn y se espera aumente en los próximos años.

El humo de sílice para el uso en hormigón está disponible como húmedo o seco, siendo más recomendable en su forma húmeda por razones de facilidad al momento de mezclar y de salud debido a una exposición prolongada por su gran finura se deposita en los pulmones causando una enfermedad conocida como silicosis, presentada en las personas que trabajan en las minas.

Microsílices Utilizadas en la Tesis

(Referencia N° 10)

Las microsílices ensayadas fueron de dos marcas y se trabajaron con sus respectivos superplastificantes:

- EUCO MSA.
- SIKA FUME.

- Microsílice Euco MSA

Es un aditivo de microsílice en polvo listo para usarse en concreto.

a) Descripción.-

EUCO MSA es un polvo gris de textura muy fina.

b) Información Técnica.-

- Gravedad Específica : 2.2
- Densidad : $\cong 481 \text{ Kg/m}^3$.
- Contenido de microsílice: 100%
- SiO₂ amorfo : 92% al 98%

c) Modo de Acción.-

Este producto reacciona químicamente con el hidróxido de calcio en la pasta de cemento, lo cual produce un gel de hidrato de silicato de calcio que mejora de manera significativa la resistencia y durabilidad.

Por su alta finura la microsílice llena el vacío entre las partículas de cemento creando un concreto muy denso y menos permeable.

d) Características / Beneficios.-

- Altas resistencias a la compresión y a la flexión a todas las edades para una mejor capacidad estructural.
- Desarrollo de altas resistencias a edades tempranas para tiempos de ciclo de producción más cortos.
- Le da al concreto una permeabilidad baja para una mejor resistencia a la penetración de agua y sal.
- Mejora la resistencia a la abrasión y a químicos para una mayor expectativa de vida/duración.
- Mayor resistencia al descascaramiento y a los ciclos de hielo deshielo.
- Mejora el comportamiento del concreto, incrementa la producción y reduce los costos de transporte y avance de obras.

e) Direcciones para su uso.-

Dada la finura de las partículas de EUCO MSA, el aditivo debe estar muy bien mezclado dispérsandolo completamente con las partículas de cemento. La dispersión adecuada se logra cuando se agrega primero la microsílíce en el proceso de mezclado.

Una secuencia típica de mezcla sería:

- EUCO MSA
- Agregado Grueso más arena y 75% de agua.
- Aditivo inclusor de aire (si fuera necesario).
- Cemento.
- Reductor de agua de alto rango se recomienda EUCO 37.
- 25% de agua restante.

La necesidad de agua aumentará cuando se use microsílíce. La mayoría de las mezclas necesitan el uso de un reductor de agua de alto rango para mantener la trabajabilidad, un bajo contenido de agua y una relación baja de agua/cemento.

f) Dosificación.-

EUCO MSA normalmente, se dosifica a razón de 5% a 10% por peso del cemento. Póngase en contacto con su representante de Química Suiza S.A, para que lo guíe cuando necesiten dosificaciones más altas de hasta 15% por peso del cemento. En la tesis se utilizó el 10% del peso del cemento de microsílíce.

g) Colocación.-

El concreto tratado con EUCO MSA puede ser colocado de la misma forma que el convencional.

h) Acabado.-

El concreto que contiene EUCO MSA va a exudar mucho menos que el concreto convencional, a dosificaciones más altas el exudado será prácticamente eliminado. Las fisuras por retracción plástica ocurren debido a una rápida pérdida de humedad en la superficie del concreto.

Dado que el concreto con EUCO MSA tendrá una cantidad reducida de agua por exudado para reemplazar la que se ha evaporado, será más susceptible a fisuras por retracción plástica.

Así también, las fisuras por retracción plástica son más frecuentes cuando se presenta humedad baja, viento, temperaturas ambientales altas y del concreto en cualquier combinación. Cuando existen estas condiciones, debe utilizarse un retardante de evaporación como EUCOBAR. Observe que las fisuras por retracción plástica van a ocurrir a niveles de evaporación más bajos que el concreto normal.

Se pueden utilizar métodos diferentes a EUCOBAR para ayudar a reducir la posibilidad de retracción plástica. Estos incluyen la construcción de rompevientos, aplicación de rocío nebulizado entre cada operación de acabado, cubrir el concreto con yute mojado y reduciendo la temperatura del concreto con hielo o agregados enfriados. También se puede colocar el concreto en las últimas horas de la tarde para evitar los rayos directos del sol y las altas temperaturas.

Si ocurren las fisuras por retracción plástica, volver a trabajar rápidamente el concreto fresco las cierra de una manera efectiva, sobre todo si se emplean herramientas de magnesio o acero.

El concreto debe ser tapado completa y rápidamente o mantenerse húmedo para prevenir que vuelvan a ocurrir las fisuras por retracción.

Si se utiliza una dosis alta de EUCO MSA en la mezcla de concreto y las condiciones son favorables para que ocurran las fisuras por retracción plástica puede ser muy difícil darle el acabado al concreto. En este tipo de situaciones se recomienda que se use un proceso de acabado de un solo paso, seguido inmediatamente por un buen procedimiento de curado.

i) Curado.-

Es de suma importancia seguir los procedimientos correctos de curado en el concreto con EUCO MSA para poder lograr la alta resistencia y la durabilidad para las que fue diseñado. El curado correcto necesita el mantenimiento de las condiciones correctas de humedad y temperatura en el concreto.

Todos los procedimientos de curado de concreto con EUCO MSA deben comenzar inmediatamente después que el procedimiento de acabado ha terminado.

Los métodos aceptables de curado son cubrir con yute mojado, película de polietileno y el uso de un compuesto para curado de latos sólidos que forme una membrana líquida y flexible tal como el KUREZ QS.

El compuesto para curado debe ser ordenado en forma separada. Si no se desea utilizar un compuesto para curado, utilice un método de curado por humedad durante un mínimo de 7 días.

j) Precauciones.-

- Se recomienda hacer diseños de mezclas de prueba dadas las variaciones en el cemento y los agregados en cada lugar.
- No permita que se congele el concreto hasta que no se haya alcanzado la resistencia mínima de 70 Kg/cm²

SIKA FUME

Sika Fume es un aditivo en polvo compuesto por microsilíce de alta calidad y que acondicionado a la mezcla de mortero o concreto, disminuye el lavado del cemento y el vaciado de la mezcla bajo agua. Sika Fume no contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto.

a) Campo de Aplicación.-

- En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, etc.
- En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.
- En concretos e lata resistencia (mayor a 500 Kg/cm²).
- En concretos bombeados y proyectados.
- En morteros y lechadas de inyección.

b) Ventajas.-

- Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.
- Aumenta la resistencia mecánica.
- Aumenta la impermeabilidad.
- Aumenta la resistencia química.
- Aumenta la adherencia al acero.
- Permite utilizar mezclas latamente fluidas con alta cohesión.
- Aumenta la cohesión y disminuye la exudación en la mezcla fresca.
- Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.

c) Datos técnicos.-

- Superficie Específica (Blaine) : 180000 a 200000 cm²/g
- Gravedad Específica : 2.2
- Finura (diámetro promedio) : 0.1 a 0.2 µm.
- Porcentaje pasando 45 µm : 95% a 100%
- Partícula : Esférica.
- Forma : Amorfa.

d) Modo de Empleo.-

Sika Fume, se puede mezclar con Sikament 10 o Sikement FF-86, en dosis e 1% a 2% del peso del cemento. La dosificación del concreto se realiza de acuerdo a la práctica normal para concreto bajo agua o para la aplicación específica que se requiera. La utilización conjunta de ambos productos asegura las características de cohesión, adherencia y resistencia en el concreto bajo agua.

Sika Fume se adiciona a la mezcladora junto con el cemento o la arena. El aditivo Sikament se agrega diluido en el agua de amasado.

e) Consumo.-

Sika Fume puede utilizarse en dosis de aproximadamente 10% del peso de cemento. Se recomienda realizar ensayos previos para definir el consumo exacto.

f) Almacenamiento.-

Se puede almacenar en su envase original cerrado durante un año en un lugar fresco y bajo techo.

1.6 CEMENTOS

El cemento es la herramienta fundamental en la preparación de morteros y concretos, la aplicación de estos materiales en la construcción civil es muy importante y significativa, la mayoría de las obras son construidas utilizándolos.

Definiciones de los Cementantes.-

(Referencia N° 8)

Material Cementante.-

Los materiales cementantes son aquellos que poseen propiedades adhesivas y cohesivas con la capacidad de formar una ligazón con los fragmentos minerales, obteniéndose una masa continua y compacta. En la naturaleza contamos con diversos materiales cementantes los principales aplicados en la construcción civil son:

- La Arcilla.
- El Yeso.
- Los Cementos.
- Los asfaltos y Alquitrans.

Cemento.-

El cemento es un material obtenido por la pulverización artificial de las materias primas naturales de rocas calizas areniscas y arcillosas, que desarrolla propiedades cohesivas y adhesivas, por las que forman una ligazón con los materiales pétreos, produciendo así una pasta moldeable plástica, continua y compacta, que con el tiempo cambia al estado endurecido en el medio del aire o en un medio acuoso.

Los cementos están clasificados de acuerdo a los componentes que contienen, así contamos con:

- Cementos Portland
- Cementos Adicionados.

Propiedades Hidráulicas.-

Es la propiedad de los materiales que encontrándose en estado sólido, necesitan de una cantidad determinada de agua para formar una pasta moldeable en estado plástico, en esta etapa se producen reacciones químicas originadas por la presencia del agua formándose compuestos estables que permiten el cambio de la pasta al estado endurecido.

Aglomerante Hidráulico.-

Se les define como aglomerados hidráulicos a los materiales que necesitan del agua para formar una pasta moldeable en estado plástico así como para cambiar al estado endurecido siendo al mismo tiempo resistentes a esta.

Cemento Portland.-

Es el cemento hidráulico de propiedades aglomerantes, obtenido por la pulverización artificial del clínker, sin contar con alguna adición de agua o sulfato de calcio.

El Proceso de Fabricación del Cemento Portland.-

Es un procedimiento cuidadoso y preciso, industrializado para conseguir el cemento con las características mecánicas deseadas. Las etapas por las que pasa son:

Materia Prima.-

Es un proceso industrial que empieza desde la ubicación de las canteras de las materias primas, las principales son las rocas calizas, y las correctoras son las rocas arcillosas, areniscas y mineral de hierro.

La extracción de los materiales es efectuada por lo general a cielo abierto utilizando perforadoras especiales y/o voladuras, el material extraído es cargado mediante palas de gran capacidad y depositado en camiones, para luego ser transportado a la planta de trituración. En la planta de trituración de materias primas, se reduce el material desde tamaños de 1.2 m³ hasta tamaños menores de 75 mm, el material triturado es transportado a la planta por medio de fajas neumáticas, donde es depositado en un parque de almacenamiento de materias primas. Algunas plantas cuentan con instalaciones que efectúan además un adecuado proceso de pre – homogeneización.

Molienda.-

En el parque de almacenamiento se encuentran depositadas todas las materias primas, es aquí donde se seleccionan las proporciones de los materiales de acuerdo a las características químicas que se desean obtener del material resultante, el proceso es automático, se inicia con la extracción de cada materia prima, la cuál pasa por las básculas dosificadoras, para ser depositadas al molino de bolas para su molturación, la fineza de la molienda es regulada mediante separadores de aire que trabajan en circuito cerrado con el molino para obtenerse una granulometría uniforme.

El material resultante es transportado por fajas neumáticas a silos de homogeneización se donde se obtiene un material llamado harina cruda, la cuál tiene extraordinaria consistencia, calidad y fineza.

Clincker.-

La harina cruda es introducida por sistemas de transporte neumático a un intercambiador de calor por suspensión de gases de varias etapas, donde se instalan modernos sistemas de pre - calcinación de la mezcla antes de su ingreso al horno rotativo, donde a temperaturas de 1400 °C a 1450 °C se desarrollan las reacciones físicas y químicas hasta conseguir las características necesarias para la formación del clincker siendo una de las principales conseguir una cantidad reducida de cal libre.

El procedimiento descrito de la obtención del clincker es seguido con algunos cambios desde 1845, que fue cuando se desarrolló el procedimiento industrial del Cemento Portland. El nombre proviene desde 1924 de la isla de Portland cerca del puerto de Dorset, Inglaterra, donde existiría una piedra de la misma resistencia del cemento que en ese entonces hubo adquirido mediante un procedimiento de calcinación de roca caliza arcillosa desarrollado por el constructor inglés Sr. Joseph Apsdin. La calidad del cemento Portland, depende de muchos factores siendo fundamental la composición química del crudo de partida.

Molienda Final.-

El clínker así obtenido es colocado en un enfriador donde es sometido a un proceso de enfriamiento rápido con aire insuflado proveniente de ventiladores, para luego ser conducido por fajas neumáticas a un parque de almacenamiento, desde donde se le dosificará automáticamente y se le agregarán los materiales requeridos por el tipo de cemento a producirse en las proporciones adecuadas para ingresar al molino de bolas. En algunas fábricas se coloca el material en un sistema de pre-molienda, el cual economiza energía y cuerpos demolidores considerablemente, de no contar con ese equipo se coloca directamente el material en un molino de bolas a circuito cerrado, con separadores neumáticos.

Cemento.-

En el molino de bolas, debido al sistema de molienda el clínker se pulveriza en un material que cuenta con una finura de alta superficie específica y granulometría uniforme, el cuál se conoce como cemento.

Finalmente el cemento es transportado a silos de depósitos donde se despachará a granel o pasará a embolsarse por envasadores rotativos, colocándose luego por sistemas semi – automáticos en plataformas que se acoplarán a los camiones.

La comercialización se realiza en bolsas de 42.5 kg.

Normas.-

(Referencia N° 3)

En el Perú, los cementos Portland se encuentran sujetos a normas acordadas por una entidad responsable de siglas NTP, que guardan armonía con las establecidas con la Asociación Americana de Ensayo de Materiales, ASTM.

Las normas se refieren a:

- Normas de definición y nomenclatura.
- Normas de clasificación y nomenclatura.
- Normas de requisitos para cada uno de los tipos de cementos establecidos.
- Normas para ensayos físicos, químicos y mecánicos.
- Normas para muestreo y aceptación del producto.

Tipos de Cemento Portland.-

Las variaciones en las proporciones de los compuestos del cemento marcan la diferencia en sus propiedades y por lo tanto en su aplicación, siendo de esta forma como se definen los tipos de cemento, los que están clasificados por sus características mecánicas.

(Referencia N° 2)

Los tipos de cemento producidos en el Perú son:

Cementos Portland tipo I, II, III, IV, V.

Cementos adicionados IP, IPM, IS, ISM.

Cemento de albañilería B.

Cemento Compuesto Co.

Se presenta un resumen de las aplicaciones de los diferentes tipos de cementos:

- Cemento Portland Tipo I: De uso general, no se requiere propiedades especiales.
- Cemento Portland Tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación, aplicado en estructuras que se encuentran en ambientes agresivos o cuando se requiera vaciados masivos.
- Cemento Portland Tipo III: De rápido desarrollo de resistencia con elevado calor de hidratación para uso en climas fríos o en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.
- Cemento Portland Tipo IV: De bajo calor de hidratación aplicado en obras donde se requieran vaciados masivos.
- Cemento Portland Tipo V: De alta resistencia a los sulfatos, aplicado en estructuras que se encuentran en ambientes muy agresivos.

Cuando a los tres primeros tipos se les adiciona el sufijo A al nombre, significa que son cementos a los que se les ha añadido incorporadores de aire en su composición, manteniendo las propiedades originales.

Cementos Adicionados.-

(Referencia N° 2)

Son los cementos a los que se les ha reemplazado una parte de ellos por:

- Puzolanas.
- Escorias de altos hornos.

A continuación se presentan algunas definiciones:

Puzolanas.-

Las puzolanas son las rocas existentes en la naturaleza compuestas por materiales síliceos o aluminosos, que no precisan para su uso nada más de la molienda.

Individualmente casi no tienen propiedades aglomerantes, pero cuando están molidas y en presencia del agua tienen la capacidad de reaccionar químicamente con los hidróxidos de calcio, adquiriendo propiedades aglomerantes.

Las puzolanas se obtienen por lo general de las arcillas calcinadas, tierras diatomáceas, tufos y cenizas volcánicas, y residuos industriales como cenizas volátiles, ladrillo pulverizado, etc.

Propiedades Puzolánicas.-

(Referencia N° 8)

Es la propiedad de un material pulverizado de fijar hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando en presencia del agua compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

Tipos de Cementos Adicionados con Puzolana.-

Tipo IP : Cemento al que se le ha añadido puzolana del 15% al 40% del peso total.

Tipo IPM : Cemento al que se le ha añadido puzolana menos del 15% del peso total.

Cuando a estos cementos se les adiciona el sufijo A al nombre, significa que son cementos a los que se les ha añadido incorporador de aire en su composición, manteniendo las propiedades originales, con el sufijo M, significa que se induce resistencia moderada a los sulfatos, con el sufijo H, significa que se modera el calor de hidratación.

Ventajas de los Cementos Adicionados con Puzolanas.-

Los cementos Portland son reemplazados en porcentajes establecidos por puzolanas debido a que estas tienen suficiente estabilidad química para las aguas sulfatadas pero su resistencia mecánica es baja, por tal motivo para aumentar las resistencias se les combina con cemento Portland.

Algunas de las características de los cementos resultantes son:

- Necesidad de mayor cantidad de agua para el mezclado.
- Aumento de los tiempos de duración del estado plástico.
- Retraso del tiempo de endurecimiento de la mezcla.
- Retraso del desarrollo de la resistencia.
- Producen menor calor de hidratación.
- Reducción de la permeabilidad.
- Mayor capacidad de retener agua.
- Mayor cohesividad.
- Mejor comportamiento frente a la agresividad química.

Escoria.-

La escoria granulada de alto horno,

Tipo IS : Cemento al que se le ha añadido escoria del 25% al 70% del peso total.

Tipo ISM : Cemento al que se le ha añadido escoria menos del 25% del peso total.

Composición del Cemento Portland.-

(Referencia N° 2)

Los componentes principales de las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento son:

- En un 95%
 - Oxido de Calcio (Ca O) Procedente de: Rocas Calizas.
 - Oxido de Sílice (Si O₂) Procedente de: Rocas Areniscas.
 - Oxido de Aluminio (Al₂ O₃) Procedente de: Rocas Arcillas.
 - Oxido de Hierro (Fe₂ O₃) Procedente de: Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita.
- En un 5%
 - Oxidos de Magnesio, Potasio, Sodio, Titanio, Azufre, Fósforo y Manganeseo, procedentes de varios minerales.

Los porcentajes en los que intervienen los óxidos mencionados se muestran en la tabla N° 1.36:

TABLA N° 1.36 PORCENTAJES TÍPICOS DEL CONTENIDO DE OXIDOS EN EL CEMENTO								
Compuesto	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Porcentaje	61%-67%	20%-27%	4%-7%	2%-4%	1%-3%	1%-5%	0.25%-1.5%	0.25%-1.5%
Abreviatura	C	S	A	F				

Luego del proceso de formación del clínker y molienda final, se obtienen los compuestos que definen el comportamiento del cemento hidratado, estos son:

- Silicato de Tricálcico.- ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)
Es aquel que define la resistencia inicial, en la primera semana y tiene mucha importancia para el control del calor de hidratación.
Se le conoce como Alita, su abreviatura es C_3S .
- Silicato Dicálcico.- ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)
Es aquel que define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor para el control del calor de hidratación. Se le conoce como Belita, su abreviatura es C_2S .
- Aluminato Tricálcico.- ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)
Este compuesto aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso del 3% al 6% para controlarlo. Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce sulfoaluminatos con propiedades expansivas. Su abreviatura es C_3A .
- Alumino Ferrito Tetracálcico.- ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)
Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación. Se le conoce como Celita, su abreviatura es C_4AF .
- Oxido de Magnesio.- (MgO)
Pese a ser un componente menor, tiene mucha importancia pues para contenidos mayores del 5% trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida.
- Oxido de Potasio y Oxido de Sodio.- (K_2O , Na_2O)
Tienen importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos. Se les conoce como Alcalis.
- Oxido de Manganeso y Oxido de Titanio.- (Mn_2O_3 , TiO_2)
El primero no tiene importancia especial en las propiedades del cemento, excepto en la coloración que tiende a ser marrón para contenidos mayores del 3%. Se ha observado que en casos donde los contenidos superan el 5% se obtiene disminución de resistencia a largo plazo.
El segundo influye en la resistencia, reduciendo para contenidos superiores a 5%. Para contenidos menores no tiene mayor trascendencia

T-2.0 BASES TEÓRICAS DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS UTILIZADOS

Se presentan los conceptos y parámetros teóricos en los que se basan los métodos de diseño de mezclas aplicados.

2.1 Método del ACI-211

Este método norte americano proporciona la cantidad de agua necesaria para la mezcla que es hallada con tablas, la cuál ha sido preparada de acuerdo a las características de los agregados y las condiciones de clima y temperatura norte americanas, al aplicarlas en el Perú resultan sólo como un valor de tanteo, a partir del cuál se realizan mezclas de prueba, con las que se van corrigiendo los diseños hasta hallar la verdadera cantidad de agua.

Los Parámetros en los que se basa el Método

- Relación agua – cemento.
- Asentamiento requerido.
- Tamaño nom máximo del agregado grueso.
- Proporciones de los agregados.

La cantidad de agua en litros por metro cúbico, se calcula con la tabla del ACI, presentada en el cuadro N°

Datos de las características físicas de los materiales requeridas

- Peso específico del tipo de cemento.
- Peso específico de los agregados.
- Contenido de humedad de los agregados.
- Porcentaje de absorción de los agregados.

Conc.	Slump	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Sin Aire Incorp.	1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
	2" - 3"	228	216	205	193	181	169	145	124
	3" - 4"	243	228	216	202	190	178	160	-
Con Aire Incorp.	1" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
	2" - 3"	202	193	184	175	165	157	133	119
	3" - 4"	216	205	197	184	174	166	154	
% Aire Atrapado		3%	2.5%	2%	1.5%	1%	0.5%	0.3%	0.2%

Primer Tanteo: Cálculo de las Proporciones de los Materiales. -

- Se determina la cantidad de agua requerida para el diseño de mezcla con la tabla del ACI; se necesitan como dato, el tamaño nominal máximo del agregado y el asentamiento que se requiere en obra.
En la tesis el tamaño nominal máximo fue de 3/4" pulgadas, en las etapas: inicial, primera y segunda, de la tesis en la tercera etapa se utilizó el agregado grueso de tamaño nominal máximo de 1/2" pulgada. El asentamiento requerido fue de 3" pulgadas.
Primer tanteo en la etapa inicial: 205 lt de agua.
- Se determina la relación agua cemento, con la que se va a diseñar. En la tesis tratándose de alta resistencia y deseándose un concreto que pertenezca al rango plástico se eligió la relación agua-cemento de 0.40. Con la cantidad de agua hallada y la ecuación $a/c = 0.40$, se despeja y se halla la cantidad de cemento.
En la tesis se utiliza entonces:
Primer tanteo en la etapa inicial: 513 kg de cemento.
- Se estima la cantidad de aire atrapado en la mezcla, de las tablas para una mezcla sin aire incorporado y con el tamaño nominal máximo:
Primer tanteo en la etapa inicial: 2% de aire atrapado.
- Se deben tener los datos de las características físicas de los agregados y el peso específico del cemento. En la tesis son:

TABLA N° 2.2 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS							
Agregado	P.E	P.U.C	P.U.S	C.H	% Abs	S.E	M.F
Arena Gruesa	2.64	1798	1637	0.53%	0.71%	39.5	3.14
P.Chanc. Diorita	2.75	1660	1575	0.55%	0.67%	1.52	8.14
P.Chanc. Cuarcita	2.58	1656	1479	0.11%	0.80%	1.61	8.14

- Se realiza el cálculo de las proporciones para un metro cúbico de mezcla:
- Primer tanteo en la Etapa Preliminar:
- Se calculan los volúmenes desconocidos de los agregados, el volumen total de la mezcla será de 1 m³, son conocidas las cantidades de agua y cemento así como sus pesos específicos por lo tanto se pueden calcular sus volúmenes por diferencia se hallará el volumen que ocuparían los agregados finos y gruesos.

Peso específico del cemento Portland tipo I.....3110
Peso específico del agua.....1000

Se presenta en detalle el procedimiento de cálculos realizados en el primer tanteo del diseño de mezcla, la misma secuencia se siguió en todos los diseños de la tesis en el cuadro N° 2.3:

TABLA N° 2.3 CALCULO DE LAS PROPORCIONES DE LA MEZCLA CON EL METODO DEL ACI - 211						
Materiales	Cálculo	Volumen	Pes. Secos	Pesos Hum	D.U	T.O
Cemento	513/3110	0.165	513 kg	513 kg	1	12,36
Agua	205/1000	0.25	205 kg	207,21 lt	0.4	4.94
Arena			745,8 kg	749,8 kg	1.46	18.05
Piedra			776,8 kg	781,15 kg	1.52	18.79
% Aire	2%	0.02		Suma Total	4.39	
Sumatoria Parcial de Vol.		0.435	La T.de Obra es $54 / 4,37 = 12,36$			
Volumen Total de Mezcla		1 m^3	El porcentaje de Aire del diseño es 2%			
Volumen corresp a los Ag.		$1 - 0,435 = 0,565$				
Cálculo de los Volúmenes de los Agregados						
Vol del Agreg	Vol total de ag * %Agreg de Met. Ag. Glob*					
Vol de Arena	0.565	*	0,50%	=	0,2825 m ³	
Vol de Piedra	0.565	*	0,50%	=	0,2825 m ³	
Cálculo de los Pesos Secos de los Agregados						
Peso del Agreg	Peso Especifico del Agreg. * Volumen del Ag.					
Peso de Arena	2640	*	0,2825	=	745,8 kg	
Peso de Piedra	2750	*	0,2825	=	776,8 kg	
Cálculo de los Pesos Húmedos de los Agregados						
P.H del Agreg	Peso Seco Agreg * (1+ C.H del Agreg) 100					
P.H de la Arena	745,8	*	(1+0,0053)	=	749,8 kg	
P.H de la Piedra	776,8	*	(1+0,0055)	=	781,15 kg	
Corrección del Agua por Agregados						
C. Agua por Ag.	Peso Seco Agreg * (C.H Ag.-% Abs Ag) 100					
C.A por Arena	749,8	*	(0,53 - 0,7)/100	=	1,27 lt	
C.A por Piedra	781,15	*	(0,55 - 0,67)/100	=	0,94 lt	
Corrección total de Agua por los Agregados				=	2,21 lt	
Agua corregida = Agua de las tablas - Corrección total =					205 + 2,21 = 207,21	
Diseño Unitario en Obra						
Todos los pesos se dividen entre el peso de cemento						
Diseño de Tanda de Obra						
La capacidad del trompo utilizada es de $0,021 \text{ m}^3$, equivalente a 3 probetas de 54 kg de peso, la tanda de obra se halla dividiendo el peso de las probetas que se van a preparar entre la sumatoria del diseño unitario de obra y se multiplica por los valores hallados en el Diseño Unitario						

2.2 Método del Agregado Global.-

Es un método experimental que se utiliza para hallar experimentalmente las proporciones en las que intervendrán los agregados finos y gruesos en la mezcla del concreto.

- Equipo.-
- Un balde de peso unitario de capacidad de acuerdo al tamaño máximo del agregado.
- Una varilla de 5/8 de pulgadas.
- Una balanza de capacidad de 50 kg.

- Procedimiento.-

Los agregados finos y gruesos se combinan en proporciones consecutivas. Utilizando un recipiente de peso unitario, se les compacta en tres capas, con 25 golpes uniformemente distribuidos en la superficie en cada capa, pesando finalmente la mezcla de los agregados. Luego se divide el peso entre el volumen del recipiente, su volumen se mide en p^3 , resultando el peso unitario compactado en kg/m^3 . En el anexo A-3.0.0 se encuentran los resultados.

- Huso.-

El huso utilizado para la gráfica de la granulometría del agregado global es el huso Din, que se presenta a continuación.

TABLA N° 2.4 AGREGADO GLOBAL			
Huso DIN 1045			
MALLA	A	B	C
N° 32	100%	100%	100%
N° 16	62%	80%	89%
N° 8	38%	62%	77%
N° 4	23%	47%	65%
N° 2	14%	37%	53%
N° 1	8%	28%	42%
0.25	2%	8%	15%

T-3.0 BASES TEÓRICAS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS

El concreto en sus estados fresco y endurecido presenta ciertas propiedades fundamentales, las cuales indican la calidad del concreto.

En el estado fresco son la trabajabilidad, consistencia, segregación, exudación, cohesividad, peso unitario, tiempo de fragua, en el estado endurecido son resistencia mecánica, durabilidad, propiedades elásticas, impermeabilidad, resistencia al desgaste, propiedades térmicas y acústicas.

Las propiedades plásticas del concreto fresco y las propiedades mecánicas en el estado endurecido, pueden ser incrementadas con el acertado uso de los aditivos, de tal manera el concreto consta de diversas fases. En la tesis se trabajó en tres fases:

- Concreto Simple.
- Concreto con Aditivo.
- Concreto con Aditivo más Microsilica.

Cada una de las fases alcanza niveles de desarrollo mayores en sus propiedades plásticas y mecánicas que la anterior, debido a esto se clasifica la calidad del concreto como:

- Concreto de Normales Resistencias.
- Concreto de Medianas Resistencias.
- Concreto de Altas Resistencias.

Moldeo de las Probetas

Se presentan extractos de la norma ASTM C-92, “ Practica Normalizada para fabricar y curar especímenes de Concreto en Laboratorio”, referidos al moldeo, desmolde y curado de las probetas.

- Párrafo 7.3.2.1.-

Llenado por capas de los moldes cilíndricos de medidas de 6” x 12” y de 4” x 8”, se presenta un fragmento de la norma referida a este tema.

TABLA N° 3.1 NUMERO DE CAPAS REQUERIDAS PARA ESPECIMENES CILINDRICOS				
Tipo de Especímen Cilindros		Modo de Compactación	Número de Capas	Profundidad aproximada de
Hasta	12" pulg, 300 mm	Varillado	3 iguales	4 pulg, 100 mm
Más de	12" pulg, 300 mm	Varillado	Como se requiera	
Hasta	18" pulg, 460 mm	Vibrado	2 iguales	8 pulg, 200 mm
Más de	18" pulg, 460 mm	Varillado	3 ó más	

- Párrafo N° 7.4.1.-

Los métodos de consolidación para la preparación satisfactoria de las probetas son varillado, vibrado interno y externo. Están basados en el criterio del slump a menos que se encuentre especificado por el proyectista de la obra, de esta manera tenemos:

- a) Concreto con slump mayor de 3 pulgadas, es recomendable consolidarlo con el método de varillado.
- b) Concreto con slump de 1 a 3 pulgadas, es recomendable consolidarlo con el método de varillado o vibrado.
- c) Concretos con slumps menores de 1 pulgada, es recomendable consolidarlos por vibración. No usar vibración interna para cilindros de 4 pulgadas de diámetro o menos y vigas o prismas de 4 pulgadas o menos de ancho o profundidad.

Se encuentra además en la norma una nota:

Nota 13.-

Los métodos descritos no son apropiados para concretos con un bajo contenido de agua, esta práctica no se cubre aquí.

- Párrafo 7.4.2.-

Sobre el Varillado, la norma describe el procedimiento y señala las respectivas especificaciones como se muestra en el cuadro N° 3.2.

TABLA N° 3.2 VARILLAS ESTANDARIZADAS PARA MOLDEO DE PROBETAS				
Especificación	Varas Largas		Varas Cortas	
Diámetro	5/8" pulgadas	16 mm	3/8" pulgadas	10 mm
Largo	24" pulgadas	600mm	12" pulgadas	300 mm

Se presentan a continuación fragmentos de la norma que describen el procedimiento:

- Se coloca el concreto dentro del molde, de acuerdo al número de capas que se indican en el cuadro N° 3.1, cada capa deberá ser aproximadamente de igual volumen.
- Se varilla cada capa con el final redondeado de la vara usando el número de golpes y la medida de la vara adecuada según se indica en el cuadro N° 3.
- Se describen dos tipos de varas para el compactado de las probetas las varas deberán ser hechas específicamente de acero liso.

- Se distribuye el número de golpes uniformemente sobre la sección transversal del molde, como se indica en el cuadro N° 3.3.
- Se distribuyen los golpes uniformemente sobre la sección transversal del molde.
- Cuando la profundidad de la capa es menor que 4 pulgadas (100 mm) hasta aproximadamente 1 pulgada, la vara deberá atravesar la profundidad de la capa colocada y pasando hasta la capa inferior ½ pulg ó 12 mm.
- Cuando la profundidad de la capa es 4 pulgadas (100 mm) ó más la vara deberá atravesar la profundidad de la capa colocada y pasando hasta la capa inferior 1 pulg ó 25 mm.
- Después de cada capa varillada, golpear los lados suavemente 10 ó 15 veces con el mazo para sacar cualquier burbuja de aire que haya quedado atrapada, usar moldes que no se deterioren.
- Terminado esto, paletear el concreto por los lados y terminar la probeta con un badilejo de u otra herramienta apropiada de acero.

TABLA N° 3.3 DIAMETRO DE VARILLAS Y NUMERO DE GOLPES POR CAPA EN LOS ESPECIMENES DE ENSAYO				
Diámetro del Cilindro		Diámetro de Varilla		Número de golpes por capas
pulgadas	milímetros	pulgadas	milímetros	
2" a 6"	50 a 150	3/8"	10	25
6"	150	5/8"	16	25
8"	200	5/8"	16	50
10"	250	5/8"	16	75

Desmolde de las Probetas.-

El desencofrado de las probetas se realiza entre las 24 ± 8 horas, es preferible que los especímenes se curen con el mismo procedimiento y método.

Curado

El curado de los especímenes se debe realizar de 23 ° C ± 2 ° C, desde el tiempo de moldeo hasta el momento del ensayo a menos que se encuentre especificada otra temperatura. Las condiciones de curado mayormente usadas son:

- Tanques de almacenamiento de agua, los especímenes serán inmersos en agua saturada con hidróxido de Calcio, no serán expuestos a goteo o agua corriente.

- Cámaras de curado, según se especifica en la norma ASTM C-511.

Se recomienda además iniciar el curado de las probetas cuando se encuentren totalmente endurecidas y no estando aún muy ligeramente frescas (que se pueda arañar la superficie) pues disminuye significativamente la resistencia.

Ensayos realizados en el Laboratorio

Los ensayos que se realizaron son, en estado:

- Endurecido: Resistencia a la Compresión, Tracción.
- Fresco: Tiempo de Fragua, Exudación, Contenido de Aire.

Resistencia a la Compresión.-

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante del concreto en estado endurecido, además el control de calidad de las obras es llevado de acuerdo a los resultados de la resistencia a la compresión.

Se presentan a continuación algunos extractos de la norma ASTM C-39, sobre los métodos de ensayos de resistencia a la compresión de especímenes de concretos cilíndricos.

- Párrafo 5.2.2.-

Referido sobre la cara de apoyo del émbolo de la máquina a compresión, describe un fragmento importante en caso de usar moldes de probetas de 4 x 8 pulgadas:

- Inciso 5.2.2.1.-

El máximo diámetro de la cara de asiento de la esfera suspendida, no debe exceder de los valores dados a continuación:

TABLA N° 3.4 REQUERIMIENTOS DE LA MAQUINA A COMPRESION			
Diámetro de los Especímenes de ensayo		Máximo diámetro de Cara del émbolo	
pulgadas	milímetros	pulgadas	milímetros
2"	51	4"	102
3"	76	5"	127
4"	102	6 1/2"	165
6"	152	10"	254

- Párrafo 6.1.-

Referido a los especímenes., Los especímenes no deben ser ensayados si cualquiera de los diámetros de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2%.

- Párrafo 7.3.-
Referido a los procedimientos del ensayo a compresión. Todos los especímenes que se ensayarán a una determinada edad serán ensayados con las tolerancias permisibles descritas a continuación:

TABLA N° 3.5 TOLERANCIAS EN LA EDAD DE ENSAYO		
Edad de Ensayo días	Tolerancias permisibles	
	horas	%
24 horas	0.5 h	2.1%
3 días	2 h	2.8%
7 días	6 h	3.6%
28 días	20 h	3.0%
90 días	48 h	2.2%

- Párrafo 10.1.-

Referido a la precisión de los resultados de los ensayos a compresión. La precisión aceptable del operador al ensayar los especímenes cilíndricos de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm), hechos con un concreto regularmente mezclado, hecho en laboratorio y bajo condiciones normales de campo, son:

TABLA N° 3.6 TOLERANCIAS EN LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESION			
Operador solo en condiciones	Coeficiente de Variación	Rango Aceptable de	
		2 Result.	3 Result.
Laboratorio	2.37%	6.60%	7.80%
Campo	2.87%	8.0%	9.5%

- Inciso 10.1.1.-

Los valores dados son aplicables a cilindros de 6 pulgadas por 12 pulgadas (150 mm x 300 mm), con resistencia a la compresión comprendida entre 2000 psi hasta 8000 psi (12 Mpa a 55 Mpa), o que es lo mismo 136 Kg/cm² a 545 Kg/cm². Ellos son derivados de las referencias del CCRL y la colección de 1265 ensayos de reportes de 225 ensayos de laboratorios comerciales en 1978.

Nota 11.- El subcomité C09.03.01 reexaminará el programa de referencia del CCRL, para verificar si estos valores son representativos y de práctica actual comprobando si ellos pueden ser extendidos y capaces de cubrir el amplio rango de esfuerzos y medidas de los especímenes.

Normas

La norma para elaboración y curado de probetas hechas en

- Laboratorio es ASTM C 192.
- Obra es ASTM C-31

Resistencia a la Tracción.-

La resistencia a la tracción del concreto es una forma de comportamiento de gran interés para el diseño y control de calidad de todo tipo de obras y en especial las estructuras hidráulicas y de pavimentación.

Los métodos de ensayo utilizados son:

- Método de Tracción Directa.
- Método de Tracción por hendimiento.

En nuestro medio es de mayor difusión el segundo método, a continuación se describen brevemente ambos.

Método de Tracción Directa

El método de ensayo de prueba conocido como ensayo de tracción directa por hendimiento o compresión diametral, prepara un espécimen cilíndrico o prismático de relación h/d entre 1.6 a 1.8 resultante del aserrado de una probeta moldeada, para eliminar las zonas de mayor heterogeneidad, pegándose luego por sus extremos, mediante resinas epóxicas, a dos placas de acero que contienen varillas de tracción centradas y articuladas mediante rótula, las mismas que se sujetan a los cabezales de una máquina de ensayos de tracción convencional.

Este método es representativo del comportamiento del concreto pero requiere de una operación compleja por lo que se ha afirmado únicamente en el ámbito de los laboratorios.

Método de Tracción por Hendimiento

El ensayo de tracción por hendimiento consiste en romper un cilindro de concreto del tipo normalizado para el ensayo de compresión, entre los cabezales de una prensa según generatrices opuestas. Este método fue desarrollado en Brasil en 1943, cuando verificaban el comportamiento del concreto, destinado a rellenar cilindros de acero a utilizarse en el desplazamiento de una antigua iglesia. En el mismo año en Japón se realizó una tesis de doctorado desarrollando el método.

Se estudió la distribución de tensiones principales de tracción y compresión en una placa circular bajo la acción de fuerzas diametralmente opuestas, distribuidas a lo largo de dos generatrices situadas en el mismo plano diametral (estado plano de deformaciones), analizándose por métodos fotoelásticos.

Al solicitar diametralmente por compresión un cilindro a lo largo de la generatriz, un elemento ubicado a una distancia "r" de una de las caras, queda sometido a un esfuerzo de compresión, que tiene como valor:

$$\sigma_1 = \frac{2 * P}{\pi D L} \left[1 - \frac{1}{r/D} - \frac{1}{1-r/D} \right]$$

P = Fuerza total de compresión. D = Diámetro. L = Longitud del Cilindro

La tensión se incrementa a partir del centro y tiende al infinito en la aproximación de las generatrices de contacto. En la práctica esto produce en una banda de contacto con la platina de los cabezales de la máquina de ensayo, en un ancho "a", de donde resulta una perturbación total.

Algunas recomendaciones para efectuar el ensayo son:

- Debe colocarse entre el cilindro y la superficie de los cabezales de la máquina de ensayo, o eventualmente la platina suplementaria de ser utilizada, tablilla de madera contraplacadas de 3 mm de espesor y 25 mm de ancho, a lo largo de toda la longitud del cilindro.
- La velocidad de ejecución del ensayo debe ser constante, comprendida entre 7 daN/cm²/min y 15 daN/cm²/min hasta la rotura. Eventualmente se puede aplicar inicialmente un 5% de carga de rotura prevista a menor velocidad verificando que el espécimen se mantiene centrado y alineado.
- La rotura debe producirse en un plano vertical de lo contrario se deberá informar al peticionario.

La expresión de resultados debe darse según la relación:

$$T = \frac{2 * P}{\pi D L}$$

3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Peso Unitario.-

El peso unitario es el peso compactado de una muestra representativa de concreto en estado fresco que ocupa un volumen unitario

El peso unitario del concreto es empleado para comprobar el rendimiento de las mezclas, el contenido del cemento, de los agregados así como el contenido de aire.

Es un indicativo de la calidad de los agregados que se han utilizado, así como del peso específico de los mismos. Sus unidades se expresan en kg/m^3 .

Densidad.-

Se le define así a la relación medida en un volumen unitario, entre el volumen de los sólidos y el volumen total de la mezcla. En otras palabras es la expresión del porcentaje de sólidos de una mezcla de concreto. No hay un método para su calculo.

Clasificación de los concretos.-

Los concretos son clasificados según su peso unitario en :

- Concretos Densos.....producen pesos unitarios de..... 480 kg/m^3 a 1600 kg/m^3 .
- Concretos Normales.....producen pesos unitarios de..... 2300 kg/m^3 a 2400 kg/m^3 .
- Concretos Ligeros.....producen pesos unitarios de..... 3600 kg/m^3 a 4500 kg/m^3 .

Normas.-

- NTP 339.046
- ASTM C-138

Ensayo Experimental.-

- Materiales:

- Un recipiente cilíndrico de peso y volumen conocido, el recipiente será escogido según el tamaño nominal máximo del agregado.

TABLA N° 3.7 RECIPIENTES DE PESO UNITARIO		
Tam nom máx	Volumen del Recipiente	
	dm^3	p^3
	14	1/2
	28	1

- Una barra de acero lisa de diámetro de 5/8" pulgadas y 60 cm de longitud, terminando uno de sus extremos en una semiesfera.
- Una balanza de 50 kg de capacidad como mínimo.

Procedimiento.-

- Se llena el recipiente en tres capas compactando con 25 golpes distribuidos uniformemente en cada capa. La primera capa debe compactarse con la varilla de tal forma de no tocar el fondo.
- En las capas siguientes la varilla penetrará hasta la capa anterior.
- Luego del compactado de la tercera capa se nivela el nivel superior del recipiente.
- Se golpea a los lados del recipiente para eliminar las burbujas de aire atrapadas.
- Se pesa el recipiente con la mezcla de concreto fresco.

Expresión de resultados.-

- Al valor del peso del recipiente con la mezcla de concreto fresco, se le resta el peso del recipiente, quedando conocido el peso de la mezcla del concreto fresco.
- El volumen del recipiente es conocido.
- Se divide el peso de la mezcla del concreto fresco entre el volumen del mismo.
- Las unidades del resultado son kg/m³.
- El rendimiento se calcula de la siguiente manera:
Se calcula el volumen del concreto fresco producido con la fórmula:

$$V_h = \frac{P_c + P_f + P_g + P_a + P_{ad}}{P_u}$$

Donde:

V_h: Volumen del concreto fresco producido por mezcla en metros cúbicos.

P_c: Peso total del cemento en kg.

P_f: Peso total del agregado fino de la mezcla en la condición en que se usa, en kg.

P_g: Peso total del agregado grueso de la mezcla en la condición en que se usa, en kg.

P_a: Peso total del agua de mezclado añadido a la mezcla, en kg.

P_{ad}: Peso total del aditivo añadido de existir en kg.

P_u: Peso unitario del concreto fresco en kg/m³.

Conocido este valor el rendimiento se halla con la fórmula: $R = \frac{V_h}{N}$

Donde: N = Número de bolsas de cemento por mezcla.

El rendimiento relativo se calcula como: $R_r = \frac{V_h}{V_t}$

Donde: V_t = Volumen teórico, calculado con el diseño de mezcla.

Factor cemento: Es el número real de bolsas necesarios para la mezcla: $N_r = \frac{1}{R}$

Donde: N_r = Número real de bolsas.

Exudación.-

La exudación es el flujo del agua de la mezcla, producida por la sedimentación de los sólidos y la elevación de una parte del agua de la mezcla en estado plástico hacia la superficie por efecto de capilaridad, a causa de la diferencia de densidades entre los materiales. La exudación puede también presentarse como un drenaje lateral de agua o como el desplazamiento de la misma hacia la parte inferior del concreto.

La exudación del agua y la sedimentación de los sólidos pueden continuar hasta que el concreto alcance un cierto grado de rigidez, es decir hasta que se inicie el proceso de fraguado, en que se obtiene la máxima consolidación de los sólidos o se produce ligazón de las partículas sólidas.

Fases del Proceso de Exudación.-

Hay dos fases en el proceso de exudación que no necesariamente están relacionadas:

- La velocidad de exudación, definida como la velocidad inicial con la que el agua se acumula sobre la superficie del concreto, también se puede definir como la velocidad inicial del asentamiento del concreto.
- La capacidad de exudación, la cual es medida por el volumen total del agua que aparece en la superficie o por el asentamiento total de la superficie.

Factores que Favorecen la Exudación.-

La magnitud de la exudación será influenciada por los siguientes factores:

- Proporciones de la Mezcla.
- Contenido de agua de la mezcla.
- Temperatura y humedad relativa ambiente.
- Altura del encofrado.
- Contenido y fineza del cemento.
- Presencia de aditivos plastificantes.
- Contenido de agregados finos.

Control de la exudación.-

Algunas de las medidas recomendadas para el control de la exudación son las siguientes:

- Dosificación de la mezcla para incluir mas agregado fino y de ser necesario más cemento.
- Cuidadoso control en el proceso constructivo de los encofrados para evitar el escape de la lechada de cemento.
- Incrementos en la fineza del cemento o en la riqueza de la mezcla.
- Reducción del asentamiento por disminución del volumen de agua de la mezcla.
- Empleo de arenas bien graduadas, con presencia de los tamaños menores en proporciones adecuadas.
- En el caso que fuere necesario emplear una adecuada combinación de las arenas gruesas con arenas finas a fin de incrementar la superficie específica y disminuir el volumen de exudación.
- Empleos de aditivos incorporadores de aire a fin de que las burbujas reduzcan el área efectiva a través de la cual pueden ocurrir los movimientos del agua, así como que el área superficial de las mismas retarde la velocidad con la que el agua tiende a separarse de la pasta por acción del drenaje.
- Empleo de aditivos reductores de agua retardadores de fragua que incorporan aire. Además del efecto del aire incorporado, la reducción en la exudación se debería a una disminución en los requisitos de agua.
- Adición a las mezclas de pequeños porcentajes de finos inertes, puzolana o polvo de aluminio.

Ventajas del Proceso de Exudación.-

- La presencia de pequeñas cantidades de agua sobre la superficie del concreto pueden ser convenientes para realizar un buen proceso de acabado por lo que no es recomendable la eliminación total de la exudación.
- Una exudación normal no es dañina para el concreto y el asentamiento que puede originar favorece una pasta superior ligeramente más resistente que el resto del concreto.
- Si se crean las condiciones que favorecen una rápida exudación por ejemplo empleando aditivos plastificantes, se reduce la cantidad total de agua en el concreto fresco y se produce una reducción en la relación agua – cemento efectiva con el consiguiente incremento en la resistencia.

- Si la exudación no es disturbada, es decir no se produce el re - mezclado del agua superficial, disminuye el riesgo de un incremento de la relación agua - cemento y disminución de la resistencia en la superficie.

Desventajas del Proceso de Exudación.-

- Si se produce el re - mezclado existe el riesgo de la formación de los llamados "planos de debilidad", frecuentes en construcciones en las que se han empleado mezclas muy húmedas o en superficies de acabado pobre y relación agua - cemento muy alta.
- Si el agua de exudación es re - mezclada durante el proceso de acabado de la superficie, esta disminuirá su resistencia a las acciones del desgaste por abrasión.
- El proceso de exudación puede producir áreas de debilidad en la zona donde se produce.
- El acabado puede ser afectado por un exceso de exudación, en la medida que puede formarse una nata sobre la superficie o la operación de acabado puede retrasarse.
- La exudación puede dar lugar a una acumulación de agua en la superficie, con un debilitamiento de la misma. Este caso es más frecuente en superficies planas tales como pavimentos.
- Si la evaporación del agua de la superficie del concreto es más rápida que la velocidad de exudación, puede presentarse agrietamiento por contracción plástica.
- En concretos que deben resistir agua a presión, deberá considerarse el efecto de la exudación sobre el de permeabilidad.
- La coronación de cada capa puede disminuir su resistencia al incrementarse la relación agua - cemento y si el agua es atrapada en la zona superior, puede resultar un concreto poroso, débil o poco durable.
- Una exudación excesiva puede dar lugar al asentamiento de las partículas de agregado, las que al depositarse en la parte superior de las barras de refuerzo horizontales, pueden formar vacíos o cangrejeras internos, los cuales producen pérdida de adherencia y áreas débiles en el interior de la masa del concreto.
- Momentos después de que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados, comienza a producirse un asentamiento de las partículas sólidas (cementos y agregados) con la consiguiente tendencia del agua de subir hacia la superficie.

Normas.-

NTP	339.077
ASTM	232

Equipo. -

- Un recipiente cilíndrico de peso y volumen conocido, el recipiente será escogido según el tamaño nominal máximo del agregado.
- Una barra de acero lisa de diámetro de 5/8" pulgadas y 60 cm de longitud, terminando uno de sus extremos en una semiesfera.
- Una balanza de 50 kg de capacidad como mínimo.
- Una probeta graduada.
- Una jeringa.

- Procedimiento. -

- Se llena el recipiente en tres capas compactando con 25 golpes distribuidos uniformemente en cada capa. La primera capa debe compactarse con la varilla de tal forma de no tocar el fondo.
- En las capas siguientes la varilla penetrará hasta la capa anterior.
- La tercera capa se llenará a tres cm menos del borde, es decir la mezcla de concreto alcanzará una altura de $25 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ se nivela alisando la parte superior del recipiente, ejerciendo un esfuerzo mínimo.
- Se golpea los lados del recipiente para eliminar las burbujas de aire atrapadas.
- Se pesa el recipiente con la muestra, se anota la hora.
- Se coloca el recipiente sobre una plataforma nivelada o sobre un piso libre de vibraciones y se cubre con plástico, sin moverlo de su sitio.
- Se extrae el agua que se haya acumulado en la superficie con una jeringa en intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos después se toma a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación.
- Para la extracción del agua se inclina el recipiente cuidadosamente colocando un taco de madera de 5 cm de espesor debajo de uno de los lados del recipiente 2 minutos antes de extraer el agua. Después de extraer el agua se coloca el recipiente en su posición original sin golpearlo.
- La jeringa con el agua extraída se coloca en la probeta graduada en cada muestreo y se mide y anota la cantidad de agua extraída y el intervalo de tiempo al que pertenece.

- La velocidad de Exudación.-
Para medir este valor se requieren de ensayos más refinados que el descrito.
- Expresión de Resultados.-

Se calcula el agua acumulada de exudación, expresada como porcentaje del agua de mezclado contenida en la probeta, como sigue:

$$\text{Vol} = \frac{V_t}{A}$$

$$C = \frac{w \cdot S}{W}$$

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{D}{C} * 100$$

Donde:

- C: Masa de agua en la probeta de ensayo, en gramos.
- W: Masa total de la mezcla, en kg.
- w: Masa neta del agua en la mezcla en kg.
- S: Masa de a muestra en kg.
- D: Volumen total del agua de exudación extraída de la probeta de ensayo en cm³, multiplicada por 1 g/cc o masa del agua de exudación en gr.
- Vt: Es el volumen en centímetros cúbicos del agua de exudación, durante el intervalo seleccionado.
- A: Area expuesta del concreto en centímetros cuadrados
- Vol: Es el volumen de agua de Exudación por unidad de superficie.

Fluidez.-

El ensayo de fluidez determina el grado de cohesividad de una mezcla de concreto así mismo se indica de manera indirecta la posibilidad de segregación de la mezcla.

La cohesividad de la mezcla es una propiedad del concreto en estado fresco, que mantiene la unidad de la mezcla, con la distribución homogénea de sus partículas controlando de esta manera la segregación.

El grado apropiado de cohesividad es aquel que no muestre una mezcla demasiado áspera, ni viscosa, debe ser plástica tal que facilite su manejo durante el proceso de colocación a la vez que no permita que se produzca segregación de los agregados durante la etapa del manejo de la mezcla.

Factores que modifican la Cohesividad.-

- La cohesividad de una mezcla de concreto mejora cuando se incrementan las fuerzas de atracción que actúan en la superficie de separación entre las partículas y el medio líquido que las rodea.
- La cohesividad se incrementa cuando la relación agua cemento alcanza valores óptimos para luego empezar a disminuir.
- En relaciones agua – cemento bajas el agua puede ser insuficiente para humedecer adecuadamente las partículas de cemento.
- En relaciones agua – cemento altas la mezcla puede ser muy fluida y por lo tanto estar en menor capacidad de transmitir fuerzas de atracción.
- La falta de cohesividad puede incrementar el riesgo de segregación en mezclas de muy baja trabajabilidad o en mezclas preparadas con agregado grueso de diámetro grande.
- La cohesividad aumenta con incrementos en la fineza de las partículas de la mezcla.
- El cemento aumenta la cohesividad por la fineza de sus partículas y por el hecho de que cuanto más rica es la mezcla menores son sus posibilidades de segregación
- Los incrementos en el porcentaje del agregado fino igualmente mejoran la cohesividad.
- En mezclas pobres es importante la participación de las mallas menores.
- La cohesividad es mayor cuando se emplean partículas redondeadas y suaves, que cuando se utiliza agregado de perfil angular y textura rugosa.
- La incorporación de aire a las mezclas aumenta el porcentaje relativo de finos y de la pasta por la presencia de partículas o burbujas de diámetro muy pequeño por lo que se mejora significativamente la cohesividad.

Ensayo Experimental.-

El ensayo se efectúa en la mesa de sacudidas, se les aplica a concretos plásticos que poseen agregados gruesos hasta de 38 mm ó 1 1/2" pulgadas, en caso de mezclas preparadas con agregados mayores el método es aplicable cuando se realiza sobre la porción de concreto que pasa el tamiz de 38 mm (1 1/2), después de haber eliminado los agregados mayores. El método no se aplica a concretos no plásticos.

Equipo.-

- Un molde Tronco cónico de diámetro de la base inferior de 25 cm. y 17 cm de diámetro de la base superior, con una altura de 13 cm.
- Una barra de acero lisa de diámetro de 5/8" pulgadas y 60 cm de longitud, terminando uno de sus extremos en una semiesfera.
- Mesa de sacudidas.

Procedimiento

- Se humedece la mesa de sacudidas y el molde cónico.
- Se compacta en dos capas, con 25 golpes en cada capa, distribuidos uniformemente en la sección expuesta. En la primera capa se debe evitar que la varilla choque con la mesa, en la segunda de be introducirse la varilla hasta la capa inferior y tratar de no dejar espacios vacíos.
- Se nivela la superficie con la varilla.
- Se retira verticalmente el molde.
- Se procede a darle vuelta a la manija de la mesa de sacudidas, completando 15 golpes desde una altura de 12.5 mm en 15 segundos a una velocidad uniforme.
- Se miden seis diámetros tomados simétricamente.

Expresión de Resultados

Los resultados se expresan en porcentaje.

A los valores tomados se les calcula el promedio, y se les introduce en la fórmula:

$$F (\%) = \frac{(D-25)*100}{25}$$

Donde:

F: Factor de asentamiento.

D: Diámetro promedio.

Anexo I

RESULTADOS Y GRAFICAS DE LOS ENSAYOS DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS EN LOS AGREGADOS

A-1.1.0 Granulometría.-

Se realizaron los ensayos a los agregados correspondientes a los agregados para diseño de mezclas de concreto exigidos por las normas. Se presentan los gráficos ordenados de acuerdo a las etapas en las que se realizó la investigación:

- Etapa Inicial : Corresponden los cuadros N° 1, N° 5 y N° 6.
- Primera Etapa : Corresponden los cuadros N° 1, N° 5 y N° 6.
- Segunda Etapa : Corresponde el cuadro N° 3.
- Tercera Etapa : Corresponde el cuadro N° 4.

A-1.1.1 Agregados Ensayados.-

Agregado Fino:

- Arena Gruesa.
- Arena Fina.
- Combinación de Arena Gruesa y Arena Fina.
- Arena Gruesa, con la granulometría por sedimentación de los finos que contiene, en estado lavado y sin lavar.

Agregado Grueso:

- Proveniente de roca Diorita + 10% de Andesitas.
- Proveniente de roca Cuarcita.

Agregado Global:

- Combinación de 50% de Piedra Diorita + 50% de Arena Gruesa.
- Combinación de 50% de Piedra Cuarcita + 50% de Arena Gruesa.

A-1.1.2 Resultados de los Ensayos de Granulometría -

Agregado Fino.-

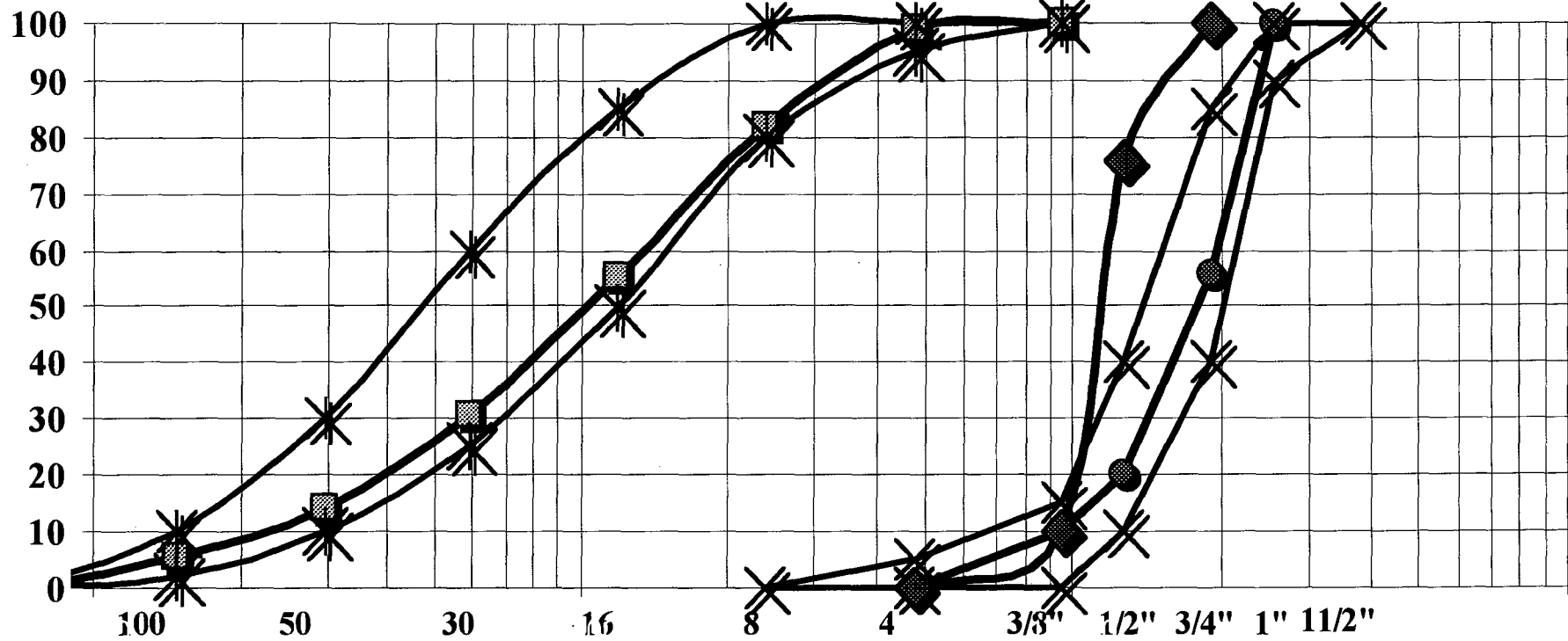
Los ensayos presentados fueron hechos por tamizado mecánico utilizando las mallas mostradas hasta la malla N° 200 ó tamiz de 0.074 mm.

Agregado Fino: ARENA GRUESA				
Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Acum. Ret.	% Pasa
9.5 mm. = 3/8"	0.0	0%	0%	100%
4.75 mm. = N° 4	6.0	1.2%	1.2%	98.8%
2.36 mm. = N° 8	83.9	16.8%	18%	82%
1.18 mm. = N° 16	134.6	26.9%	45%	55.1%
600 micrones = N° 30	121.9	24.4%	69%	30.7%
300 micrones = N° 50	83.0	16.6%	86%	14.1%
150 micrones = N° 100	42.6	8.5%	94%	5.6%
FONDO	28.0	5.6%	100	0.0%

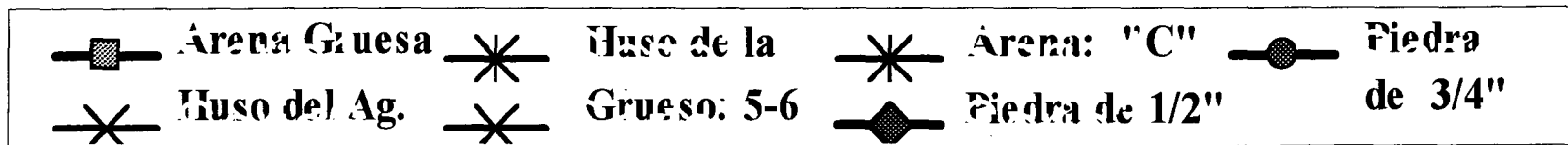
Agregado Grueso.-

Los agregados gruesos ensayados provenientes de las rocas Diorita y Cuarzita presentaron muy similares resultados por lo que se tomo una sola granulometría.

Agregado Grueso: Proveniente de Rocas Diorita+10% de Andesitas y Cuarzitas				
Malla	Peso Ret.	% Retenido	% Acum. Ret.	% Pasa
3/4"	2200	44%	44%	56%
1/2"	1800	36%	80%	20%
3/8"	500	10%	90%	10%
N° 4	500	10%	100%	0%



GRAFICA N° 1.1 CURVAS GRANULOMETRICAS DE LA ARENA GRUESA Y LA PIEDRA CHANCADA



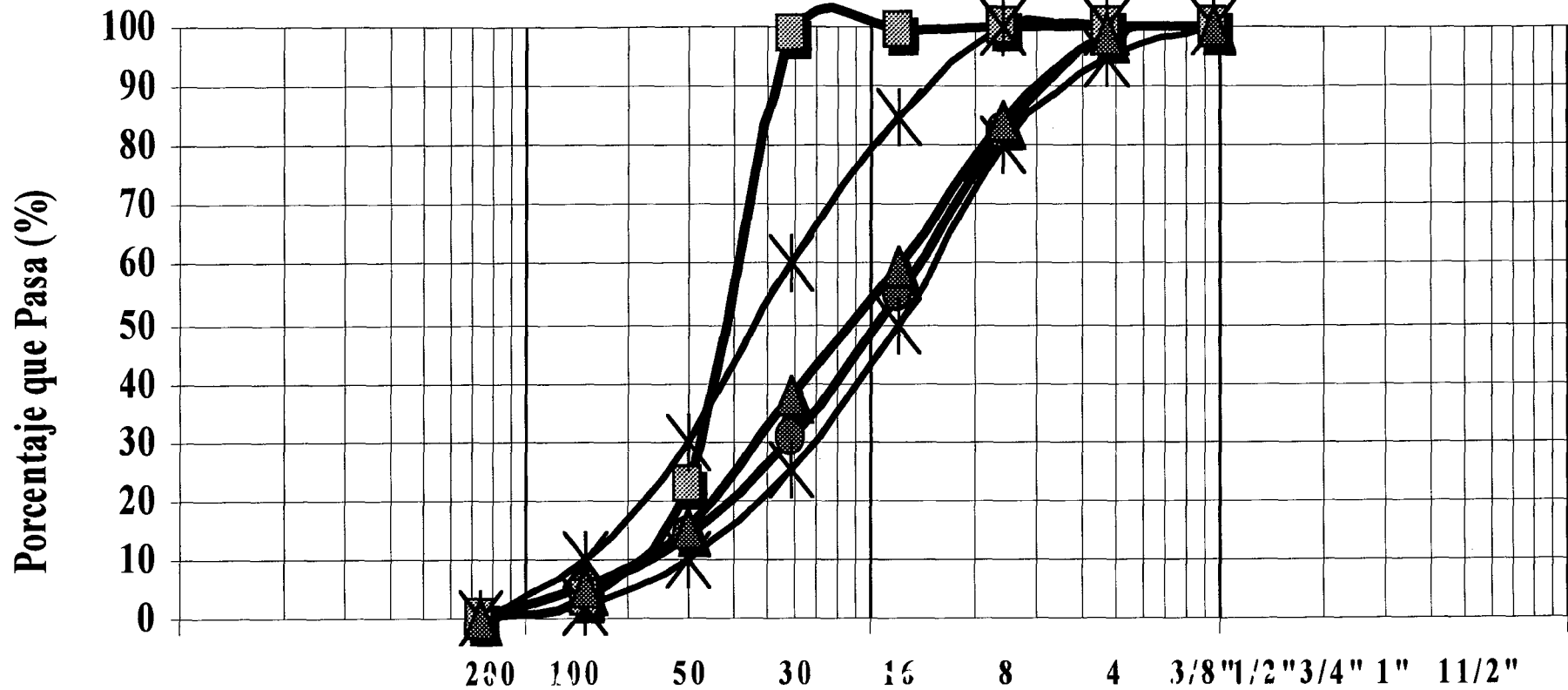
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 kg/cm² a 1200 kg/cm²"

- Combinación de Arena Gruesa y Arena Fina:

GRANULOMETRIA DE LA COMBINACION DE ARENAS								
Malla	P. Ret. A.F	P. Ret. A.G	% Ret.A.F	% Ret.A.G	% Pasa A.F	% Pasa A.G	%Acum. Ret	90%A.G+10%A.F
3/8"	0	0	0%	0%	100%	100%	0%	100%
Nº 4	0	6	0%	1.2%	100%	99%	1.1%	98.9%
Nº 8	1.4	83.9	0.28%	16.8%	100%	82%	16.2%	83.8%
Nº 16	0.8	134.6	0.16%	26.9%	100%	55.1%	40.4%	59.6%
Nº 30	5.8	121.9	1.2%	24.4%	98%	30.7%	62.5%	37.5%
Nº 50	379	83	75.8%	16.6%	23%	14.1%	85.0%	15.0%
Nº 100	96	42.6	19.2%	8.5%	3.4%	5.6%	94.6%	5.4%
FONDO	17	28	3.4%	5.6%	0%	0.0%	100%	0.0%

- Arena Fina.

Agregado Fino: ARENA FINA				
Malla	Peso Ret.	% Retenido	% Ac. Ret.	% Pasa
9.5 mm. = 3/8"	0	0%	0%	100%
4.75 mm. = Nº 4	0	0%	0%	100%
2.36 mm. = Nº 8	1.4	0.28%	0.28%	100%
1.18 mm. = Nº 16	0.8	0.16%	0.44%	99.60%
600 micrones = Nº 30	5.8	1.20%	1.60%	98.40%
300 micrones = Nº 50	379.0	75.80%	77.40%	22.60%
150 micrones = Nº 100	96.0	19.20%	96.60%	3.40%
FONDO	17.0	3.40%	100%	0%



GRAFICA N° 1.3 GRANULOMETRIAS DE LAS ARENAS Y SU COMBINACION

Arena Gruesa
 Arena Fina
 Huevo del Ag "C"
 Fines
 Combinación de Arenas

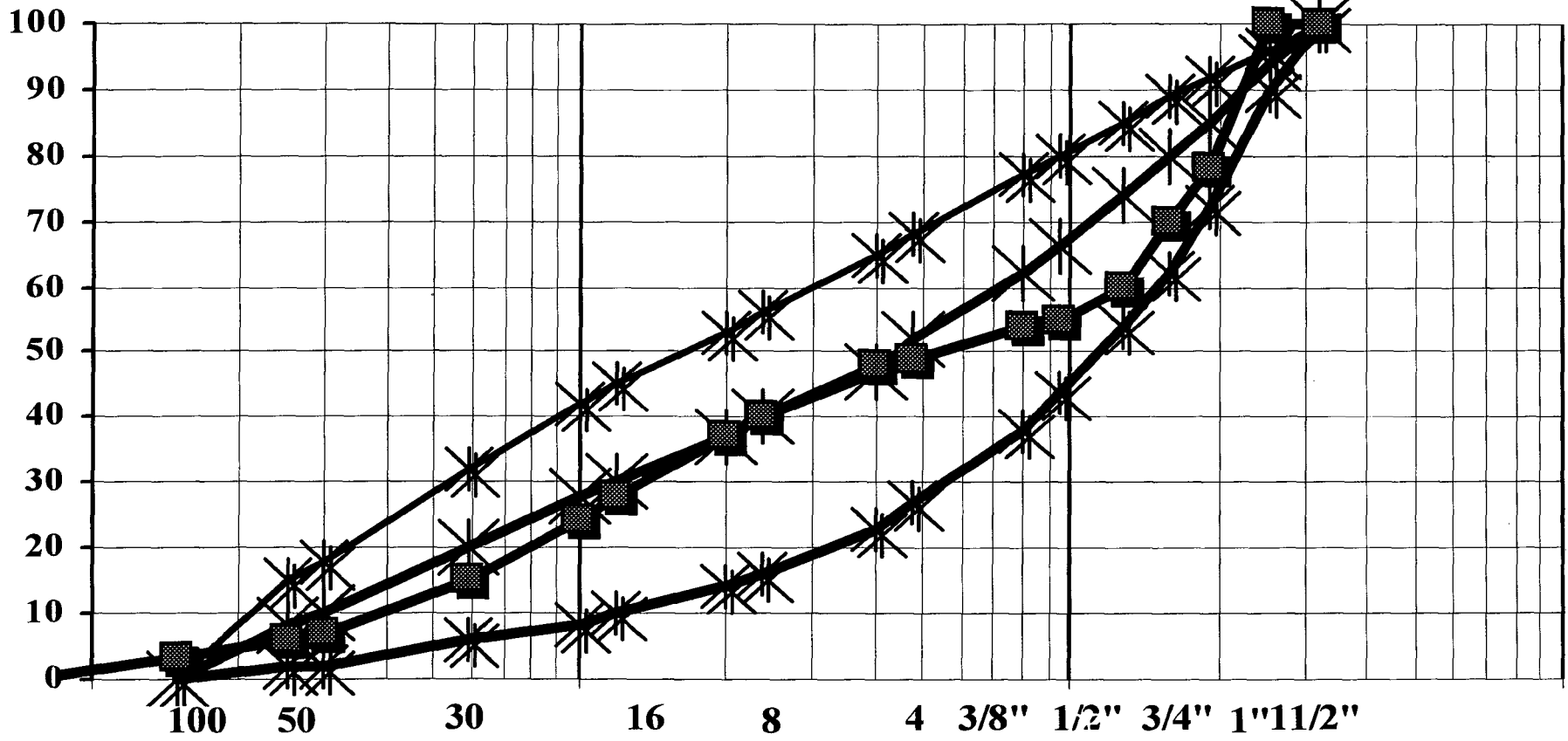
Tesis: " Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 kg/cm² a 1200 kg/cm²

Agregado Global.-

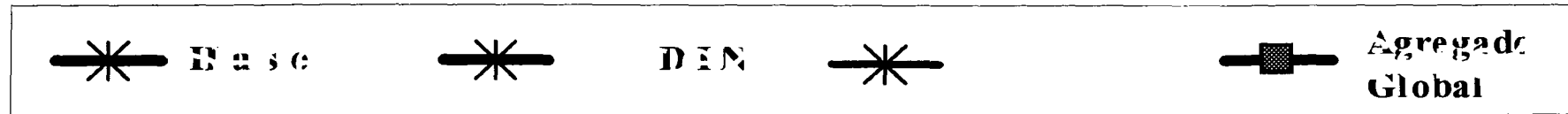
El cálculo de la curva de la granulometría del agregado global es realizado con las proporciones de arena y piedra que intervendrán en el diseño de mezcla.

Los porcentajes de cada agregado son hallados con el método del agregado global, en la tesis realizada fueron de 50% de Arena + 50% de Piedra.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GLOBAL									
Malla	P.Ret.	% Ret.	P.Ret.	% Ret.	50%P	50%A	50% P+50%A	%Ret. Ac.	% Pasa
3/4"	2200	44%			22%		22%	22%	78%
1/2"	1800	36%			18%		18%	40%	60%
3/8"	500	10%			5%		5%	45%	55%
N° 4	500	10%	6.0	1.2%	5%	0.6%	6%	50.6%	49%
N° 8			83.9	16.8%		8.4%	8.4%	59.8%	40%
N° 16			134.6	26.9%		13.5%	13.5%	72.5%	28%
N° 30			121.9	24.4%		12.2%	12.2%	84.7%	15%
N° 50			83.0	16.6%		8.3%	8.3%	93%	7%
N° 100			42.6	8.5%		4.3%	4.3%	97%	3%
FONDO			28.0	5.6%		2.8%	2.8%	100%	0%



GRAFICA N° 1.2 CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GLOBAL



Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Determinación de las Propiedades de los Concretos de 550 kg/cm² a 1200 kg/cm²

A-1.2.0 MODULO DE FINURA

Se realizaron los cálculos del módulo de finura para cada uno de los ensayos de granulometría realizados:

Agregado Fino:

Arena Gruesa.

Arena Fina.

Combinación de Arenas.

Agregado Grueso:

Piedra Chancada de 90% Dioritas + 10% Andesitas.

Piedra Chancada de Cuarzitas.

Agregado Global.

A-1.2.1 Módulo de Finura de los Agregados Finos.-

Agregado Fino: ARENA GRUESA				
MALLA	Peso Retenido	% Retenido	% Acum. Ret.	% Pasa
9.5 mm. = 3/8"	0.0	0%	0%	100%
4.75 mm. = N° 4	6.0	1.2%	1.2%	98.8%
2.36 mm. = N° 8	83.9	16.8%	18%	82%
1.18 mm. = N° 16	134.6	26.9%	45%	55.1%
600 micrones = N° 30	121.9	24.4%	69%	30.7%
300 micrones = N° 50	83.0	16.6%	86%	14.1%
150 micrones = N° 100	42.6	8.5%	94%	5.6%
FONDO	28.0	5.6%	100	0.0%

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{1.2\% + 18\% + 45\% + 69\% + 86\% + 94\%}{100} = 3.13$$

De acuerdo a la clasificación podemos observar que el valor hallado corresponde a la clasificación de **Arena Gruesa**.

Arena Fina:

Agregado Fino: ARENA FINA				
MALLA	Peso Retenido	% Retenido	% Acum. Ret.	% Pasa
9.5 mm. = 3/8"	0.0	0%	0%	100%
4.75 mm. = N° 4	0.0	0%	0.0%	100%
2.36 mm. = N° 8	1.4	0.28%	0.28%	100%
1.18 mm. = N° 16	0.8	0.16%	0.44%	99.6%
600 micrones = N° 30	5.8	1.2%	1.60%	98.4%
300 micrones = N° 50	379.0	75.8%	77.40%	22.6%
150 micrones = N° 100	96.0	19.2%	96.60%	3.4%
FONDO	17.0	3.4%	100.00%	0.0%

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{0\% + 0.28\% + 0.44\% + 1.60\% + 77.40\% + 96.6\%}{100} = 1.76$$

De acuerdo a la clasificación podemos observar que el valor hallado corresponde a la clasificación de **Arena fina**.

Arena Fina combinada con la Arena Gruesa:

GRANULOMETRIA DE LA COMBINACION DE ARENAS								
MALLA	P. Ret. A.F	P. Ret. A.G	% Ret.A.F	% Ret.A.G	% Pasa A.F	% Pasa A.G	%Acum. Ret	90%A.G+10%
3/8"	0	0	0%	0%	100%	100%	0%	100%
N° 4	0	6	0%	1.2%	100%	99%	1.1%	98.9%
N° 8	1.4	83.9	0.28%	16.8%	100%	82%	16.2%	83.8%
N° 16	0.8	134.6	0.16%	26.9%	100%	55.1%	40.4%	59.6%
N° 30	5.8	121.9	1.2%	24.4%	98%	30.7%	62.5%	37.5%
N° 50	379	83	75.8%	16.6%	23%	14.1%	85.0%	15.0%
N° 100	96	42.6	19.2%	8.5%	3.4%	5.6%	94.6%	5.4%
FONDO	17	28	3.4%	5.6%	0%	0.0%	100%	0.0%

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{1.1\% + 16.2\% + 40.4\% + 62.5\% + 85\% + 94.6\%}{100} = 3.00$$

De acuerdo a la clasificación podemos observar que el valor hallado corresponde a la clasificación de **Arena Gruesa**.

A-1.2.2 Módulo de Finura del Agregado Grueso.-

La granulometría fue muy similar en ambos agregados, esto fue posible por que se tuvo que triturar el agregado grueso proveniente de la roca cuarcita y de esa manera se pudo controlar el tamaño nominal máximo.

Agregado Grueso: ROCAS DIORITA, CUARCITA				
MALLA	Peso Retenido	% Retenido	% Acum. Ret.	% Pasa
3/4"	2200.0	44%	44%	56%
1/2"	1800.0	36.0%	80.0%	20%
3/8"	500.0	10.0%	90%	10%
N° 4	500.0	10.0%	100%	0.0%

$$M. F. = \frac{44\% + 80\% + 90\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\% + 100\%}{100} = 8.14$$

De acuerdo a la clasificación podemos observar que el valor hallado corresponde a la clasificación de **Agregado Grueso de Partículas Gruesas**.

Agregado Global.-

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GLOBAL									
MALLA	P. Ret.	% Ret.	P. Ret.	% Ret.	50% P	50% A	50%P+50%A	% Ret. Ac	% Pasa
3/4	2200.00	44%			22%		22%	22%	78%
1/2	1800.00	36%			18%		18%	40%	60%
3/8"	500.00	10%			5%		5%	45%	55%
N° 4	500.00	10%	6.0	1.2%	5%	0.6%	6%	50.6%	49%
N° 8			83.9	16.8%		8.4%	8.4%	59.8%	40%
N° 16			134.6	26.9%		13.5%	13.5%	72.5%	28%
N° 30			121.9	24.4%		12.2%	12.2%	84.7%	15%
N° 50			83.0	16.6%		8.3%	8.3%	93.0%	7%
N° 100			42.6	8.5%		4.3%	4.3%	97%	3%
FONDO			28.0	5.6%		2.8%	2.8%	100%	0%

$$M. F. = \frac{22\% + 40\% + 45\% + 50.6\% + 59.8\% + 72.5\% + 84.7\% + 93\% + 97\%}{100} = 5.65$$

De acuerdo a la clasificación podemos observar que el valor hallado corresponde a la recomendación de uso de **Mezcladora**.

Cabe anotar que es recomendable para estos casos una mezcladora de eje vertical, en la tesis se utilizó una mezcladora de paletas.

A-1.3.0 SUPERFICIE ESPECÍFICA

Se realizaron los cálculos de superficie específica para cada uno de los ensayos de granulometría realizados:

A-1.3.1 Superficie Específica de los Agregados Finos.-

Arena Gruesa:

Agregado Fino: ARENA GRUESA			
MALLA	% Retenido	Diámetro Prom.	% Ret/Diám
9.5 mm. = 3/8"	0%	1.111	0.000
4.75 mm. = N° 4	1.2%	0.556	2.158
2.36 mm. = N° 8	16.8%	0.357	47.059
1.18 mm. = N° 16	26.9%	0.179	150.279
600 micrones = N° 30	24.4%	0.089	274.157
300 micrones = N° 50	16.6%	0.045	368.889
150 micrones = N° 100	8.5%	0.022	386.364
FONDO	5.6%	0.011	509.091
Sumatoria de los Cocientes			1737.997

$$S_e = \frac{6 * \sum \text{cocientes}}{100 * P.E} = \frac{6 * 1737.99}{100 * 2.64} = 39.50 \text{ cm}^2/\text{g}$$

Arena Fina:

Agregado Fino: ARENA FINA			
MALLA	% Retenido	Diámetro Prom.	%Ret/Diam
9.5 mm. = 3/8"	0%	1.111	0.000
4.75 mm. = N° 4	0%	0.556	0.000
2.36 mm. = N° 8	0.28%	0.357	0.784
1.18 mm. = N° 16	0.16%	0.179	0.894
600 micrones = N° 30	1.2%	0.089	13.034
300 micrones = N° 50	75.8%	0.045	1684.444
150 micrones = N° 100	19.2%	0.022	872.727
FONDO	3.4%	0.011	309.091
Sumatoria de Cocientes			2880.975

$$S_e = \frac{6 * \sum \text{cocientes}}{100 * P.E} = \frac{6 * 2880.97}{100 * 2.51} = 68.86 \text{ cm}^2/\text{g}$$

Arena Gruesa + 10% Arena Fina

GRANULOMETRIA DE LA COMBINACION DE ARENAS				
MALLA	% Retenido	%Acum. Ret	Diám. Prom	% Ret/D. Prom
9.5 mm. = 3/8"	0%	0%	1.111	0.000
4.75 mm. = N° 4	1.1%	1.1%	0.556	1.978
2.36 mm. = N° 8	15.1%	16.2%	0.357	42.297
1.18 mm. = N° 16	24.2%	40.4%	0.179	135.196
600 micrones = N° 30	22.1%	62.5%	0.089	248.315
300 micrones = N° 50	22.5%	85.0%	0.045	500.000
150 micrones = N° 100	9.6%	94.6%	0.022	436.364
FONDO	5.4%	100%	0.011	490.909
Sumatoria de los Cocientes				1855.058

$$S_e = \frac{6 * \sum \text{cocientes}}{100 * P.E} = \frac{6 * 1855.06}{100 * 2.64} = 42.16 \text{ cm}^2/\text{g}$$

A-1.3.2 Superficie Específica del Agregado Grueso.-

Agregado Grueso:

Agregado Grueso: ROCAS DIORITA, CUARCITA				
MALLA	% Retenido	% Acum. Ret.	D. Prom.	%Ret/D.Prom
3/4"	44%	44%	2.223	19.793
1/2"	36.0%	80.0%	1.588	22.670
3/8"	10.0%	90%	1.112	8.993
N° 4	10.0%	100%	0.556	17.986
Sumatoria de los Cocientes				69.442

$$S_{e \text{ DIORITA}} = \frac{6 * \sum \text{cocientes}}{100 * P.E} = \frac{6 * 69.44}{100 * 2.75} = 1.52 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$S_{e \text{ CUARCITA}} = \frac{6 * \sum \text{cocientes}}{100 * P.E} = \frac{6 * 69.44}{100 * 2.58} = 1.61 \text{ cm}^2/\text{g}$$

A-1.4.0 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se realizaron los ensayos de contenido de humedad para los agregados:

Agregado Fino:

Arena Gruesa.

Arena Fina.

Combinación de Arenas.

Agregado Grueso:

Piedra Chancada de 90% Dioritas + 10% Andesitas.

Piedra Chancada de Cuarzitas.

Agregado Global.

A-1.4.1 Materiales Ensayados en la Tesis.-

Se presentan los cuadros resúmenes:

AGREGADO GRUESO		ROCA DIORITA		ROCA CUARCITA	
Cálculos	DESCRIPCION	I	II	I	II
A	Peso del material en estado natural	1000	1000	1000	1000
B	Peso del material secado al horno	994.63	994.53	999	998.8
$(A - B) * 100 / B$	Contenido de Humedad	0.54%	0.55%	0.10%	0.12%

AGREGADO FINO		ARENA GRUESA		ARENA FINA	
Cálculos	DESCRIPCION	I	II	I	II
A	Peso del material en estado natural	500	500	500	500
B	Peso del material en estado natural	497.36	498.25	496.4	496.3
$(A - B) * 100 / B$	Contenido de Humedad	0.53%	0.52%	0.73%	0.73%

A-1.5.0 ABSORCIÓN

Se realizaron los de absorción para cada uno de los agregados:

Agregado Fino:

Arena Gruesa.

Arena Fina.

Agregado Grueso:

Piedra Chancada de 90% Dioritas + 10% Andesitas.

Piedra Chancada de Cuarzitas.

A-1.5.1 Ensayos Realizados en la Tesis.-

En la tesis aplicamos los ensayos de absorción a los agregados:

a) Agregado Grueso.-

- Roca Diorita.

- Roca Cuarzita.

Agregado de DIORITA		RESULTADOS		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la muestra seca al horno	4967	4966	4967
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	5000	5000	5000
$(B - A)/A * 100$	Porcentaje de Absorción	0.66%	0.68%	0.67%

Agregado de CUARCITA		RESULTADOS		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la muestra seca al horno	5005	5008	5006.5
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	5045	5048	5046.5
$(B - A)/A * 100$	Porcentaje de Absorción	0.80%	0.80%	0.80%

ARENA FINA		Resultados		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la arena secada al horno	495.80	495.70	495.75
B	Peso de la arena saturada superficialmente seca	500.00	500.00	500.00
$(B - A)/A * 100$	Porcentaje de Absorción	0.83%	0.87%	0.85%

ARENA GRUESA		Resultados		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la arena secada al horno	496.50	496.48	496.49
B	Peso de la arena saturada superficialmente seca	500.00	500.00	500.00
$(B - A)/A * 100$	Porcentaje de Absorción	0.70%	0.71%	0.70%

A-1.6.0 PESO ESPECIFICO

Se realizaron los cálculos del módulo de finura para cada uno de los ensayos de granulometría realizados:

Agregado Fino:

Arena Gruesa.

Arena Fina.

Agregado Grueso:

Piedra Chancada de 90% Dioritas + 10% Andesitas.

Piedra Chancada de Cuarzitas.

Peso Específico de los Agregados Gruesos.-

Roca Diorita		Resultados		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la muestra seca al horno	4967	4966	4967
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	5000	5000	5000
D	Peso de la muestra saturada dentro del agua + E	3615.8	3620	3617.9
E	Peso de la canastilla	420	420	420
C = D - E	Peso de la muestra saturada dentro del agua	3198.5	3200	3199.25
A / (A - C)	Peso Especifico Aparente	2.8	2.81	2.81
B / (B - C)	Peso Especifico de Masa Superficialmente Seco	2.77	2.78	2.78
A / (B - C)	Peso Especifico de Masa	2.75	2.76	2.75
(B - A)/A *100	Porcentaje de Absorción	0.66%	0.68%	0.67%

Roca Cuarzita		Resultados		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la muestra seca al horno	5005	5008	5007
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	5045	5048	5047
D	Peso de la muestra saturada dentro del agua + E	3565	3563	3564
E	Peso de la canastilla	460	460	460
C = D - E	Peso de la muestra saturada dentro del agua	3105	3103	3104
A / (A - C)	Peso Especifico Aparente	2.63	2.63	2.63
B / (B - C)	Peso Especifico de Masa Superficialmente Seco	2.6	2.6	2.6
A / (B - C)	Peso Especifico de Masa	2.58	2.57	2.58
(B - A)/A *100	Porcentaje de Absorción	0.80%	0.80%	0.80%

Peso Específico de los Agregados Finos.-

Arena Gruesa		Resultados		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la arena secada al horno	495.80	495.70	495.75
B	P. de la arena saturada superficialmente seca	500.00	500.00	500.00
C	Peso de la arena sss + P. del balón	671.2	671.1	671.15
D	P. de la arena sss + P. del balón + P. del H ₂ O	974.23	972.23	973.23
E	Peso del balón	171.2	171.2	171.2
W = D - C	Peso del agua	303.03	301.13	302.08
	P. de la arena secada al horno + P. del balón	667	667	667
	Volumen del balón cm ³	500.00	500.00	500.00
A / (500 - W)	Peso Especifico de Masa	2.52	2.49	2.51

Arena Fina		Resultados		
Formulas	Procedimiento	Ensayo I	Ensayo II	Promedio
A	Peso de la arena secada al horno	495.80	495.70	495.75
B	Peso de la arena saturada superficialmente seca	500.00	500.00	500.00
C	Peso de la arena s s s + P. del balón	671.2	671.1	671.15
D	Peso de la arena s s s + P. del balón + P. del agua	974.23	972.23	973.23
E	Peso del balón	171.2	171.2	171.2
W = D - C	Peso del agua	303.03	301.13	302.08
	Peso de la arena secada al horno + Peso del balón	667	667	667
	Volumen del balón cm ³	500.00	500.00	500.00
A / (500 - W)	Peso Especifico de Masa	2.52	2.49	2.51

A-1.7.0 PESO UNITARIO

A-1.7.1 Materiales Ensayados en La Tesis:

PESO UNITARIO SUELTO		DIORITA		CUARCITA	
Cálculos	DESCRIPCION	I	II	I	II
A	Peso balde + Peso muestra suelta	30800	30801	29652	29227
B	Peso de la vasija	8500	8500	8500	8500
A-B	Peso de la muestra en estado suelto	22300	22301	21152	20727
C	Volúmen de la vasija (½ pulg)	14.16	14.16	14.16	14016
(A - B) / C	PESO UNITARIO SUELTO P.U.S	1575.04	1575.10	1494.00	1464.00

PESO UNITARIO COMPACTADO		DIORITA		CUARCITA	
Cálculos	DESCRIPCION	I	II	I	II
A	Peso balde+Peso muestra compactada	32000	32004	32074	31847
B	Peso de la vasija	8500	8500	8500	8500
A-B	Peso de la muestra en estado compacta	23500	23504	23574	23347
C	Volúmen de la vasija (½ pulg)	14.16	14.16	14.16	14.16
(A - B) / C	PESO UNITARIO COMPACTADO	1659.79	1660.03	1665.00	1649.00

PESO UNITARIO SUELTO		ARENA GRUESA		ARENA FINA	
Cálculos	DESCRIPCION	I	II	I	II
A	Peso balde + Peso muestra suelta	7363	7303	6670	6657
B	Peso de la vasija	2700	2700	2700	2700
A-B	Peso de la muestra en estado suelto	4663	4603	3970	3957
C	Volúmen de la vasija (½ pulg)	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
(A - B) / C	PESO UNITARIO SUELTO P.U.S (Kg/m³)	1648.00	1627.00	1403.00	1400.00

PESO UNITARIO COMPACTADO		ARENA GRUESA		ARENA FINA	
Cálculos	DESCRIPCION	I	II	I	II
A	Peso balde+Peso muestra compactada	7791	7785	7250	7230
B	Peso de la vasija	2700	2700	2700	2700
A-B	Peso de la muestra en estado compacta	5091	5085	4553	4525
C	Volúmen de la vasija (½ pulg)	0.00	0.00	0.0028	0.0028
(A - B) / C	PESO UNITARIO COMPACTADO (Kg/m³)	1799.00	1797.00	1609.00	1599.00

ANEXO II

DISEÑO DE MEZCLAS

Se presentan los resultados completos de los ensayos realizados en el proceso del diseño de mezclas del concreto en sus tres fases:

- Fase de Concreto Simple.
- Fase de Concreto con Aditivo.
- Fase de Concreto con Aditivo más Microsilica.

A-2.1.0 CONCRETO SIMPLE.-

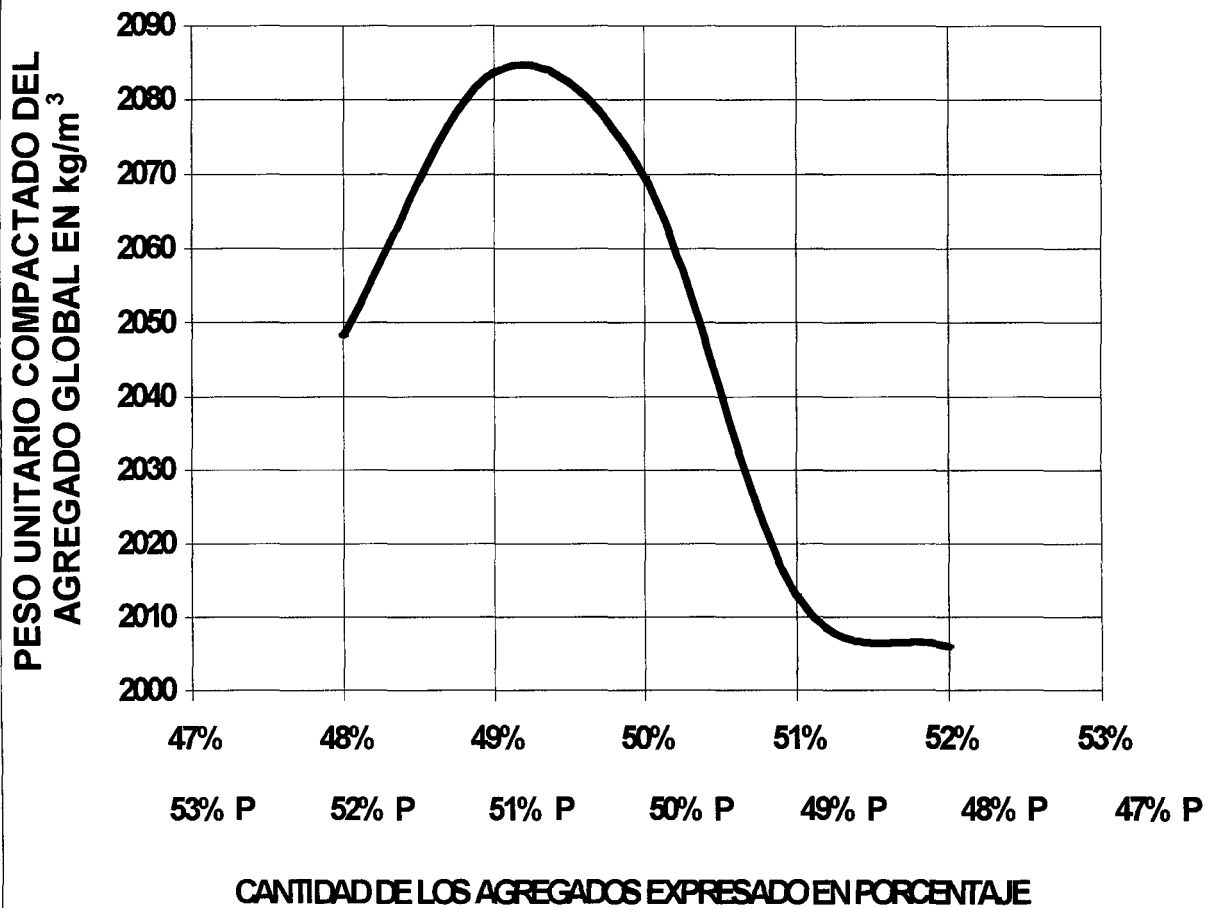
Proporciones de los Agregados con Tamaño Nom. Max. 3/4"

Se presentan los resultados obtenidos al aplicar el método del agregado global para el cálculo de las proporciones de los agregados, ensayados con el agregado grueso de tamaño nominal máximo de 3/4".

Proporciones de Arena y Piedra con sus Pesos Unitarios Compactados					
% de los	48% Arena	49% Arena	50% Arena	51% Arena	52% Arena
Agreg.	52% Piedra	51% Piedra	50% Piedra	49% Piedra	48% Piedra
Pesos kg	37500	38000	37800	37000	36900
P.Rec.	8500	8500	8500	8500	8500
P.Mat.	29000	29500	29300	28500	28400
Vol.m ³	14.158	14.158	14.158	14.158	14.158
P.U.C	2048.31	2083.63	2069.50	2013.00	2005.93

- Con estos datos, se realiza la gráfica para el cálculo del máximo peso unitario compactado. En este caso se halla que es el 50% de arena y el 50% de piedra.

Gráfica para Hallar la Máxima Densidad del Agregado Global



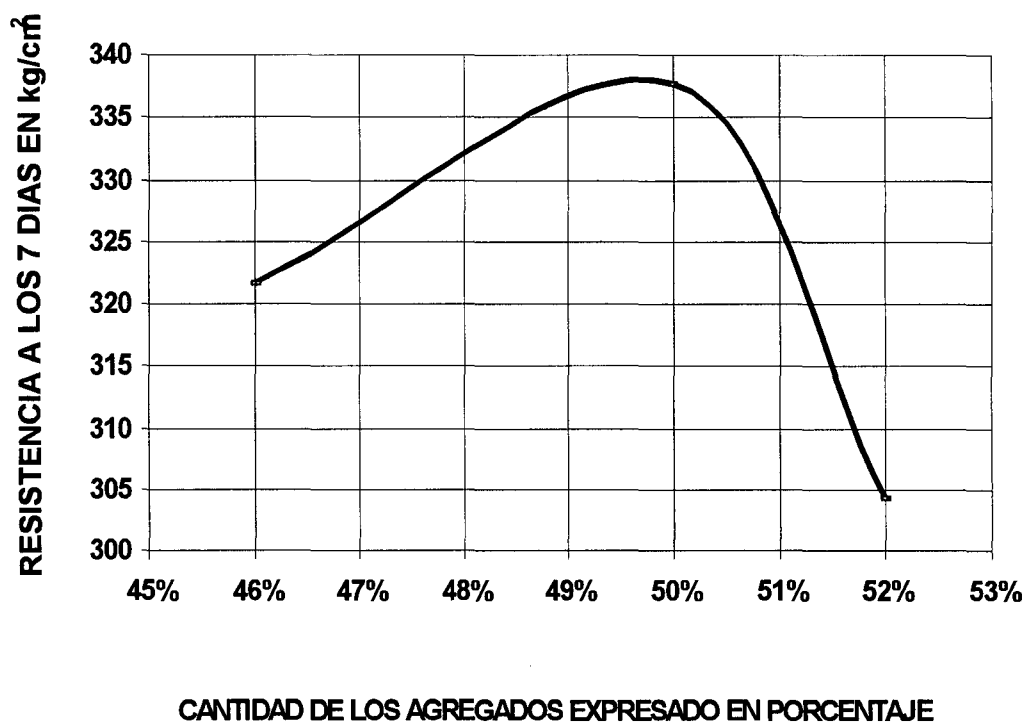
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Evaluación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg/cm²"

Verificación de las Proporciones de los Agregados en Mezcla de Concreto.-

Se presentan los resultados de la verificación de las proporciones de agregados hallados en los ensayos de compresión a los 7 días de edad, preparándose las probetas de concreto con las tres proporciones más cercanas al máximo peso unitario compactado. Se presenta la gráfica que comprueba o corrige las proporciones de los agregados. En la investigación se confirmaron 50% Arena y 50% Piedra.

Resultados de Resistencias a 7 días con Tn.m 3/4"				
Porcentaje	Carga	Diametro	Area	Presión
54%Arena	57600	15.4	186.265	309.237
	58200	15.4	181.458	320.735
46%Piedra	60000	15.2	179.079	335.048
Promedio				321.673
Desv. Estand.				12.931
Coef. Variab.				4.02%
Porcentaje	Carga	Diametro	Area	Presión
50% Arena	62600	15.36	185.299	337.832
	63800	15.15	180.267	353.919
50%Piedra	60200	15.46	187.719	320.692
Promedio				337.481
Desv. Estand.				16.616
Coef. Variab.				4.92%
Porcentaje	Carga	Diametro	Area	Presión
48% Arena	59700	15.308	184.09	324.298
	61700	15.395	186.144	331.464
52%Piedra	57000	15.45	187.355	304.235
Promedio				319.999
Desv. Estand.				14.114
Coef. Variab.				4.41%

GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA HALLAR LOS PORCENTAJES DEL AGREGADO GLOBAL



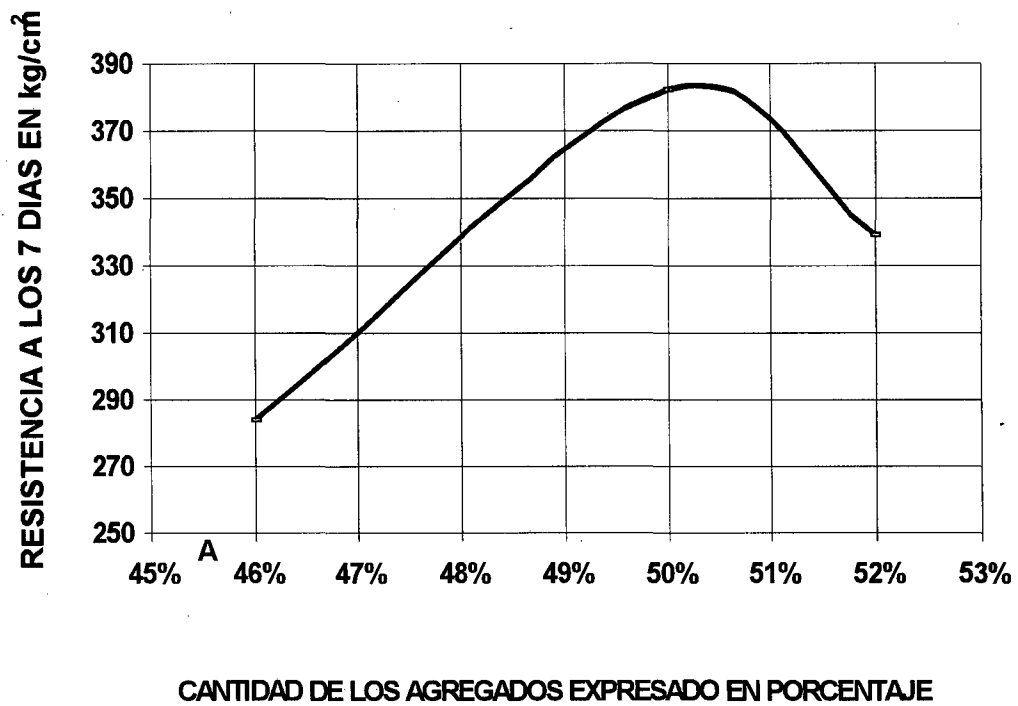
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Evaluación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm²"

Proporciones de Agregados con Tamaño Nominal Máximo de 1/2"

Se presentan los resultados de la verificación de las proporciones de agregados hallados en los ensayos de compresión a los 7 días de edad, preparándose las probetas de concreto con las tres proporciones más cercanas al máximo peso unitario compactado. Se presenta la gráfica que comprueba o corrige las proporciones de los agregados. En la investigación se confirmaron 50% Arena y 50% Piedra.

RESULTADOS DE LAS RESISTENCIAS A 7 DIAS CON Tamaño nominal máximo de 1/2"				
% Agregad	Carga	Diámetro	Area	Presión
54% Arena	24000	10	78,54	305,58
	21800	10	78,54	277,57
	20800	10	78,54	264,83
46% Piedra	22600	10	78,54	287,75
Promedio				283,93
Desv. Est.				20,84
Coef.Var.				7,24%
% Agregad	Carga	Diámetro	Area	Presión
50% Arena	29500	10	78,54	375,60
	29400	10	78,54	374,33
50% Piedra	31100	10	78,54	395,98
Promedio				381,97
Desv. Est.				12,15
Coef.Var.				3,18%
% Agregad	Carga	Diámetro	Area	Presión
48% Arena	26700	10	78,54	339,95
	30000	10	78,54	381,97
52% Piedra	23200	10	78,54	295,39
Promedio				339,11
Desv. Est.				43,30
Coef.Var.				12,77%

**GRAFICA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA
HALLAR LOS PORCENTAJES DEL AGREGADO GLOBAL
CON Tnominal máximo DE 1/2"**



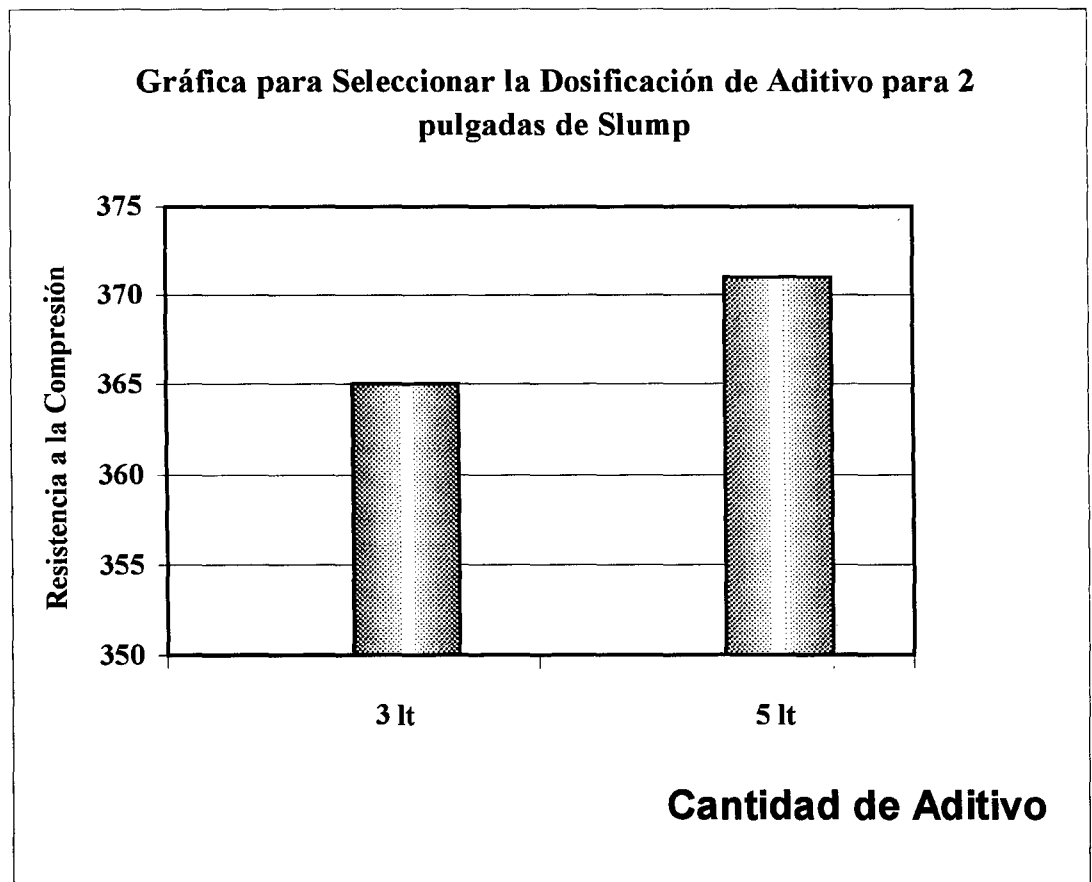
Tesis: "Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de Obtención y Evaluación de las Propiedades de los Concretos de 550 - 1200 kg /cm²"

A-2.2.0 CONCRETO CON ADITIVO.-

Resultados del Primer Tanteo para hallar la dosificación.-

Se escogió la dosificación más económica, además de no encontrarse una diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la compresión. En este caso de 3 lt, en ambos aditivos, pues mostraron similar comportamiento.

Resultados de Resistencia a Compresión para hallar la Cantidad óptima de Aditivo para 2 pulgadas de Slump				
Aditivo	Carga	Diámetro	Area	Presión
5 lt por metro cúbico de concreto	75400	15,65	192,36	391,97
	72800	15,7	193,59	376,05
	71000	15,4	186,27	381,17
Promedio				383,06
Desv.Estand.				8,13
Coef. Variab.				2,12%
Aditivo	Carga	Diámetro	Area	Presión
3 lt por metro cúbico de concreto	74000	15,64	192,12	385,18
	68200	15,28	183,37	371,93
	62000	15,22	181,94	340,77
Promedio				365,96
Desv.Estand.				22,80
Coef. Variab.				6,23%

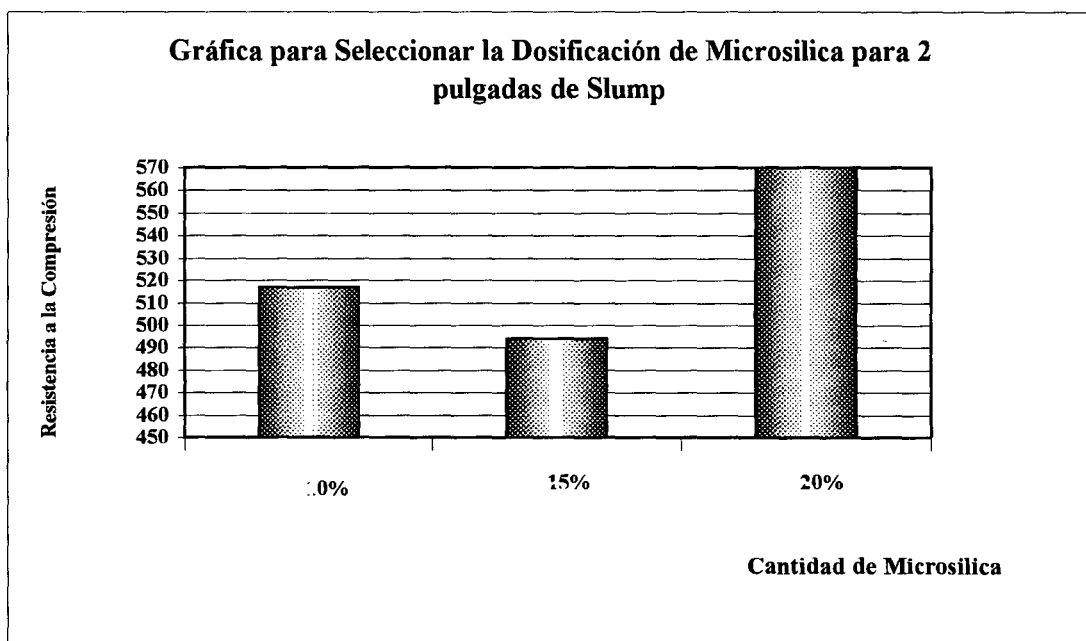


A-2.3.0 CONCRETO CON ADITIVO MAS MICROSILICA.-

Se presenta una propuesta de incluir las propiedades de los aditivos y la microsilica para el diseño de mezcla y obtener un metro cúbico de concreto.

Resistencias a 7 días del Concreto c/Aditivo+Microsilica				
Microsilica	10%	15%	17%	20%
Slump	2"	1"	1/2"	0,2"
Resistencia	517	494	570.41	No Trabajable

Cálculo del Volumen de la Mezcla de Concreto	
Volumen total en m ³ de la mezcla con 10% MS	1.047
Volumen total en m ³ de la mezcla con 15% MS	1.061
Volumen total en m ³ de la mezcla con 17% MS	1.067
Volumen total en m ³ de la mezcla con 20% MS.	1.074



Cálculo de las Proporciones de la Mezcla con el Método del ACI - 211						
Materiales		Volumen	Pes. Secos	Pesos Hum	D.U	T.O
Cemento	600/3110	0.193	600 kg	600 kg	1	14.06
Agua	240/1000	0.24	240 kg	268.2 lt	0.45	6.327
Arena		-	675.8 kg	679.4 kg	1.13	15.89
Piedra		-	753.5 kg	757.6 kg	1.26	17.72
% Aire		0.02	El porcentaje de Aire del diseño es 2%			
% Aditivo	9 /1210	0.007	Suma Total		3.842	
% MS	60/2200	0.027				
Sumatoria Parcial de Vol.		0.488				
Volumen Total de Mezcla		1 m ³				
Volumen corresp a los Ag.		1 - 0,488 = 0,512				

Cálculo de los Volúmenes de los Agregados				
Vol del Agreg	Vol total de ag * %Agreg de Met. Ag. Glob*			
Vol de Arena	0.512	* 0,50%	=	0,256 m ³
Vol de Piedra	0.512	* 0,50%	=	0,256 m ³

Cálculo de los Pesos Secos de los Agregados				
Peso del Agreg	Peso Especifico del Agreg.* Volumen del Ag.			
Peso de Arena	2640	* 0,274	=	675.84 kg
Peso de Piedra	2750	* 0,274	=	753,50 kg

Cálculo de los Pesos Húmedos de los Agregados				
P.H del Agreg	Peso Seco Agreg * (1+ C.H del Agreg) 100			
P.H de la Arena	675.84 * (1+0,0053)	=	679.42 kg	
P.H de la Piedra	753.50 * (1+0,0055)	=	757.64 kg	

Corrección del Agua por Agregados				
C. Agua por Ag.	Peso Seco Agreg * (C.H Ag.-% Abs Ag) 100			
C.A por Arena	679,4 * (0,53 - 0,70)/100	=	-1.15	
C.A por Piedra	757,6 * (0,55 - 0,67)/100	=	-0.91	
C.A por MS.	60 * (0,2-45)/100	=	-26.15	
Corrección total de Agua por los Agregados+MS	=	-28.21		
Agua corregida = Agua de las tablas - Corrección total =				240 -(-28.21)= 268,2

PROPIEDADES DEL CONCRETO

3.1 Ensayos en Concreto Endurecido.-

Resistencia a la Compresión.-

a-0) Etapas Preliminar.-

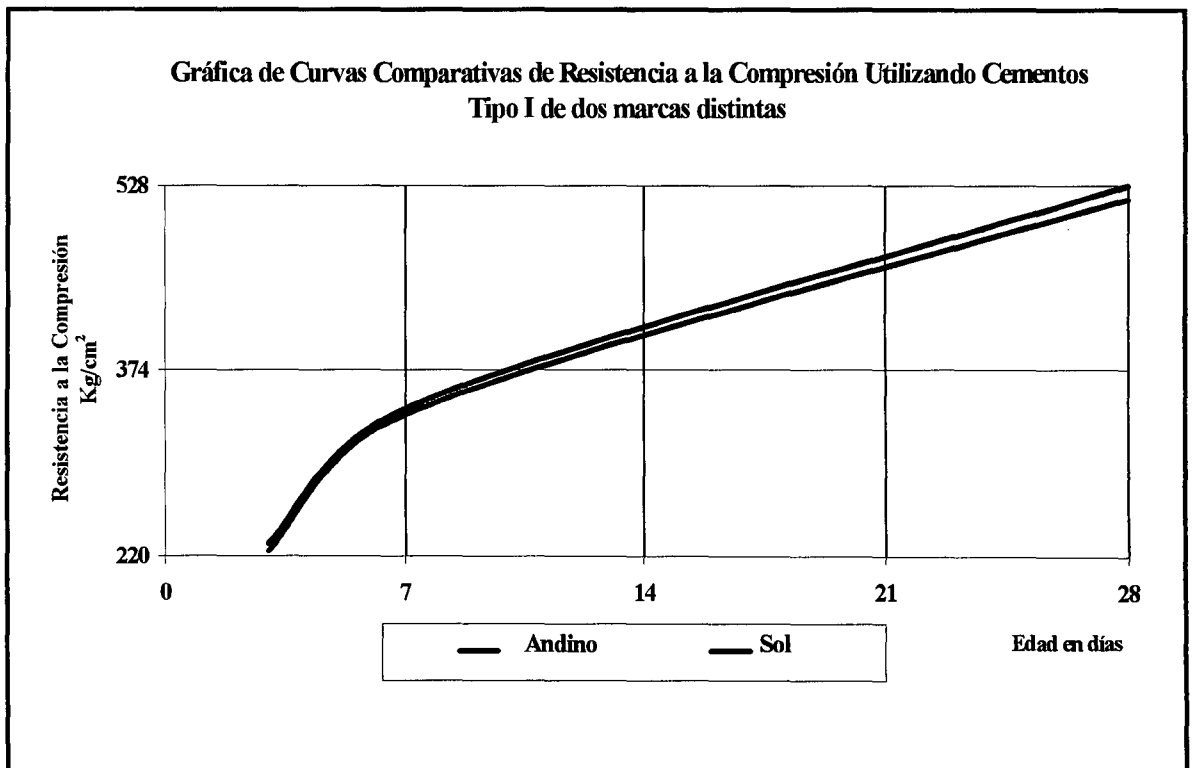
Cemento Andino tipo I + Aditivo + MS						
Ensayos	Resultados a 28 días			Resultados a 42 días		
Nº	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión
1	94100.00	183.89	511.72	127000.00	183.85	690.78
2	93200.00	185.20	503.24	116400.00	186.26	624.93
3	90500.00	186.26	485.88	114000.00	183.85	620.06
4	90000.00	185.00	486.49	112000.00	186.30	601.18
5	89800.00	183.40	489.64	112000.00	186.26	601.31
6	89000.00	186.30	477.72	108800.00	183.89	591.67
Promedio			492.45			621.66
D. Estandar			12.58			36.12
Coef. Variab.			2.6%			5.8%

a) Etapa Primera.-

Concreto Simple:

Cemento Andino tipo I									
Ensayos	Resultados a 3 días			Resultados a 7 días			Resultados a 28 días		
Nº	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión
1	39900.00	176.72	225.79	63800.00	180.27	353.91	95200.00	180.27	528.10
2	39600.00	176.72	224.09	62600.00	185.29	337.85	93000.00	180.27	515.89
3	38900.00	176.72	220.13	60200.00	187.72	320.69	91000.00	179.08	508.15
Promedio			223.34			337.48			517.38
D. Estandar			2.90			16.61			10.05
Coef. Variab.			1.3%			4.9%			1.9%

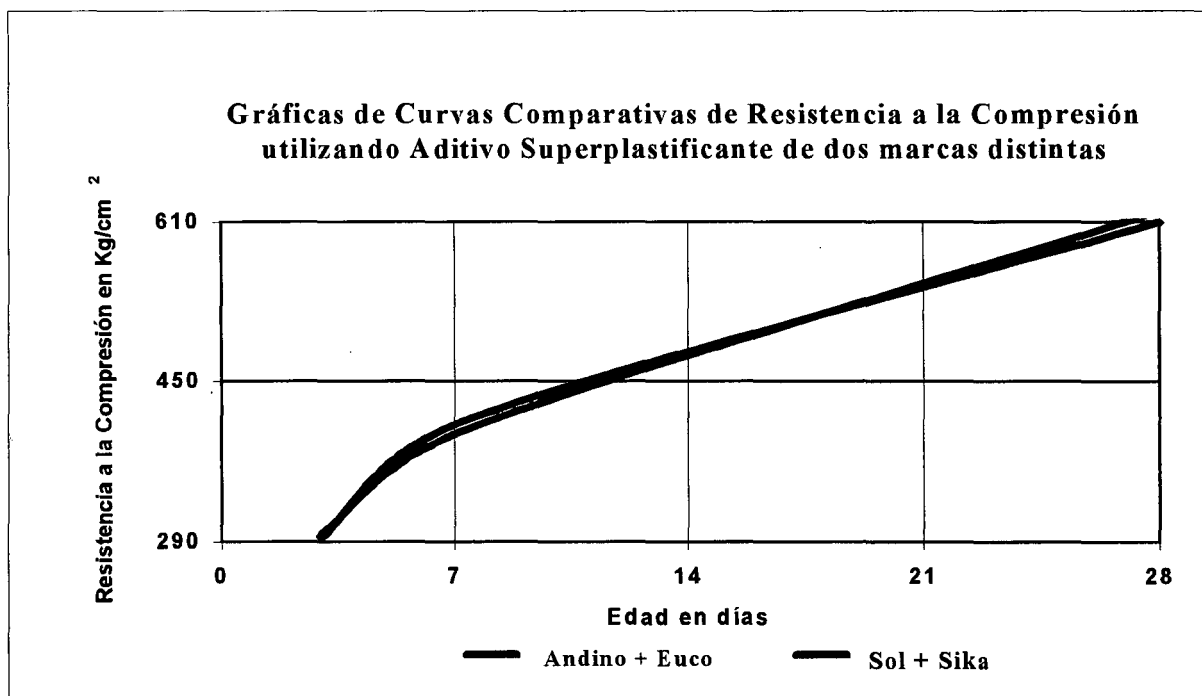
Cemento Sol tipo I									
Ensayos	Resultados a 3 días			Resultados a 7 días			Resultados a 28 días		
Nº	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión
1	40100.00	176.72	226.91	62200.00	178.60	348.26	43000.00	78.54	547.49
2	39000.00	176.72	220.69	61500.00	180.02	341.63	41800.00	78.54	532.21
3	38500.00	176.72	217.86	60200.00	179.07	336.18	39500.00	78.54	502.93
Promedio			221.82			342.02			527.54
D. Estandar			4.63			6.05			18.49
Coef. Variab.			2.1%			1.8%			3.5%



Concreto con Aditivo Superplastificante.-

Cemento Andino tipo I + Aditivo Euco 537									
Ensayos	Resultados a 3 días			Resultados a 7 días			Resultados a 28 días		
Nº	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión
1	55800.00	183.85	303.51	70600.00	178.84	394.77	48800.00	78.54	621.34
2	54300.00	185.05	293.43	74000.00	180.27	410.50	47800.00	78.54	608.61
3	52200.00	183.85	283.93	73800.00	179.07	412.13	46800.00	78.54	595.87
Promedio			293.62			405.80			608.61
D. Estandar			9.79			9.59			12.73
C. Variab.			3.3%			2.4%			2.1%

Cemento Sol tipo I + Aditivo Sikament 537									
Ensayos	Resultados a 3 días			Resultados a 7 días			Resultados a 28 días		
Nº	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión	Carga	Area	Presión
1	55400.00	176.72	313.50	70000.00	178.84	391.41	49800.00	78.54	634.07
2	52000.00	176.72	294.25	71000.00	179.07	396.49	48300.00	78.54	614.97
3	50900.00	176.72	288.03	72200.00	180.27	400.51	47900.00	78.54	609.88
Promedio			298.59			396.14			619.64
D. Estandar			13.28			4.56			12.75
C. Variab.			4.4%			1.2%			2.1%



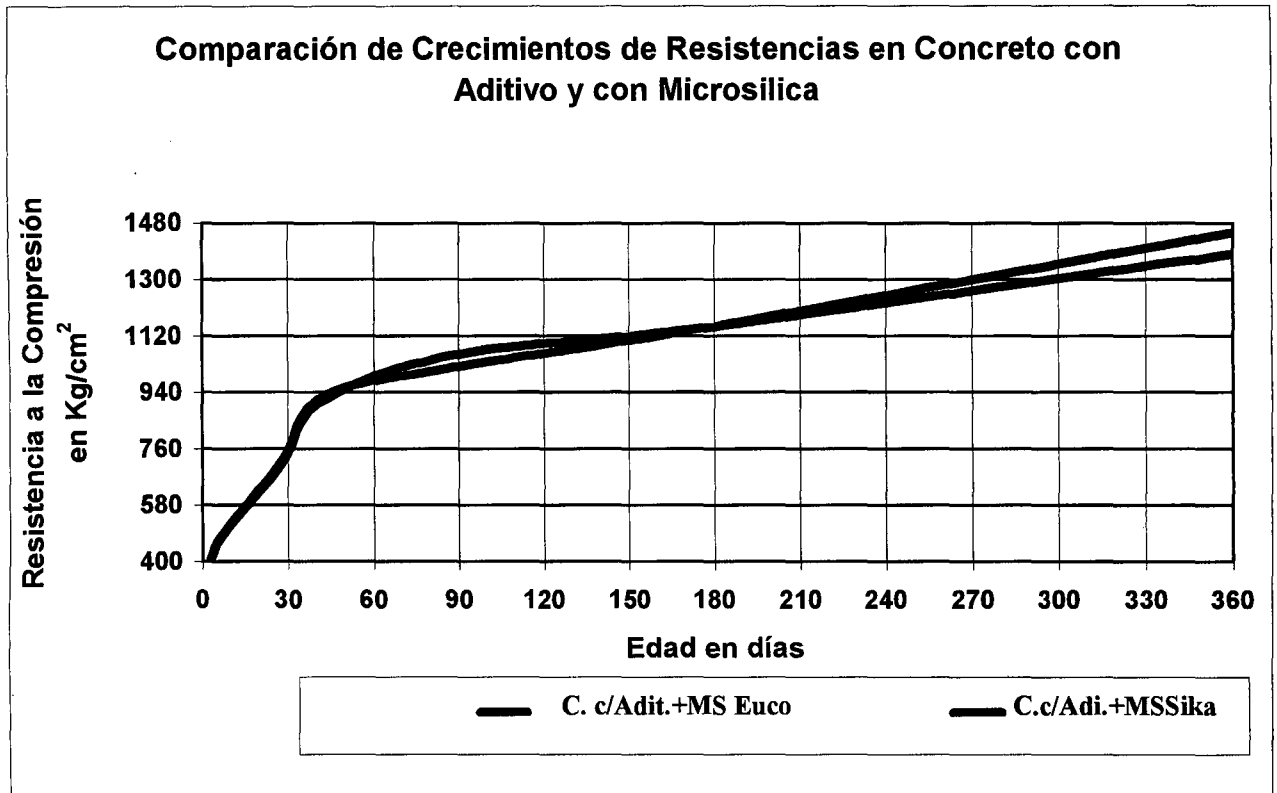
Concreto con Aditivo Superplastificante y Microsilica.-

Cemento Tipo I	Resultados a 3 días						
	Andino+Euco+Microsilica Euco			Sol+Sikament+Microsilica SIKA			
N°	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	
1	34100.00	78.54	434.17	34300.00	78.54	436.72	
2	32400.00	78.54	412.53	32400.00	78.54	412.53	
3	32200.00	78.54	409.98	32400.00	78.54	412.53	
4	32000.00	78.54	407.44	32000.00	78.54	407.44	
5	29400.00	78.54	374.33	31000.00	78.54	394.70	
Promedio				407.690			412.783
Desv.Estand.				21.465			15.236
Coef. Var.				5.3%			3.7%

Cemento Tipo I	Resultados a 7 días						
	Andino+Euco+Microsilica Euco			Sol+Sikament+Microsilica SIKA			
N°	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	
1	40700.00	78.54	518.21	41200.00	78.54	524.57	
2	39400.00	78.54	501.66	39600.00	78.54	504.20	
3	36900.00	78.54	469.82	38000.00	78.54	483.83	
5	36900.00	78.54	469.82	37100.00	78.54	472.37	
4	36500.00	78.54	464.73	36800.00	78.54	468.55	
Promedio				484.848			490.705
Desv.Estand.				23.725			23.470
Coef. Var.				4.9%			4.8%

Cemento Tipo I	Resultados a 28 días						
	Andino+Euco+Microsilica Euco			Sol+Sikament+Microsilica SIKA			
N°	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	
1	57000.00	78.54	725.74	58300.00	78.54	742.30	
2	56400.00	78.54	718.11	57400.00	78.54	730.84	
3	56000.00	78.54	713.01	57200.00	78.54	728.29	
4	56000.00	78.54	713.01	56000.00	78.54	713.01	
5	55500.00	78.54	706.65	56000.00	78.54	713.01	
Promedio				715.304			725.490
Desv.Estand.				7.112			12.553
Coef. Var.				1.0%			1.7%

Cemento Tipo I N°	Resultados a 360 días					
	Andino+Euco+ Microsilica Euco			Sol+Sika+Microsilica Sika		
	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	247800.00	176.72	1402.26	257000.00	176.72	1454.28
2	240500.00	176.72	1360.95	255340.00	176.71	1444.95
Promedio			1381.603			1449.614
Desv. Estand.			29.210			6.596
Coef. Var.			2.1%			0.5%

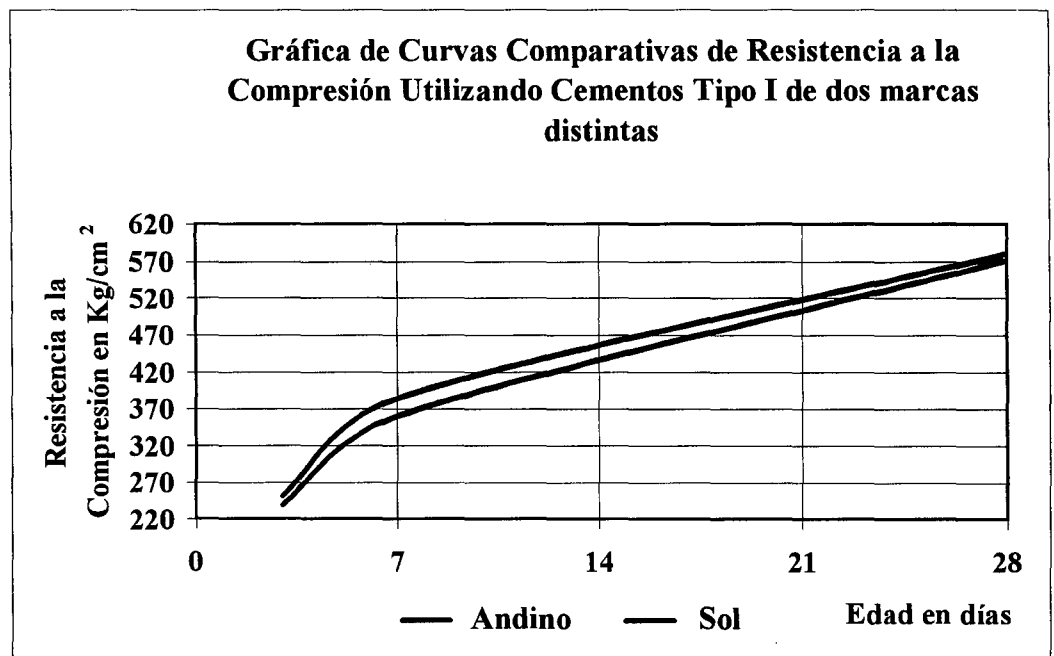


b) Etapa Segunda.-
Concreto Simple.-

Cemento Tipo I	Resultados a 3 días					
	Cemento Andino			Cemento Sol		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	43400.00	176.72	245.59	45000.00	176.72	254.65
2	42500.00	176.72	240.49	44700.00	176.72	252.95
3	41100.00	176.72	232.57	43800.00	176.72	247.86
Promedio						
D.Estand.						
C. Variab.						
			239.550			251.818
			6.559			3.534
			2.7%			1.4%

Cemento Tipo I	Resultados a 7 días					
	Cemento Andino			Cemento Sol		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	64800.00	176.72	366.69	30600.00	78.54	389.61
2	64000.00	176.72	362.17	30000.00	78.54	381.97
3	62800.00	176.72	355.37	29800.00	78.54	379.42
Promedio						
D.Estand.						
C.Variab.						
			361.411			383.669
			5.696			5.301
			1.6%			1.4%

Cemento Tipo I	Resultados a 28 días					
	Cemento Andino			Cemento Sol		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	47500.00	78.54	604.79	48000.00	78.54	611.15
2	45000.00	78.54	572.96	46000.00	78.54	585.69
3	45000.00	78.54	572.96	46000.00	78.54	585.69
4	43750.00	78.54	557.04	44200.00	78.54	562.77
5	43000.00	78.54	547.49	44200.00	78.54	562.77
Promedio						
D.Estand.						
Coef.Var.						
			571.047			581.614
			21.776			20.099
			3.8%			3.5%



Cálculo de las Proporciones de la Mezcla con el Método del ACI - 211						
Materiales		Volumen	Pes. Secos	Pesos Hum	D.U	T.O
Cemento	600/3110	0.193	600 kg	600 kg	1	14.06
Agua	240/1000	0.24	240 kg	268.2 lt	0.45	6.327
Arena		-	675.8 kg	679.4 kg	1.13	15.89
Piedra		-	753.5 kg	757.6 kg	1.26	17.72
% Aire		0.02	El porcentaje de Aire del diseño es 2%			
% Aditivo	9 /1210	0.007	Suma Total		3.842	
% MS	60/2200	0.027				
Sumatoria Parcial de Vol.		0.488				
Volumen Total de Mezcla		1 m ³				
Volumen corresp a los Ag.		1 - 0,488 = 0,512				

Cálculo de los Volúmenes de los Agregados				
Vol del Agreg	Vol total de ag * %Agreg de Met. Ag. Glob*			
Vol de Arena	0.512	* 0,50%	=	0,256 m ³
Vol de Piedra	0.512	* 0,50%	=	0,256 m ³

Cálculo de los Pesos Secos de los Agregados				
Peso del Agreg	Peso Especifico del Agreg.* Volumen del Ag.			
Peso de Arena	2640	* 0,274	=	675.84 kg
Peso de Piedra	2750	* 0,274	=	753,50 kg

Cálculo de los Pesos Húmedos de los Agregados				
P.H del Agreg	Peso Seco Agreg * (1+ C.H del Agreg) 100			
P.H de la Arena	675.84	* (1+0,0053)	=	679.42 kg
P.H de la Piedra	753.50	* (1+0,0055)	=	757.64 kg

Corrección del Agua por Agregados				
C. Agua por Ag.	Peso Seco Agreg * (C.H Ag.-% Abs Ag) 100			
C.A por Arena	679,4	* (0,53 - 0,70)/100	=	-1.15
C.A por Piedra	757,6	* (0,55 - 0,67)/100	=	-0.91
C.A por MS.	60	* (0,2-45)/100	=	-26.15
Corrección total de Agua por los Agregados+MS			=	-28.21
Agua corregida = Agua de las tablas - Corrección total			=	240 -(-28.21)= 268,2

b) Concreto con Aditivo. -

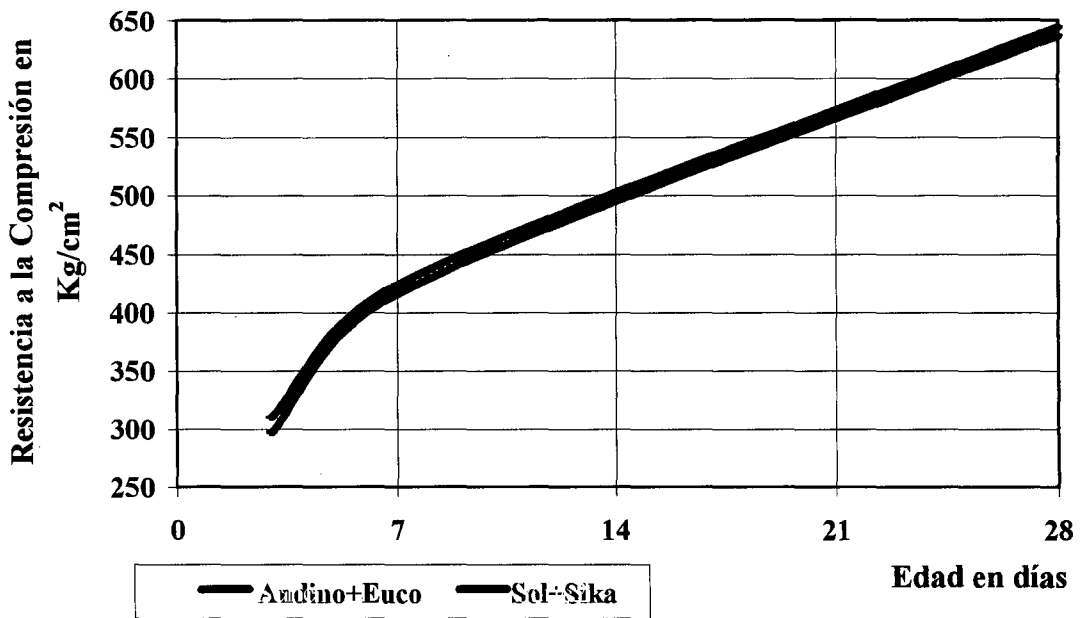
Cemento Tipo I	Resultados a 3 días					
	Cemento Andino+Aditivo EUCO			Cemento Sol+Aditivo SIKA		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	24000.00	78.54	305.58	25200.00	78.54	320.86
2	22800.00	78.54	290.30	24100.00	78.54	306.85
3	22400.00	78.54	285.20	23800.00	78.54	303.03
Promedio						
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						

Cemento Tipo I	Resultados a 7 días					
	Cemento Andino+Aditivo EUCO			Cemento Sol+Aditivo SIKA		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	33400.00	78.54	425.26	34000.00	78.54	432.90
2	32800.00	78.54	417.62	32900.00	78.54	418.89
3	31800.00	78.54	404.89	32900.00	78.54	418.89
Promedio						
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						

Cemento Tipo I	Resultados a 28 días					
	Cemento Andino+Aditivo EUCO			Cemento Sol+Aditivo SIKA		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	54250.00	78.54	690.73	55500.00	78.54	706.65
2	50750.00	78.54	646.17	52500.00	78.54	668.45
3	50500.00	78.54	642.98	48500.00	78.54	617.52
4	47750.00	78.54	607.97	48500.00	78.54	617.52
5	47250.00	78.54	601.60	48250.00	78.54	614.34
Promedio						
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						

Cemento Tipo I	Resultados a 90 días					
	Cemento Andino+Aditivo EUCO			Cemento Sol+Aditivo SIKA		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	58000.00	78.54	738.48	57800.00	78.54	735.93
2	57000.00	78.54	725.74	57500.00	78.54	732.11
3	57000.00	78.54	725.74	57000.00	78.54	725.74
Promedio						
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						

Gráficas de Curvas Comparativas de Resistencia a la Compresión utilizando Aditivo Superplastificante de dos marcas distintas



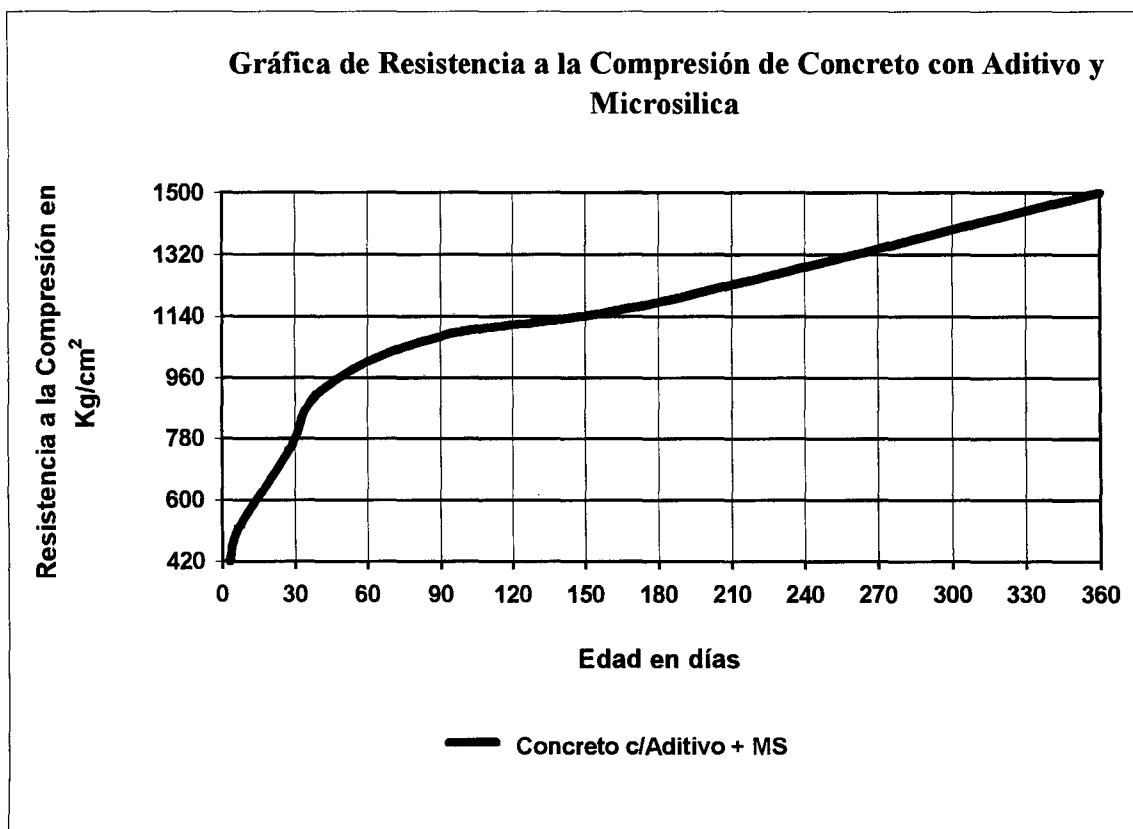
c) Concreto con Aditivo y Microsilica.-

Cemento Tipo I	Resultados a 3 días			Resultados a 7 días		
	Cemento+Aditivo+Microsilica			Cemento+Aditivo+Microsilica		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	34100.00	78.54	434.17	41800.00	78.54	532.21
2	32400.00	78.54	412.53	40600.00	78.54	516.93
3	32200.00	78.54	409.98	40600.00	78.54	516.93
4	32000.00	78.54	407.44	40300.00	78.54	513.11
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						
			416.030			519.799
			12.273			8.470
			3.0%			1.6%

Cemento Tipo I	Resultados a 28 días			Resultados a 42 días		
	Cemento+Aditivo+Microsilica			Cemento+Aditivo+Microsilica		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	139000.00	176.72	786.58	80000.00	78.54	1018.59
2	58400.00	78.54	743.57	79150.00	78.54	1007.77
3	56200.00	78.54	715.56	78200.00	78.54	995.67
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						
			748.569			1007.342
			35.772			11.465
			4.8%			1.1%

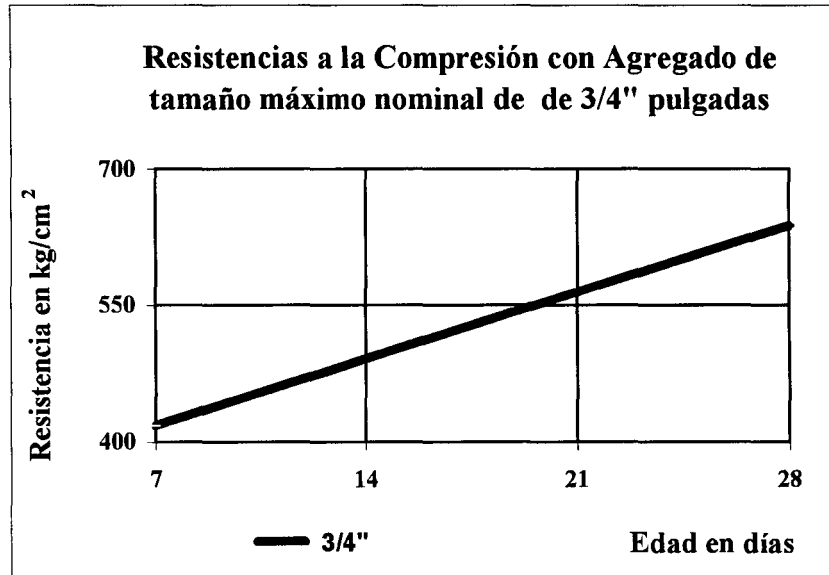
Cemento Tipo I	Resultados a 90 días			Resultados a 180 días		
	Cemento+Aditivo+Microsilica			Cemento+Aditivo+Microsilica		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	88500.00	78.54	1126.81	95000.00	78.54	1209.57
2	85400.00	78.54	1087.34	93200.00	78.54	1186.66
3	81000.00	78.54	1031.32	90000.00	78.54	1145.91
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						
			1081.827			1180.715
			47.985			32.244
			4.4%			2.7%

Cemento Tipo I	Resultados a 360 días		
	Cemento+Aditivo+Microsilica		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo
1	275500.00	176.72	1558.96
2	254800.00	176.72	1441.87
Promedio			1500.417
Desv. Estand.			82.798
Coef. Var.			5.5%

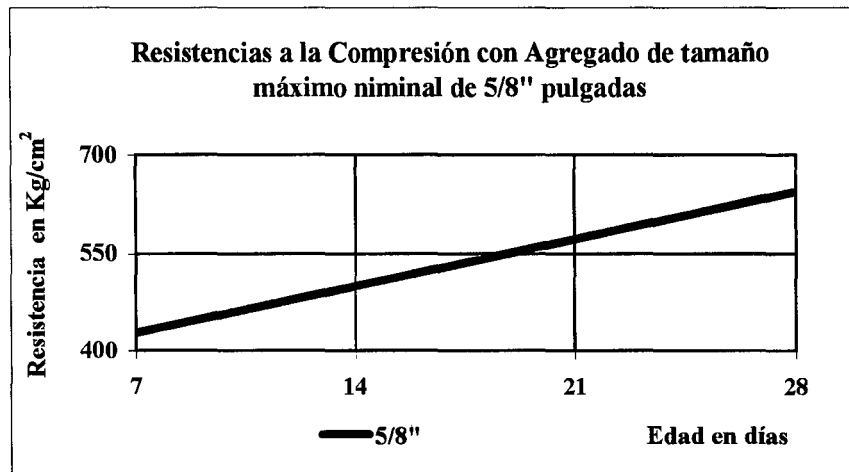


Ensayos con tamaños nominales de agregado grueso de 3/8", 1/2", 3/4", 5/8"

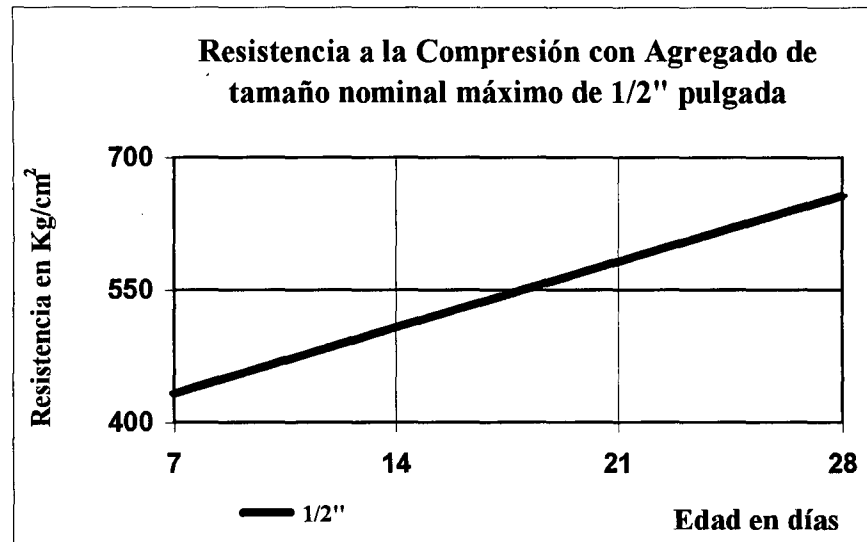
Cemento	Tamaño nominal máximo 3/4"						
	Resistencia a los 7 días			Resistencia a los 28 días			
Tipo I	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	
Nº							
1	33500.00	78.54	426.53	51850.00	78.54	660.17	
2	32500.00	78.54	413.80	50200.00	78.54	639.16	
3	32250.00	78.54	410.62	48000.00	78.54	611.15	
Promedio							636.830
Desv.Estand.							24.593
Coef. Var.							3.9%



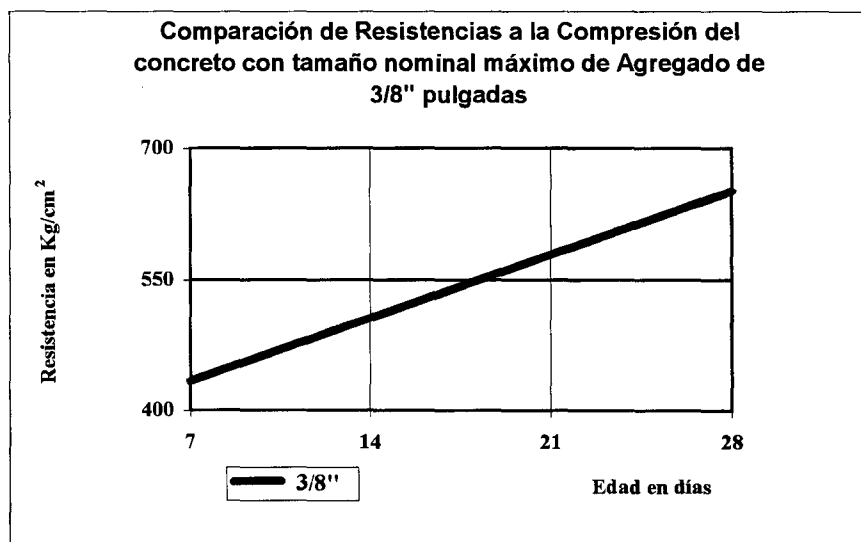
Cemento	Tamaño nominal máximo 5/8"						
	Resistencia a los 7 días			Resistencia a los 28 días			
Tipo I	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	
Nº							
1	34250.00	78.54	436.08	51000.00	78.54	649.35	
2	33500.00	78.54	426.53	50750.00	78.54	646.17	
3	32750.00	78.54	416.98	50000.00	78.54	636.62	
Promedio							644.045
Desv.Estand.							6.626
Coef. Var.							1.0%



Cemento Tipo I	Tamaño nominal máximo 1/2"					
	Resistencia a los 7 días			Resistencia a los 28 días		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	35000.00	78.54	445.63	51850.00	78.54	660.17
2	33500.00	78.54	426.53	51500.00	78.54	655.72
3	33500.00	78.54	426.53	51250.00	78.54	652.53
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						
			432.900			656.141
			11.027			3.837
			2.5%			0.6%



Cemento Tipo I	Tamaño nominal máximo 3/8"					
	Resistencia a los 7 días			Resistencia a los 28 días		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	35200.00	78.54	448.18	51400.00	78.54	654.44
2	34000.00	78.54	432.90	51250.00	78.54	652.53
3	33000.00	78.54	420.17	50750.00	78.54	646.17
Promedio						
Desv.Estand.						
Coef. Var.						
			433.749			651.048
			14.025			4.333
			3.2%			0.7%



Ensayos en Morteros con Cemento tipo I, II, V, Puzolánico.-

Cemento Tipo I	Cemento + Arena + Aditivo + Microsilica								
	7 días			28 días			79 días		
	Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area
1	134250.00	176.72	759.70	173000.00	176.72	978.98	89750.00	78.54	1142.73
2	60500.00	78.54	770.31	76500.00	78.54	974.03	87500.00	78.54	1114.08
3	56500.00	78.54	719.38	75000.00	78.54	954.93			
Promedio			749.795			969.310			1128.406
D.Est.			26.870			12.700			20.257
C. Variab.			3.6%			1.3%			1.8%

Cemento Tipo II	Cemento + Arena + Aditivo + Microsilica								
	7 días			28 días			79 días		
	Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area
1	127000.00	176.72	718.67	158250.00	176.72	895.51	90750.00	78.54	1155.46
2	55750.00	78.54	709.83	69400.00	78.54	883.63	88750.00	78.54	1130.00
3	52750.00	78.54	671.63	67500.00	78.54	859.43			
Promedio			700.044			879.524			1142.730
Desv.Estand.			25.000			18.384			18.006
Coef. Var.			3.6%			2.1%			1.6%

Cemento Tipo V	Cemento + Arena + Aditivo + Microsilica								
	7 días			28 días			79 días		
	Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area
1	164400.00	176.72	930.31	200800.00	176.72	1136.29	250000.00	176.72	1414.71
2	148400.00	176.72	839.77	88500.00	78.54	1126.81	235000.00	176.72	1329.82
3	70000.00	78.54	891.27	88750.00	78.54	1130.00			
4	66000.00	78.54	840.34						
Promedio			875.421			1131.035			1372.266
Desv.Estand.			43.840			4.824			60.021
Coef. Var.			5.0%			0.4%			4.4%

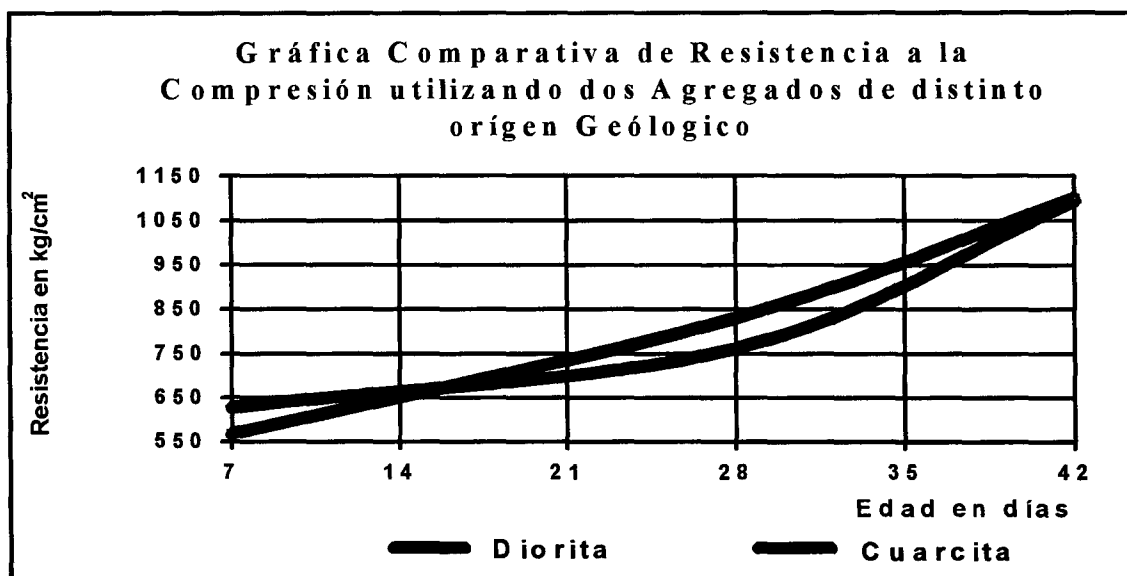
Cemento Puzolánico	Cemento + Arena + Aditivo + Microsilica								
	7 días			28 días			79 días		
	Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area
1	117250.00	176.72	663.50	67500.00	78.54	859.43	209000.00	176.72	1182.70
2	52800.00	78.54	672.27	65250.00	78.54	830.79	93250.00	78.54	1187.29
3	48250.00	78.54	614.34	63250.00	78.54	805.32	89500.00	78.54	1139.55
Promedio			650.034			831.848			1169.845
Desv.Estand.			31.225			27.072			26.340
Coef. Var.			4.8%			3.3%			2.3%

c) Tercera Etapa.-

Cemento Tipo V	Resultados a 7 días					
	Andino+Euco+Microsilica Euco			Sol+Sikament+Microsilica SIKA		
Tipo Roca	Agregado Proveniente de Diorita			Agregado Proveniente de Cuarcita		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	61750.00	78.54	786.20	45750.00	78.54	582.51
2	46000.00	78.54	585.69	44750.00	78.54	569.77
3	40000.00	78.54	509.29	43000.00	78.54	547.49
Promedio			627.061			566.590
Desv.Estand.			143.014			17.723
Coef. Var.			22.8%			3.1%

Cemento Tipo V	Resultados a 28 días					
	Andino+Euco+Microsilica Euco			Sol+Sikament+Microsilica SIKA		
Tipo Roca	Agregado Proveniente de Diorita			Agregado Proveniente de Cuarcita		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	61000.00	78.54	776.67	71250.00	78.54	907.18
2	58200.00	78.54	741.02	64500.00	78.54	821.24
3	135000.00	176.72	763.94	59500.00	78.54	757.58
Promedio			760.547			828.665
Desv.Estand.			18.066			75.079
Coef. Var.			2.4%			9.1%

Cemento Tipo V	Resultados a 44 días					
	Andino+Euco+Microsilica Euco			Sol+Sikament+Microsilica SIKA		
Tipo Roca	Agregado Proveniente de Diorita			Agregado Proveniente de Cuarcita		
Nº	Carga	Area	Esfuerzo	Carga	Area	Esfuerzo
1	86500.00	78.54	1101.35	89500.00	78.54	1139.55
2	79000.00	78.54	1005.86	170000.00	176.72	962.00
3	92000.00	78.54	1171.38			
4	74000.00	78.54	1101.35			
5	74000.00	78.54	1005.86			
Promedio			1092.861			1050.774
Desv.Estand.			83.086			125.544
Coef. Var.			7.6%			11.9%



Resistencia a la Tracción.-

a) Concreto Simple.-

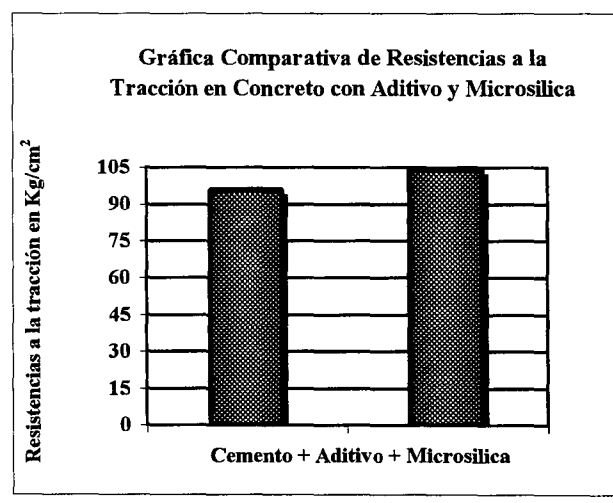
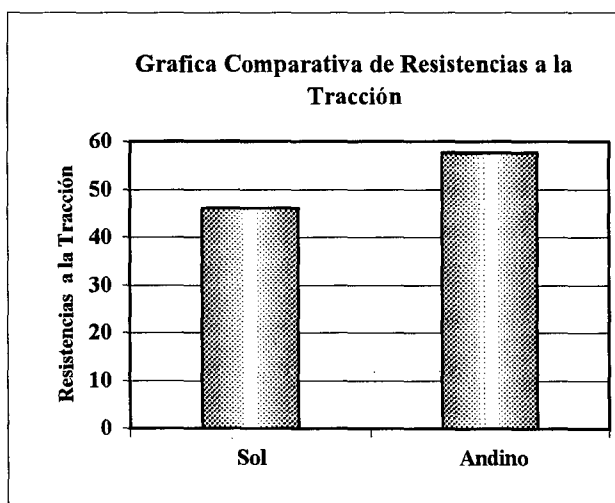
Resultados a 28 días						
Cemento Sol				Cemento Andino		
Nº	2 * Carga	pi*I*d	Esfuerzo	2 * Carga	pi*I*d	Esfuerzo
1	30800.00	628.32	49.02	39600.00	628.32	63.03
2	28800.00	628.32	45.84	34800.00	628.32	55.39
3	27200.00	628.32	43.29	34400.00	628.32	54.75
Promedio			46.049			57.720
D.Estand.			2.871			4.605
Coef.Var.			6.2%			8.0%

b) Concreto con Aditivo.-

Resultados a 28 días						
Cemento Sol + Aditivo Sika				Cemento Andino + Euco		
Nº	2 * Carga	pi*I*d	Esfuerzo	2 * Carga	pi*I*d	Esfuerzo
1	29400.00	628.32	46.79	44100.00	628.32	70.19
2	34800.00	628.32	55.39	40000.00	628.32	63.66
3	34000.00	628.32	54.11	37000.00	628.32	58.89
Promedio			52.097			64.245
D.Estand.			4.638			5.673
Coef.Var.			8.9%			8.8%

c) Concreto con Aditivo y Microsilica.-

Resultados a 42 días						
Cemento Andino + Euco + MS				Cemento Sol + Sika + MS		
Nº	2 * Carga	pi*I*d	Esfuerzo	2 * Carga	pi*I*d	Esfuerzo
1	126000.00	1413.72	89.13	146000.00	1413.72	103.27
2	120000.00	1413.72	84.88	64000.00	628.32	101.86
3	52000.00	628.32	82.76	61000.00	628.32	97.08
Promedio			85.590			100.739
D.Estandar.			3.242			3.243
Coef. Var.			3.8%			3.2%



Ensayos de Concreto al Estado Fresco.-

Peso Unitario.-

Peso Unitario Compactado del Concreto			
Concreto	Simple	Con Aditivo	c/ Adit. + MS
P balde	9.4	9.4	9.4
P _{conc.} + P _b	44.4	45.4	46.2
P _{conc.fresco}	35.0	36.0	36.8
Vol. m ³	0.01416	0.01416	0.01416
PUC	2472.027	2546.480	2602.290

Exudación.-

Concreto Simple					
hora	tiempo	tiempo ac.	Vol de agua	Vol acum.	Veloc. Exudac.
13:20	10 min	10	3	16	0.031651079
13:33	10 min	20	9	22	0.043520233
13:43	10 min	30	10	28	0.055389387
13:53	10 min	40	8	37	0.073193119
02:33	30 min	70	18	50	0.09890962
15:03	30 min	100	2	53	0.104844198
15:33	30 min	130	1	54	0.10682239
16:03	30 min	160	0	54	0.10682239

$$C = \frac{6,1 \cdot 35}{54} = 3.95$$

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{54 \cdot 100}{3.95 \cdot 1000} = 1.37\%$$

Concreto con Aditivo.-

Concreto con Aditivo					
Hora	tiempo	tiempo acum	Vol de agua	Vol acum.	Veloc. Exudac.
10:10	10 min	10 min			
10:20	10 min	20 min			
10:30	10 min	30 min			
10:40	10 min	40 min	0.2	0.2	0.000395638
11:10	30 min	70 min	1.5	1.7	0.003362927
11:40	30 min	100 min	3.1	4.8	0.009495324
12:10	30 min	130 min	4.3	9.1	0.018001551
12:40	30 min	160 min	4.9	14	0.027694694
13:10	30 min	190 min	4	18	0.035607463
13:40	30 min	220 min	4	22	0.043520233
14:10	30 min	250 min	3	25	0.04945481
14:40	30 min	280 min	2.5	27.5	0.054400291
15:10	30 min	310 min	1	28.5	0.056378484
15:40	30 min	340 min	1.5	30	0.059345772
16:10	30 min	370 min	0.5	30.5	0.060334868
16:40	30 min	400 min	1	31.5	0.062313061
17:10	30 min	430 min	0.25	31.75	0.062807609
17:40	30 min	460 min	0.8	32.5	0.064291253
18:10	30 min	490 min	0.25	32.75	0.064785801
18:40	30 min	520 min	0.75	33.5	0.066269446
19:10	30 min	550 min	1	34.5	0.068247638
19:40	30 min	580 min	0.5	35	0.069236734
20:10	30 min	610 min	0.5	35.5	0.07022583
20:40	30 min	640 min	0	35.5	0.07022583

$$C = \frac{5.10 \cdot 36}{54} = 3.4$$

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{35.5 \cdot 100}{3.4 \cdot 1000} = 1.04 \%$$

Pérdida de Trabajabilidad.-

Pérdida de Trabajabilidad: SLUMP 2"					
Hora	Tiempo de Pérdida de	Slump	Hora	Tiempo de Pérdida de	Slump
20:00	inicio	2"	20:30	inicio	2"
00:00	4 h : 00 m	1.5"	23:30	3 h : 00 m	1.5"
01:00	5 h : 00 m	1"	01:30	5 h : 00 m	1"
01:30	5 h : 30 m	3/4"	02:00	5 h : 30 m	3/4"
02:00	6 h : 00 m	1/2"	02:30	6 h : 00 m	1/2"
03:00	7 h : 00 m	0"	03:30	7 h : 30 m	0"

Tiempo de Fragua.-

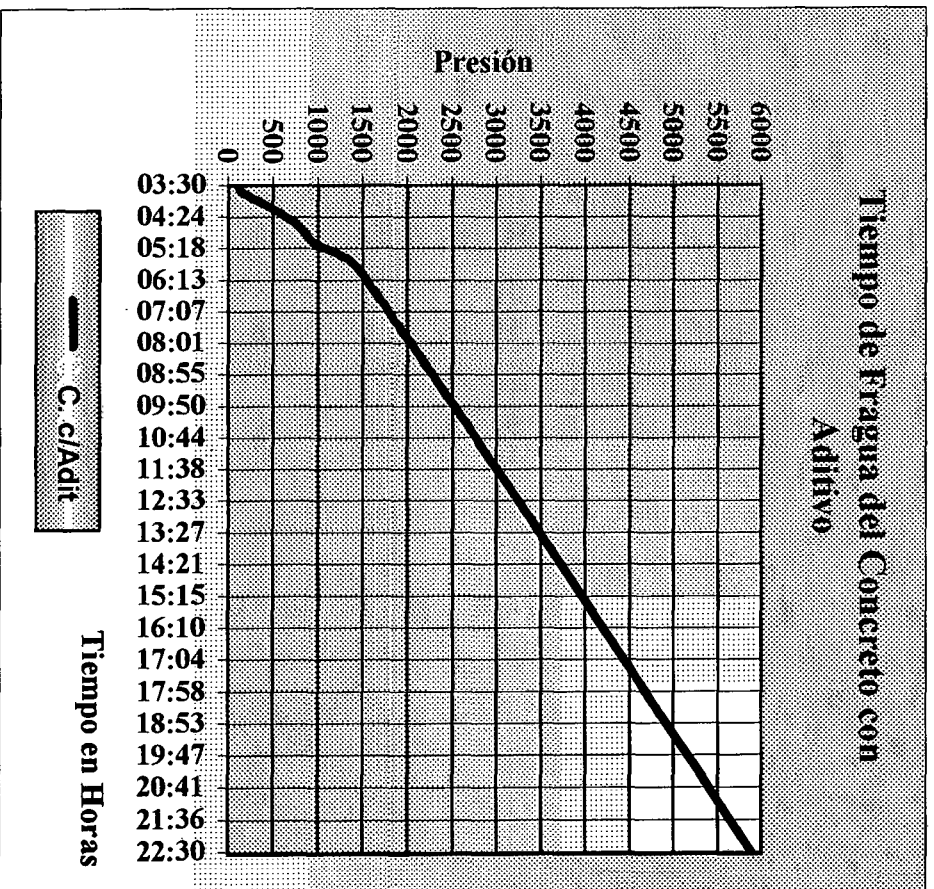
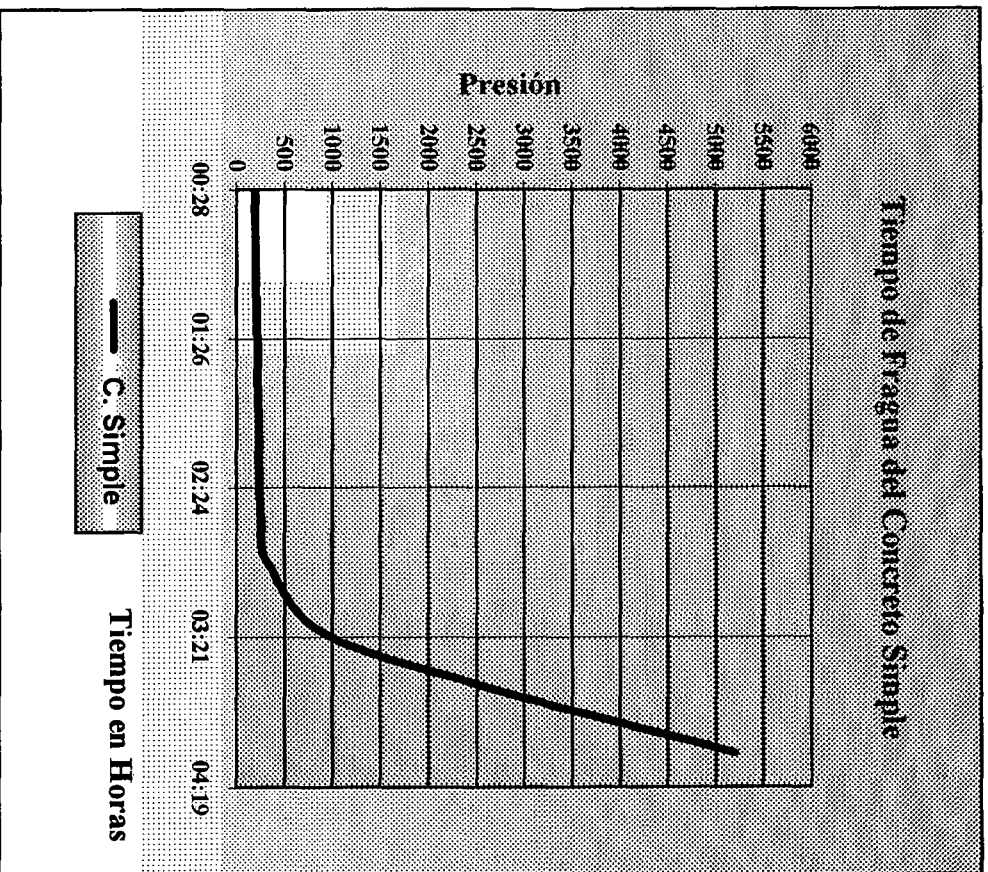
a) Concreto Simple.-

b) Concreto Simple.-

Concreto Simple						Concreto con Aditivo					
Hora	Tiempo acumulado	Nº de Aguja	Area	Fuerza	Presión	Hora	Tiempo acumulado	Nº de Aguja	Area	Fuerza	Presión
11:24	Inicio					08:30					
11:52	0 h : 28 m	1	1	190	190	12:00	3 h : 30 m	1	1	100	100
14:10	2 h : 46 m	2	0.5	130	260	12:15	3 h : 45 m	2	0.5	90	180
14:17	2 h : 53 m	3	0.25	82	328	13:00	4 h : 30 m	3	0.25	87	348
14:44	3 h : 20 m	4	0.1	90	900	13:45	5 h : 15 m	4	0.1	94	940
15:05	3 h : 41 m	5	0.05	130	2600	14:30	6 h : 00 m	5	0.05	74	1480
15:30	4 h : 06 m	6	0.025	130	5200	07:00	22 h : 30 m	6	0.025	147	5880

Tiempo de Fragua Inicial: 3 h : 07 m
 Tiempo de Fragua Final: 3 h : 55 m

Tiempo de Fragua inicial: 4 h : 13 m
 Tiempo de Fragua Final: 15h : 15 m



c) Concreto con Aditivo más Microsilica.-

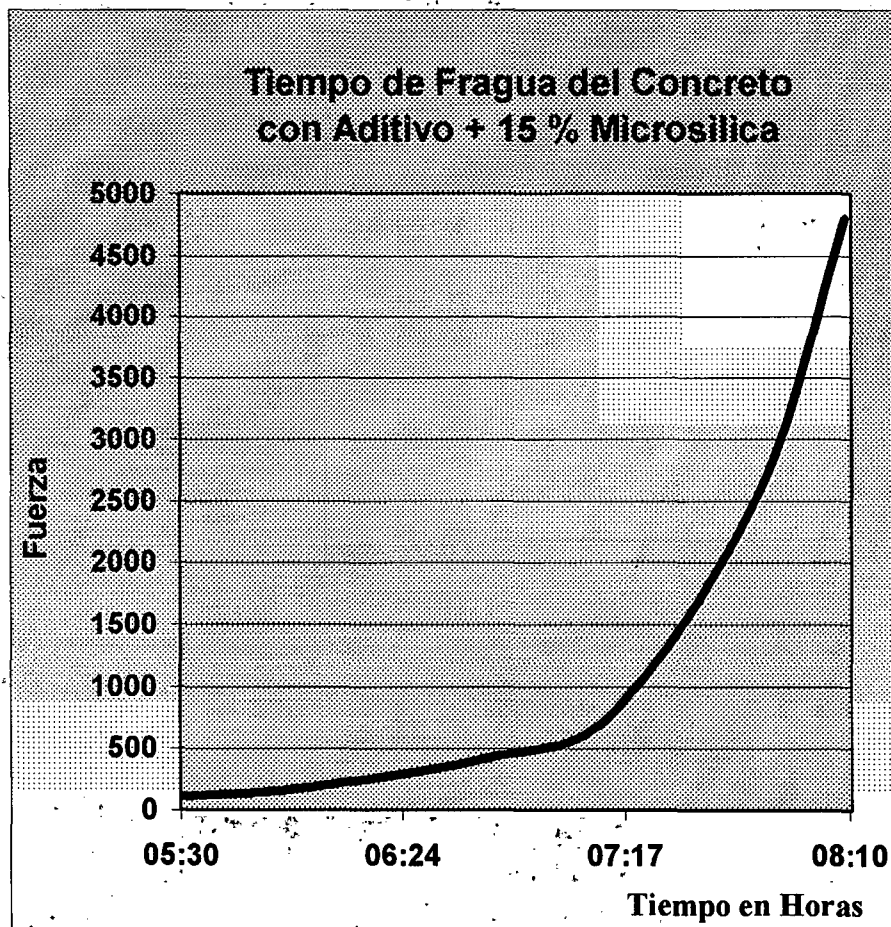
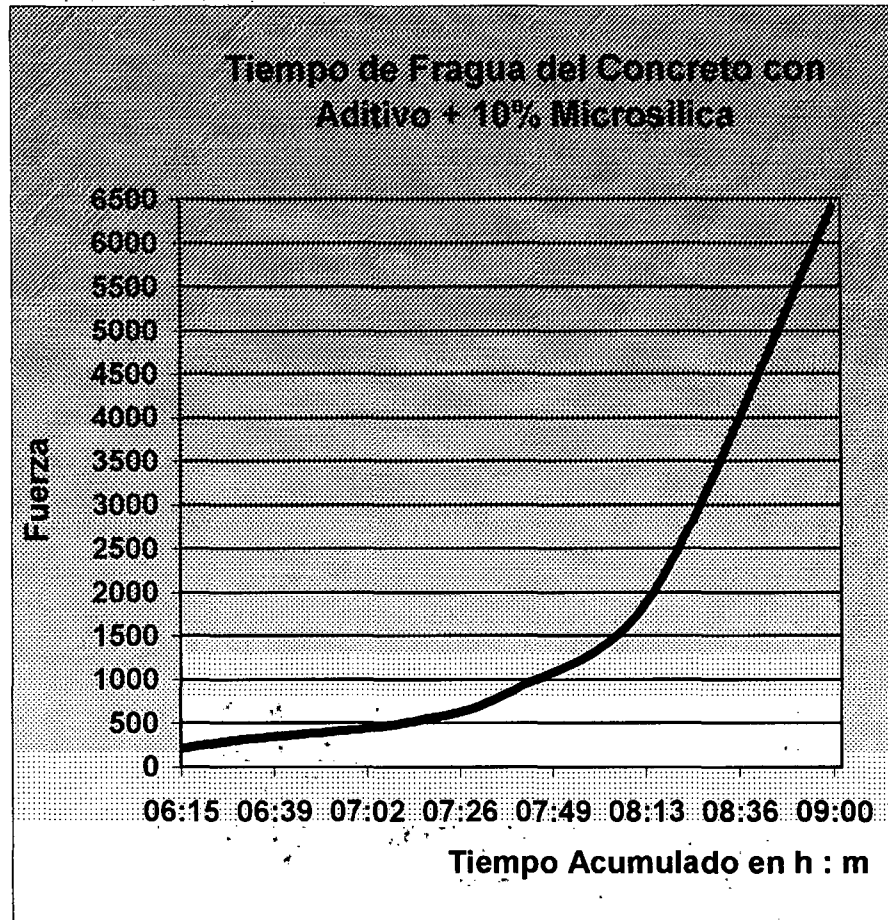
Concreto con Aditivo + Microsilica											
1150 ml de aditivo por 100 kg +10%MS						1500 ml de aditivo por 100 kg +15%MS					
Hora	Tiempo acumulado	Nº de Aguja	Area	Fuerza	Presión	Hora	Tiempo acumulado	Nº de Aguja	Area	Fuerza	Presión
07:45	Inicio					08:30	Inicio				
14:00	6 h : 15 m	1	1	200	200	14:30	5 h : 30 m	1	1	106	106
14:15	6 h : 30 m	2	0.5	150	300	15:00	6 h : 00 m	2	0.5	88	176
15:00	7 h : 15 m	3	0.25	130	520	15:45	6 h : 45 m	3	0.25	106	424
16:00	7 h : 41 m	4	0.1	104	1040	16:15	7 h : 15 m	4	0.1	80	800
15:26	8 h : 15 m	5	0.05	100	2000	17:00	7 h : 50 m	5	0.05	130	2600
04:45	9 h : 00 m	6	0.025	160	6400	17:30	8 h : 10 m	6	0.025	120	4800

Tiempo de Fragua Inicial: 7 h : 45 m
 Tiempo de Fragua Final: 8 h : 23 m

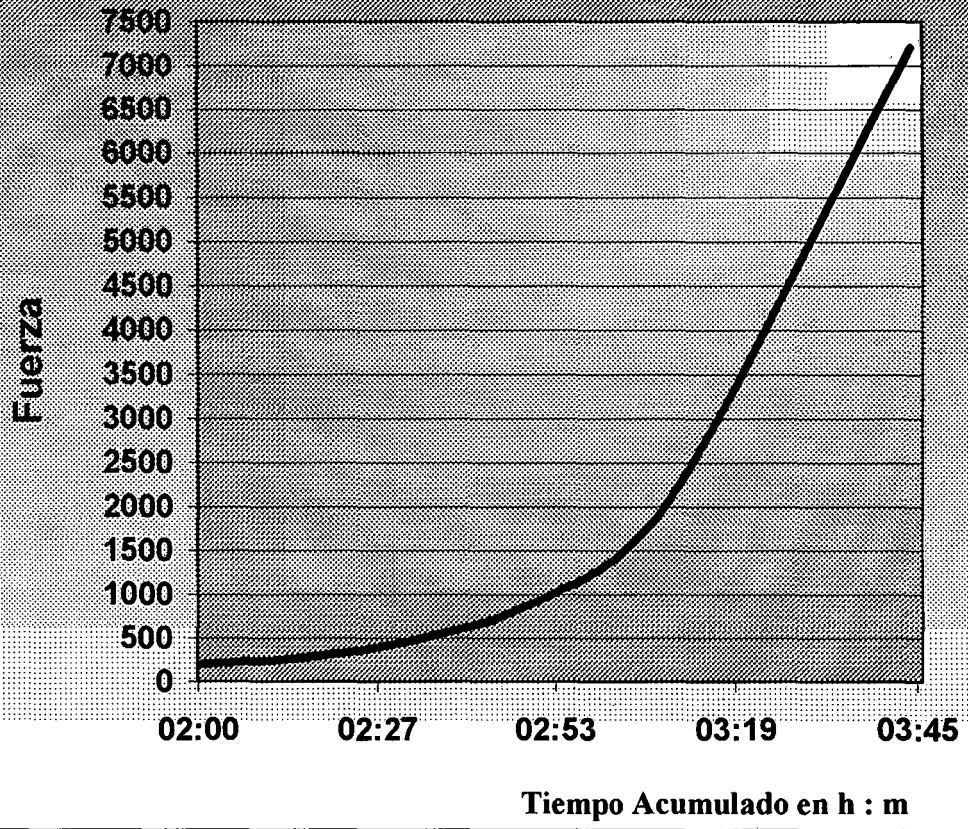
Tiempo de Fragua Inicial: 6 h : 59 m
 Tiempo de Fragua Final: 8 h : 03 m

Concreto con aditivo mas microsilica					
1500 ml de aditivo + 20% MS					
Hora	Tiempo acumulado	Nº de Aguja	Area	Fuerza	Presión
13:20	Inicio				
15:21	2 h : 00 m	1	1	200	200
15:22	2 h : 02 m	2	0.5	102	204
15:45	2 h : 25 m	3	0.25	90	360
16:10	2 h : 50 m	4	0.1	90	900
16:30	3 h : 10 m	5	0.05	104	2080
17:05	3 h : 45 m	6	0.025	180	7200

Tiempo de Fragua Inicial: 3 h : 00 m
 Tiempo de Fragua Final: 4 h : 00 m



Tiempo de Fragua del Concreto con Aditivo + 20% Microsilica



Fluidez del Concreto.-

Este ensayo se realizó cuando se hallaba la dosificación de los aditivos, se seleccionó la cantidad de acuerdo al mejor resultado obtenido de plasticidad.

Resultado del Ensayo de Fluidez en la Mesa de Sacudidas														
Slump	0"			1"			2"							
Fase	C.Simp	C.Adit.	C.MS	C.Simp	C.Adit.	C.MS	C.Simp	C. Adit.			C. MS			
Aditivo	9 lt po m3			9 lt po m3				6 lt	9 lt	12lt	6 lt	9		12
MS			10%			10%					10%	10%	15%	15%
Resultados en c	32	43	30	36	44	33	41	48	59	63	35	42	37	38
	32	42	30	35	43	33	40	48	59	63	35	42	35	38
	30	41	30	35	43	33	40	46	58	61	35	41	35	37
	30	40	30	34	43	32.5	39.5	46	57	61	34	40	35	38
	28	39	29	34	43	32.5	39	44	57	60	34	40	35	36
	28	38	29	33	42	32	39	44	55	60	34	38	33	36
Prom	30	40.5	29.667	34.5	43	32.667	39.75	46	57.5	61.33	34.5	40.5	35	37.2
F (%)	20%	62%	18.70%	38%	72%	30.70%	59%	84%	130%	145%	38%	62%	40%	49%



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD AREA MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

TESTIGOS : TESIS CONCRETO ALTA RESISTENCIA REG. N°: FECHA: 09-04-99
SOLICITADO : BACH. ING. CML PATRICIA MORALES ALFARO ING. RESPONS.: TOMAS SALINAS AQUINO
PROCEDENCIA: T E S I S MOLDEADOS POR: INTERESADO
OBRA : EFECTUADO : TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

N° de Testigo	Diámetro (cm)	Estructura	Fecha de		Edad en días	Carga (kg)	Resistencia en Kg/cm ²
			Moldeo	Rotura			
1	10.0	Cuarcita	26/02/1999	05/03/1999	7	44 750	569.77
2	10.0	Cuarcita	26/02/1999	05/03/1999	7	45 750	582.5
3	10.0	Cuarcita	26/02/1999	05/03/1999	7	43 000	547.5
1	10.0	Roca Cuarcita	25/02/1999	25/03/1999	28	59 500	757.6
2	10.0	Roca Cuarcita	25/02/1999	25/03/1999	28	64 500	821.2
3	10.0	Roca Cuarcita	25/02/1999	25/03/1999	28	71 250	907.2
1	10.0	Roca Cuarcita	24/02/1999	09/04/1999	44	89 500	1139.5
2	15.0	Roca Cuarcita	24/02/1999	09/04/1999	44	170 000	962.00

OBSERVACIONES : La interpretación ajena de los resultados es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.




JULIO CESAR MARRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 4088



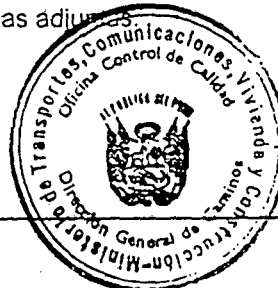
MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
A DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ESTIGOS: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA REG: ----- FECHA 17/05/1999
OLICITADO POR: ----- ING. RESPONSABLE: TOMAS SALINAS A.
ROCEDENCIA: T E S I S MOLDEADOS POR: INTERESADOS
ROYECTO: INVESTIGACION EFECTUADO: TEC. EDUARDO DALL'ORTO

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nº de Testigo	Diámetro (cm)	Agregado	Fecha de		Edad en Días	Carga (Kg)	Resistencia en Kg/cm ²
			Moldeo	Rotura			
1	10.0	Roca Diorita	26/02/1999	05/03/1999	7	61750	786.2
2	10.0	Roca Diorita	26/02/1999	05/03/1999	7	46000	585.7
3	10.0	Roca Diorita	26/02/1999	05/03/1999	7	40000	509.3
1	10.0	Roca Diorita	25/02/1999	25/03/1999	28	61000	776.7
2	10.0	Roca Diorita	25/02/1999	25/03/1999	28	58200	741.0
3	10.0	Roca Diorita	25/02/1999	25/03/1999	28	135000	763.9
1	10.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	86500	1101.3
2	10.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	79000	1005.9
3	10.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	92000	1171.4
4	10.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	74000	942.2
5	10.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	74000	942.2
RESISTENCIA A LA TRACCION							
1	15.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	31000	98.7
2	15.0	Roca Diorita	24/02/1999	09/04/1999	44	30500	97.0

OBSERVACIONE La interpretación ajena de los resultados es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL

Reg. del Colegio de Ingenieros N.º 10883



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

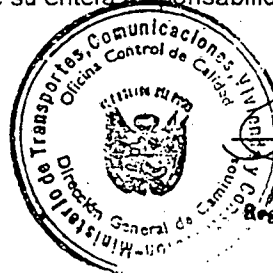
TESTIGOS : DE MORTERO
SOLICITADO : BACH. ING. PATRICIA MORALES ALFARO
TESIS : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

REGISTRO N° : - - - FECHA : 99-04-07
ING. RESPONSABLE TOMAS SALINAS AQUINO
MOLDEADO POR INTERESADA
EFECTUADO POR EDUARDO DALL'ORTO MENESES

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

N° de Testigo	Diámetro (cm)	Estructura	Fecha de		Edad en dias	Carga (kg)	Resistencia en Kg/cm ²
			Moldeo	Rotura			
1	15.0	M O R T	05/01/1999	12/01/1999	7	164 400	930.3
2	15.0		05/01/1999	12/01/1999	7	148 440	840.0
3	10.0		05/01/1999	12/01/1999	7	70 000	891.2
4	10.0		05/01/1999	12/01/1999	7	66 000	840.3
1	10.0	T E R	07/01/1999	28/02/1999	28	88 500	1126.8
2	10.0		07/01/1999	28/02/1999	28	88 750	1130.0
3	15.0		07/01/1999	28/02/1999	28	200 800	1136.3
1	15.0	O	06/01/1999	26/03/1999	79	250 000	1414.7
2	15.0		06/01/1999	26/03/1999	79	235 000	1335.5

OBSERVACIONES : Los testigos fueron preparados y moldeados por la interesada, por lo que la interpretación de los resultados es de su entera responsabilidad .



JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N°. 40883

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : FECHA: 98.09.09
SOLICITADO : BACH. Ing C. PATRICIA MORALES A. ING. RESPONSABLE: JULIO CESAR MANRIQUE PINO
PROCEDENCIA : TESIS MOLDEADO POR: INTERESADOS
OBRA : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADO POR: TEC. EDUARDO DALL'ORTO MENESE

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO cm	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	ROTURA			
CONCRETO CON ADITIVO SIKA							
1	10.0	INVESTIGACION	98-08.04	98-09-09	36	50 250	639.8
2	10.0	INVESTIGACION	98-08.04	98-09-09	36	37 500	477.5
3	10.0	INVESTIGACION	98-08.04	98-09-09	36	42 500	541.1
1	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	09.09.98	29	48 500	617.5
2	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	09.09.98	29	52 500	668.5
3	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	09.09.98	29	48 250	614.3
4	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	09.09.98	29	48 500	617.5
5	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	09.09.98	28	55 500	706.6
CONCRETO SIMPLE CEMENTO ANDINO							
1	10.0	INVESTIGACION	10.08.98	09.09.98	30	43 000	547.5
2	10.0	INVESTIGACION	10.08.98	09.09.98	30	45 000	573.0
3	10.0	INVESTIGACION	10.08.98	09.09.98	30	45 000	573.0
4	10.0	INVESTIGACION	10.08.98	09.09.98	30	47 500	604.8
5	10.0	INVESTIGACION	10.08.98	09.09.98	30	43 750	557.0
6	10.0	INVESTIGACION	10.08.98	09.09.98	30	37 500	477.5

NOTA: LA INTERPRETACION AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO. SALVO LAS RECOMENDACIONES EXPRESAS ADJUNTAS.



[Handwritten Signature]
JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL

Reg. del Colegio de Ingenieros N°. 40883

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES

VIVIENDA Y CONSTRUCCION

OFICINA CONTROL DE CALIDAD

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD

AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : FECHA: 98.09.09
SOLICITADO : BACH. Ing C. PATRICIA MORALES A. ING. RESPONSABLE: JULIO CESAR MANRIQUE PINO
PROCEDENCIA : TESIS MOLDEADO POR: INTERESADOS
OBRA : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADO POR: TEC. EDUARDO DALL'ORTO MENESES


ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO cm	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	ROTURA			
1	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	11.08.98	31	54 250	690.7
2	10.0	ADITIVO	11.08.98	11.09.98	31	47 750	608.0
3	10.0		11.08.98	11-09-98	31	47 250	601.6
4	10.0		11.08.98	11-09-09	31	50 500	643.0
5	10.0	EUCO	11.08.98	11-09-98	31	50 750	646.2

NOTA: LOS TESTIGOS DE CONCRETO FUERON PREPARADOS, MOLDEADOS Y CURADOS POR EL INTERESADO

LA INTERPRETACION AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO




JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40883



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD

TESTIGOS : TESIS CONCRETO ALTA RESISTENCIA REG. N°: _____ FECHA: 09-04-99
SOLICITADO : BACH. ING. CIVIL PATRICIA MORALES ALFARO ING. RESPONS.: TOMAS SALINAS AQUINO
PROCEDENCIA: T E S I S MOLDEADOS POR : INTERESADO
OBRA : _____ EFECTUADO : TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

N° de Testigo	Diámetro (cm)	Estructura	Fecha de		Edad en días	Carga (kg)	Resistencia en Kg/cm ²
			Moldeo	Rotura			
1	15.0	Diorita I	24/02/1999	09/04/1999	44	178 000	1007
2	15.0	Diorita I	24/02/1999	09/04/1999	44	176 000	995.9
R E S I S T E N C I A A L A T R A C C I O N							
1	15.0	Diorita I	24/02/1999	09/04/1999	44	60 000	85.00
2	15.0	Diorita I	24/02/1999	09/04/1999	44	63 000	89.00

OBSERVACIONES : La interpretación ajena de los resultados es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresadas adjuntas.




JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 4088.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : FECHA: 98.09.09
SOLICITADO : BACH. Ing C. PATRICIA MORALES A. ING. RESPONSABLE: JULIO CESAR MANRIQUE PINO
PROCEDENCIA : TESIS MOLDEADO POR: INTERESADOS
OBRA : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADO POR: TEC. EDUARDO DALL'ORTO MENESES

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO cm	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	ROTURA			
1	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	75 000	954.9
2	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	72 000	916.7
3	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	71 500	910.4
4	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	70 000	891.3
5	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	70 000	891.3
6	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	68 250	869.0
7	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	66 600	846.7
8	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	65 500	834.0
9	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	65 750	837.2
10	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	61 250	780.0
11	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	60 000	763.9
12	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	54 000	687.5
13	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	53 000	674.3
14	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	53 000	674.8
15	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	62 600	668.5
16	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	30	50 000	604.8
17	15.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.09	28	47 500	604.8
18	15.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.09	28	40 000	509.3
19	10.0	INVESTIGACION	11.08.98	22.09.98	42	40 000	509.3


JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40883

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES

VIVIENDA Y CONSTRUCCION

OFICINA CONTROL DE CALIDAD

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : _____ FECHA: 98.09.01
SOLICITADO : BACH. Ing C. PATRICIA MORALES A. ING. RESPONSABLE: JULIO CESAR MANRIQUE PINO
PROCEDENCIA : TESIS MOLDEADO POR: INTERESADOS
OBRA : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADO POR: TEC. EDUARDO DALL'ORTO MENESE

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO cm	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	ROTURA			
1	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	76 250	970.8
2	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	72 000	916.7
3	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	70 500	897.6
4	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	67 750	862.6
5	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	68 000	840.3
6	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	62 500	795.8
7	9.9	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	57 000	740.5
8	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	58 000	738.5
9	10.0	INVESTIGACION	97-07.27	98-09-07	42	56 000	713.0

NOTA:

ESTE DOCUMENTO NO AUTORIZA USOS AJENOS, A EXCEPCION DE LOS EXPRESAMENTE ARRIBA SEÑALADOS.



[Signature]
JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N°. 40883

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : _____ FECHA: 98.09.18
SOLICITADO : BACH. Ing. C. PATRICIA MORALES A. ING. RESPONSABLE: JULIO CESAR MANRIQUE PINO
PROCEDENCIA: TESIS MOLDEADO POR: INTERESADOS
OBRA : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADO POR: TEC. EDUARDO DALL'ORTO MENESES

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO cm	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	ROTURA			
1	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	79 500	1012.2
2	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	73 500	938.8
3	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	73 500	935.8
4	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	69 000	878.5
5	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	67 250	856.3
6	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	66 250	843.5
7	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	64 000	814.9
8	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	64 000	814.9
9	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	63 750	811.7
10	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	63 500	808.5
11	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18.09.98	42	62 500	795.8
12	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18-09-98	42	62 500	795.8
13	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18-09-09	42	56 000	713.0
14	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18-09-98	42	55 250	703.5
15	10.0	INVESTIGACION	07.08.98	18-09-98	42	55 000	700.2

NOTA: LOS TESTIGOS DE CONCRETO FUERON PREPARADOS, MOLDEADOS Y CURADOS POR EL INTERESADO

LA INTERPRETACION AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO



[Signature]
JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N°. 40383



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : FECHA: 98.11.03
SOLICITADO : BACH. ING. C. PATRICIA MORALES ING. RESPONSABLE: TOMAS SALINAS ACUINO
PROCEDENCIA: TESIS MOLDEADO POR: INTERESADOS
TRAMO : EFECTUADO POR: TEC. B. YUCRA CH.

ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO (cm)	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	ROTURA			
1	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	80 000	1018.6
2	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	70 000	891.3
3	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	69 750	888.1
4	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	70 250	894.5
5	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	74 000	942.2
6	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	73 000	929.5
7	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	77 250	983.6
8	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	74 750	951.7
9	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	80 500	1025.0
10	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	85 000	1082.3
11	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	59 250	764.4
12	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	82 750	1063.6
13	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	66 000	827.6
14	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	70 500	897.6
15	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	66 250	843.5
16	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	88 250	1123.6
17	10.0	INVESTIGACION	98-08-13	98-11-11	90	66 750	849.9

NOTA: LOS TESTIGOS FUERON PREPARADOS, MOLDEADOS POR EL SOLICITANTE. LA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO




JULIO CESAR MARRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40883

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES
VIVIENDA Y CONSTRUCCION
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
AREA DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

TESTIGOS : DE CONCRETO REGISTRO N° : _____ FECHA: 98.11.19
SOLICITADO : BACH. Ing. C. PATRICIA MORALES A. ING. RESPONSABLE: JULIO CESAR MANRIQUE PINO
PRECEDENCIA: TESIS MOLDEADO POR: INTERESAZOS
OBRA : CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADO POR: TEC. EDUARDO DALL'ORTO MENESES


ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE

Nro DE TESTIGO	DIAMETRO cm	ESTRUCTURA	FECHA DE :		EDAD EN DIAS	CARGA (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
			MOLDEO	NOTURA			
1	15.0	INVESTIGACION	98-05-23	98-11-19	180	208 500	1179.9
2	15.0	INVESTIGACION	98-05-23	98-11-19	180	203 500	1151.6
3	10.0	INVESTIGACION	98-05-23	98-11-19	180	92 500	1177.7
4	10.0	INVESTIGACION	98-05-23	98-11-19	180	72 300	923.1
5	10.0	INVESTIGACION	98-05-23	98-11-19	180	87 500	1114.1
6	10.0	INVESTIGACION	98-05-23	98-11-19	180	86 500	1126.8

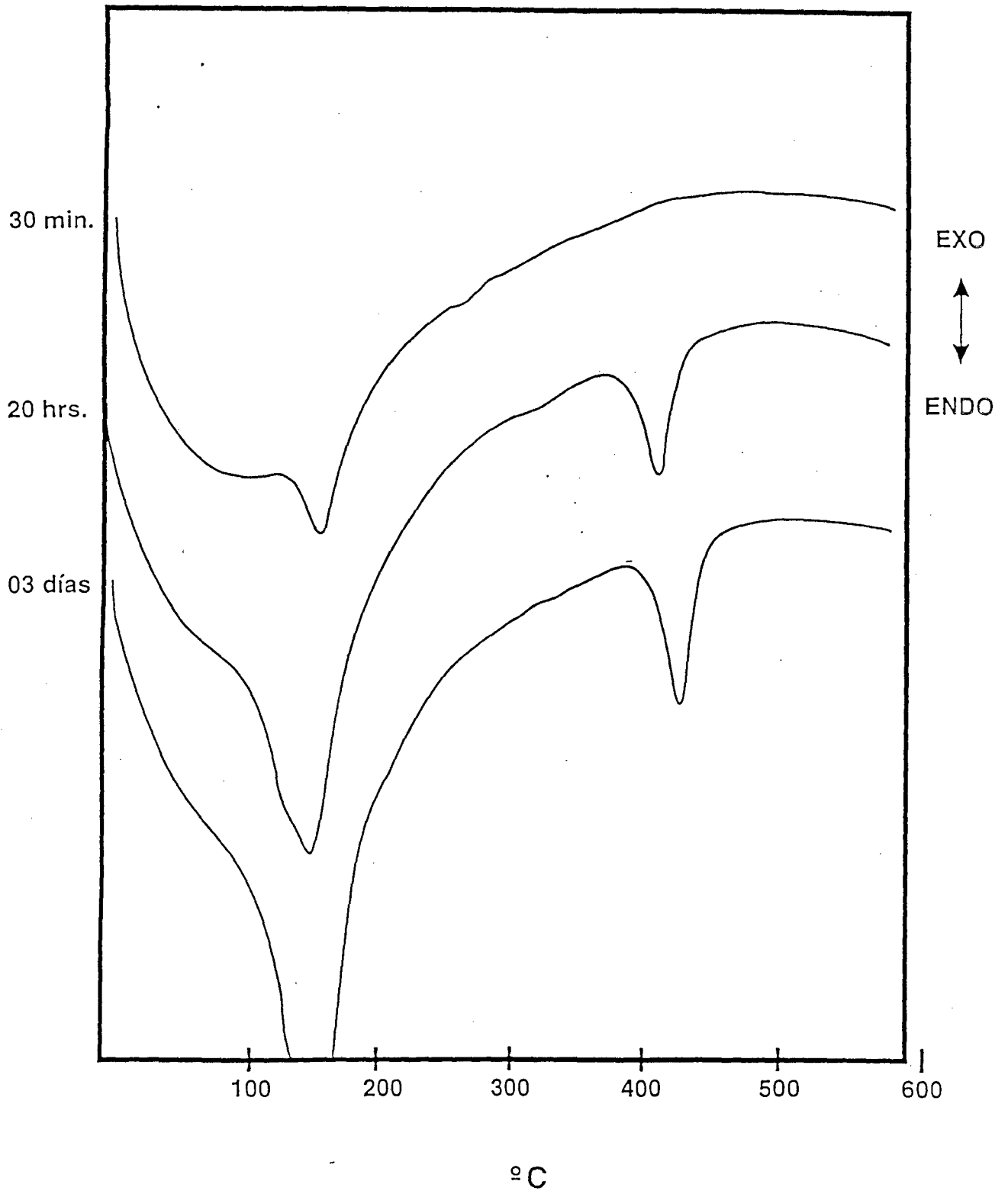
NOTA: LOS TESTIGOS DE CONCRETO FUERON PREPARADOS, MOLDEADOS Y CURADOS POR EL INTERESADO

LA INTERPRETACION AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO



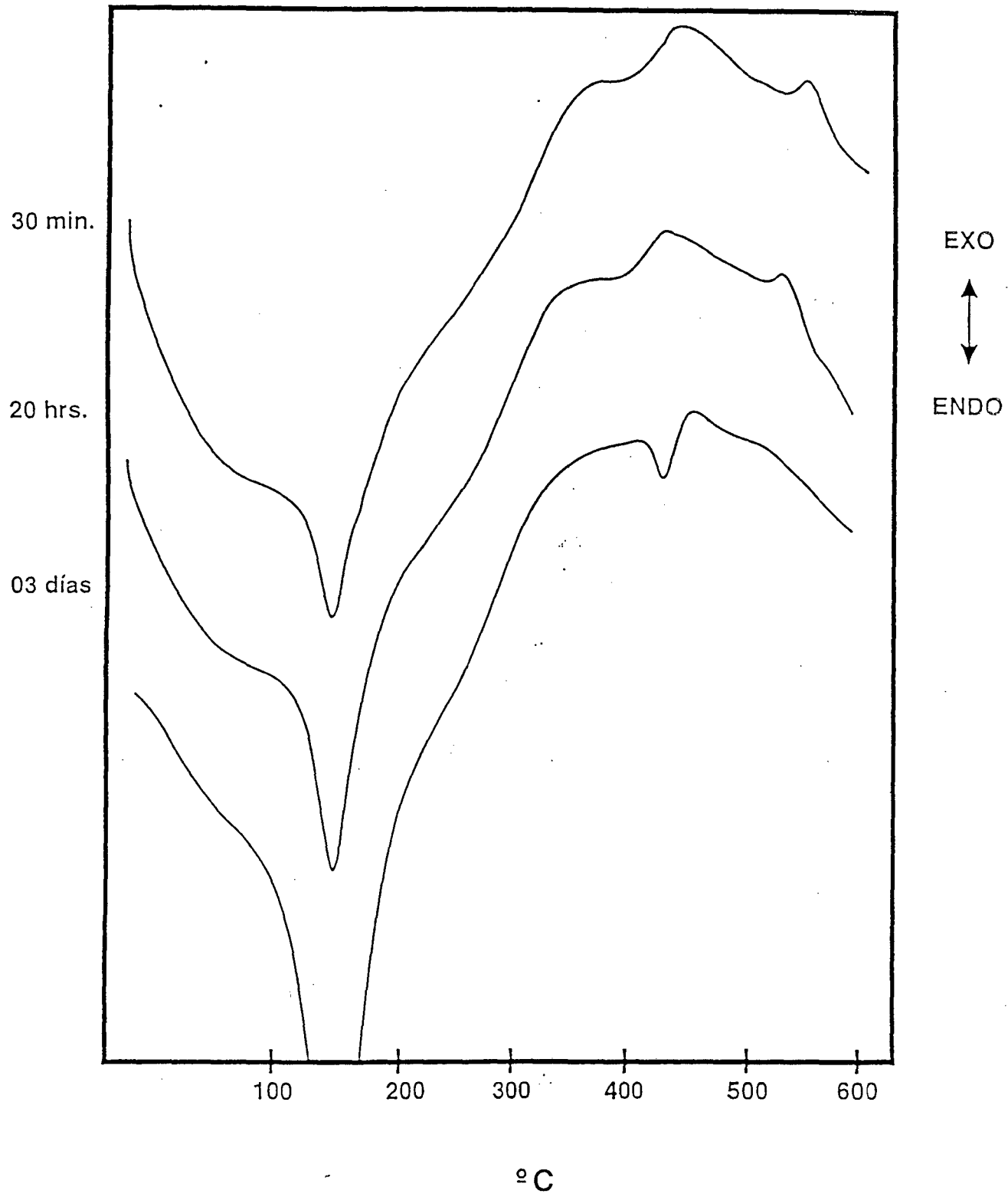

JULIO CESAR MANRIQUE PINO
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N°. 40883

GRAFICA I



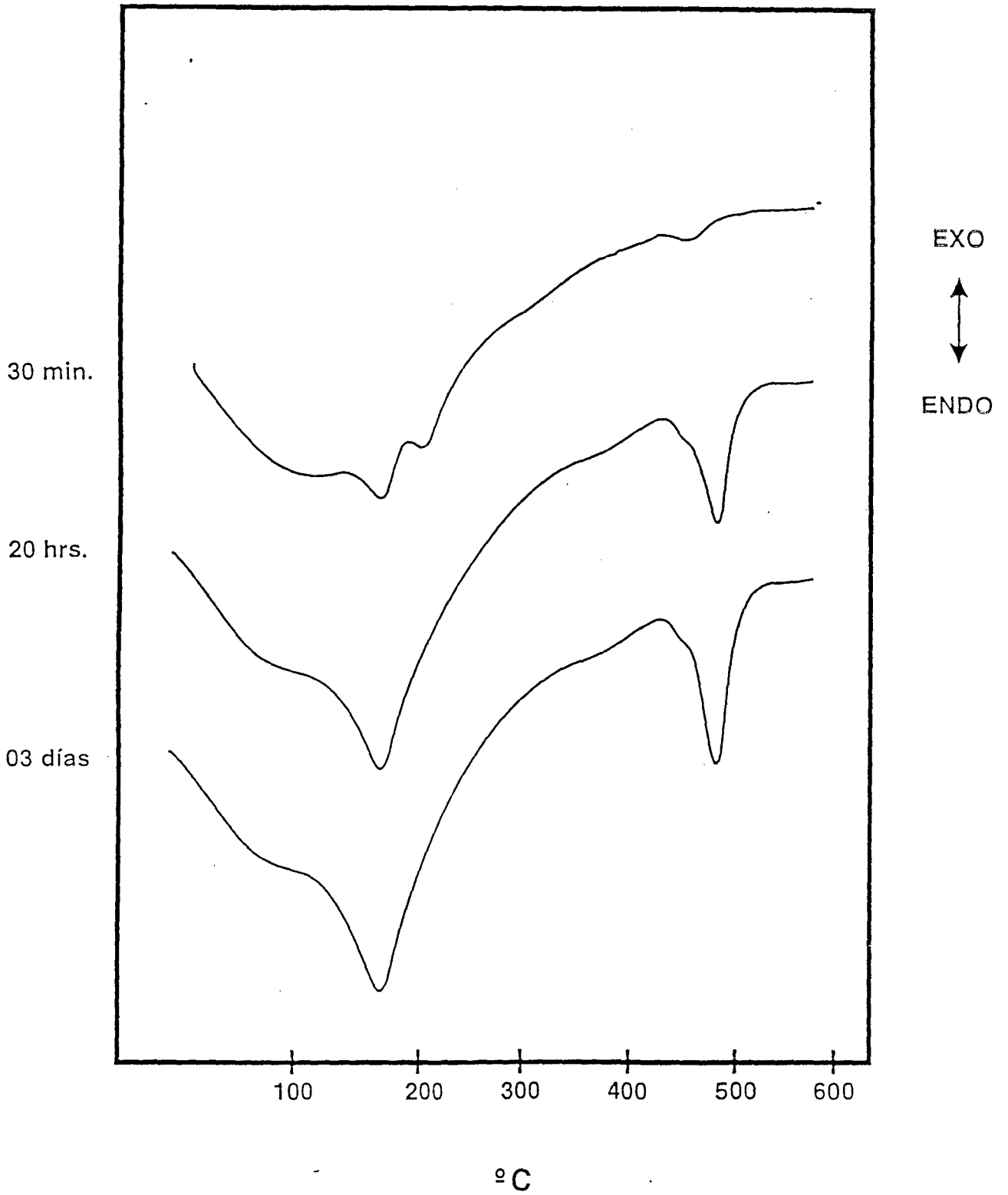
Pasta de Cemento de alto C3A, sin aditivo

GRAFICA II



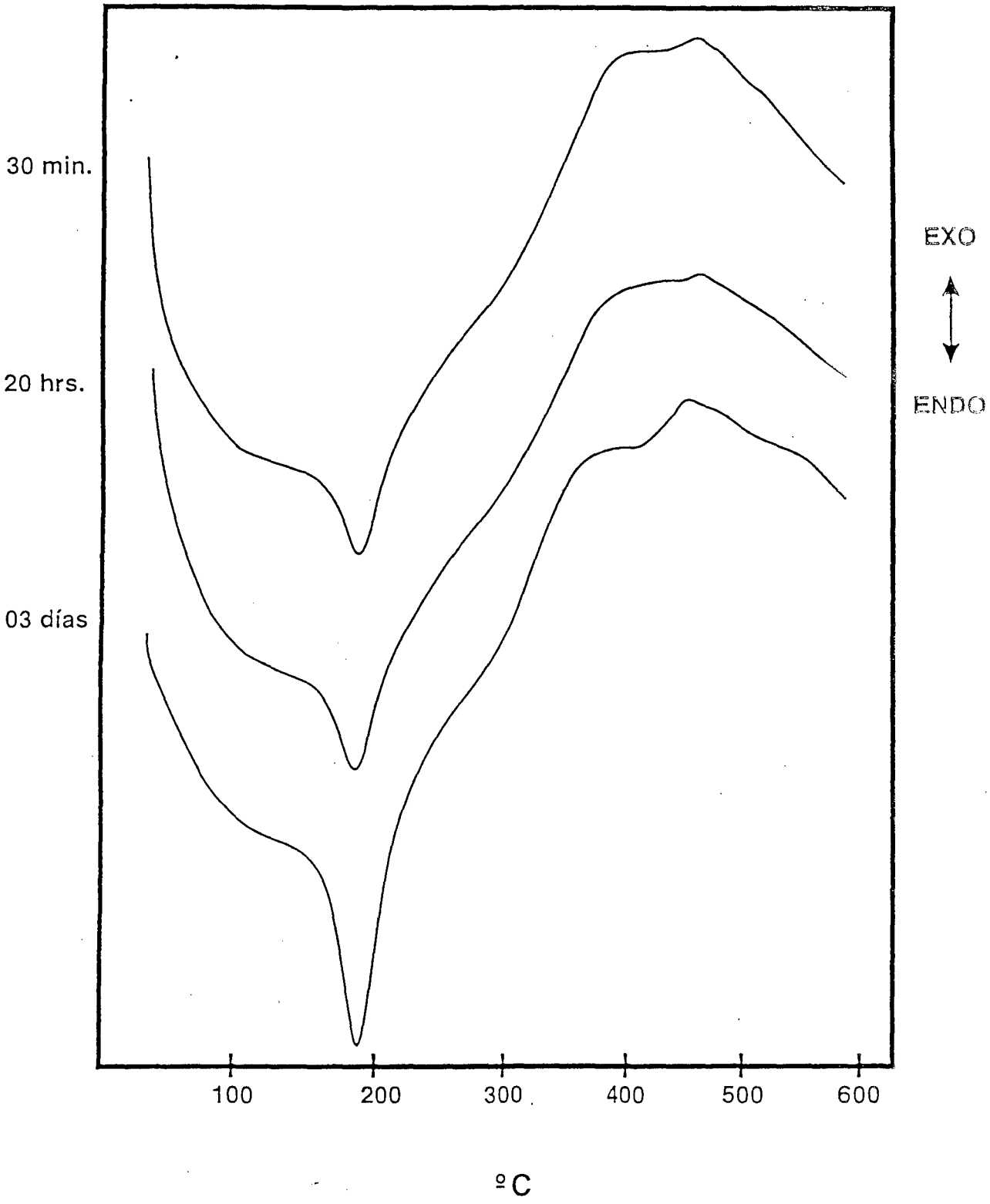
Pasta de Cemento de alto C3A, con aditivo

GRAFICA III



Pasta de Cemento de bajo C3A, sin aditivo

GRAFICA IV



Pasta de Cemento de bajo C3A, con aditivo

RESUMEN DE REPORTES MENSUALES - AÑO 1998

CEMENTOS LIMA S.A.

CEMENTO TIPO I

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	SrO	P.F.
Enero	20.18	6.07	2.91	62.54	3.07	2.33	0.26	0.95	0.33	0.15	0.05	0.13	1.02
Febrero	20.52	6.08	3.06	62.44	3.05	2.25	0.22	0.95	0.32	0.14	0.05	0.13	0.68
Marzo	20.11	6.12	3.05	62.64	2.70	2.43	0.23	0.87	0.31	0.15	0.05	0.13	1.10
Abril	20.08	6.08	3.05	62.87	3.05	2.30	0.26	0.93	0.24	0.15	0.06	0.14	0.93
Mayo	20.13	6.22	2.93	62.41	3.06	2.37	0.28	0.88	0.34	0.14	0.04	0.13	1.01
Junio	20.12	6.10	2.85	62.84	3.00	2.48	0.26	0.95	0.34	0.15	0.04	0.12	1.12
Julio	20.50	6.27	2.88	62.33	3.02	2.31	0.26	0.87	0.32	0.14	0.05	0.13	0.88
Agosto	20.04	6.12	2.90	62.46	3.07	2.68	0.29	0.92	0.33	0.15	0.05	0.12	1.01
Setiembre	20.16	6.18	3.02	62.50	3.08	2.46	0.26	0.96	0.25	0.16	0.05	0.13	0.95
Octubre	20.08	6.21	2.99	62.58	3.03	2.45	0.28	0.94	0.33	0.14	0.05	0.13	0.88
Noviembre	20.13	6.17	2.98	62.89	3.07	2.54	0.24	0.93	0.24	0.15	0.05	0.13	0.72
Diciembre	20.13	6.12	2.98	62.59	2.97	2.59	0.29	0.96	0.34	0.15	0.06	0.12	0.72
Promedio	20.18	6.15	2.97	62.56	3.01	2.43	0.26	0.93	0.31	0.15	0.05	0.13	0.92
Desv.Std.	0.16	0.06	0.07	0.14	0.10	0.13	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.15
Variac.%	0.79	1.04	2.41	0.23	3.46	5.28	8.57	3.67	12.94	4.21	12.08	4.50	16.45

....CONTINUACION CUADRO N° 5

CEMENTO TIPO I

	CaO(L)	R.I.	Cl-	Eq.Na2O	S.C.	M.S.	M.F.	C3S *	C2S	C3A	C4AF
--	--------	------	-----	---------	------	------	------	-------	-----	-----	------

Enero	0.71	0.72	0.074	0.89	92.91	2.25	2.09	46.95	22.44	12.43	8.86
Febrero	0.58	0.51	0.033	0.85	91.36	2.25	1.99	44.04	25.61	12.15	9.31
Marzo	0.67	0.58	0.008	0.80	93.02	2.19	2.01	47.20	22.04	12.28	9.28
Abril	0.61	0.67	0.013	0.87	93.70	2.20	1.99	49.52	20.21	11.98	9.28
Mayo	0.70	0.48	0.013	0.86	92.60	2.20	2.12	45.65	23.27	12.80	8.92
Junio	0.42	0.66	0.004	0.89	93.14	2.25	2.14	47.16	22.10	12.64	8.67
Julio	0.52	0.74	0.008	0.83	91.06	2.24	2.18	42.56	26.67	12.96	8.76
Agosto	0.80	0.55	0.040	0.90	92.89	2.22	2.11	46.33	22.50	12.58	8.82
Setiembre	0.67	0.63	0.012	0.89	92.50	2.19	2.05	46.14	22.99	12.35	9.19
Octubre	1.30	0.67	0.018	0.90	93.01	2.18	2.08	46.70	22.28	12.64	9.10
Noviembre	0.67	0.71	0.010	0.85	92.90	2.20	2.08	47.21	22.10	12.38	9.01
Diciembre	0.74	0.48	0.023	0.92	92.76	2.21	2.05	46.25	22.82	12.47	9.07

(*) Fases mineralógicas según ASTM C150-85.

Promedio	0.70	0.62	0.021	0.87	92.65	2.22	2.07	46.31	22.92	12.47	9.02
Desv.Std.	0.21	0.09	0.02	0.03	0.74	0.02	0.06	1.73	1.70	0.27	0.22
Varia.%	30.73	15.22	96.04	3.81	0.80	1.10	2.86	3.73	7.40	2.19	2.41

CUADRO N° 6

RESUMEN DE REPORTES MENSUALES - AÑO 1998
 CEMENTOS LIMA S.A.
CEMENTO TIPO I - ENSAYOS FISICOS

	Finura por tamizaje (%Ret.)				SE.Blal. cm2/g	Dend. g/cm3	Exp.A. %	C.Nor. %	F.Frag. %	C.Alre %	Frg.Vicat(h.m)		Fluldz %	Res.Compr(kg/cm2)			C.Hldr(cal/g)	
	t100	t170-h	t200-h	t325-h							Inicial	Final		3 d.	7 d.	28d.	7 d.	28 d.
Enero	0.11	0.45	0.67	7.53	3,500	3.12	0.18	26.15	75.00	7.04	1.50	3.15		227	285	360		
Febrero	0.10	0.34	0.59	5.87	3,220	3.14	0.17	26.77	79.47	5.64	2.20	3.30		236	300	399		
Marzo	0.16	0.52	0.60	6.53	3,250	3.11	0.17	25.85	87.60	5.98	2.09	3.30		261	331	402		
Abril	0.11	0.31	0.39	5.10	3,290	3.14	0.16	26.46	68.30	6.42	2.49	4.15	66.00	240	316	407		
Mayo	0.16	0.56	0.72	6.92	3,200	3.11	0.25	26.46	77.59	6.28	2.29	3.45	85.60	252	319	421		
Junio	0.22	0.71	0.83	7.28	3,020	3.11	0.18	26.46	79.58	5.98	2.50	4.30	84.80	225	299	402		
Julio	0.27	0.45	0.60	7.19	3,160	3.11	0.23	26.15	73.91	6.09	2.35	4.15	84.10	224	291	388		
Agosto	0.07	0.21	0.37	7.15	3,240	3.08	0.21	26.77	67.93	5.78	3.03	4.45	81.20	241	307	407		
Setiembre	0.12	0.41	0.60	10.37	3,180	3.11	0.20	26.15	61.09	5.53	2.06	3.45	75.90	212	276	363		
Octubre	0.04	0.33	0.47	7.59	3,150	3.12	0.19	26.15	80.13	5.44	2.23	3.45	86.00	240	305	382		
Noviembre	0.04	0.17	0.22	5.40	3,130	3.12	0.20	27.08	81.97	5.31	2.21	3.45	86.30	259	325	410		
Diciembre	0.04	0.17	0.36	6.48	3,110	3.10	0.20	27.08	73.30	6.13	2.10	3.45	83.70	262	317	384		
Promedio	0.12	0.39	0.54	6.95	3,204	3.11	0.20	26.46	75.49	5.97	2.25	3.54	81.52	240	306	395		
Desv.std.	0.07	0.16	0.18	1.35	117.68	0.02	0.03	0.40	7.20	0.48	0.35	0.45	6.68	16.18	16.59	18.51		
Varla.%	60.51	42.61	32.74	19.43	3.67	0.52	13.39	1.49	9.54	8.05	14.49	11.43	8.17	6.75	5.42	4.69		

ARPL

RESUMEN DE REPORTES MENSUALES - AÑO 1988

CEMENTOS LIMA S.A.
CEMENTO TIPO IP

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Mn ₂ O ₃	SrO	P.F.	CaO(L)	R.I.	Cl-	Eq.Na ₂ O
Enero	23.33	6.58	4.40	57.65	1.52	2.55	0.71	1.04	0.35	0.14	0.05	0.09	1.74	0.53	7.54	0.052	1.39
Febrero	24.67	6.65	4.62	54.76	2.54	2.62	0.42	1.07	0.40	0.15	0.05	0.05	1.95	0.52	11.29	0.054	1.12
Marzo	25.28	6.01	4.87	54.78	2.21	2.52	0.44	0.97	0.38	0.15	0.06	0.05	1.76	0.42	9.35	0.033	1.08
Abril	24.48	6.61	4.85	54.71	2.53	2.93	0.47	1.06	0.35	0.14	0.05	0.05	1.87	0.52	9.80	0.046	1.17
Mayo	23.08	6.63	4.52	58.44	2.71	2.73	0.43	0.94	0.37	0.15	0.05	0.10	1.85	0.55	6.99	0.037	1.05
Junio	23.59	6.67	4.72	56.03	2.79	2.60	0.42	1.04	0.36	0.15	0.05	0.10	1.50	0.36	7.75	0.031	1.10
Julio	24.97	6.81	4.64	54.46	2.47	2.62	0.49	1.01	0.34	0.15	0.05	0.05	2.02	0.29	10.80	0.043	1.15
Agosto	23.64	6.95	4.87	55.18	2.85	2.71	0.48	1.03	0.38	0.15	0.05	0.05	1.61	0.75	8.60	0.050	1.14
Setiembre	24.61	6.77	4.73	54.47	2.56	2.56	0.43	1.07	0.38	0.15	0.05	0.05	2.15	0.64	10.60	0.045	1.13
Octubre	23.51	6.70	4.75	55.93	2.08	2.66	0.44	1.00	0.37	0.14	0.05	0.06	1.57	0.52	7.38	0.039	1.10
Noviembre	25.72	6.85	4.79	53.09	2.55	2.65	0.45	1.03	0.38	0.14	0.05	0.05	2.15	0.45	12.41	0.044	1.13
Diciembre	25.36	6.87	4.75	53.51	2.60	2.73	0.49	1.08	0.38	0.16	0.06	0.09	1.74	0.51	11.87	0.054	1.20
Promedio	24.35	6.73	4.69	55.08	2.50	2.66	0.47	1.03	0.37	0.15	0.05	0.07	1.83	0.51	9.53	0.044	1.15
Desv.Std.	0.89	0.12	0.14	1.26	0.35	0.11	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	0.02	0.21	0.12	1.88	0.008	0.09
Varia.%	3.67	1.82	2.92	2.30	13.99	4.15	16.81	4.12	4.61	4.21	7.53	33.32	11.71	23.81	19.70	17.74	7.63

RESUMEN DE REPORTES MENSUALES - AÑO 1998
 CEMENTOS LIMA S.A.
CEMENTO TIPO IP - ENSAYOS FISICOS

Finura por tamizaje(%Ret.)				SE.Blai.	Dend	Exp.A.	C.Nor.	C.Aire	Frg.Vicat(h.m)		Relac	Fluldz	Res.Compr(kg/cm ²)			C.Hidr(cal/g)	
t100-s	t170-h	t200-h	t325-h	cm ² /g.	g/cm ³	%	%	%	Inlcial	Final	a/c	%	3 d.	7 d.	28d.	7 d.	28 d.

Enero	0.12	0.51	0.74	6.52	4,500	3.05	0.11	27.38	4.40	1.49	3.15	0.56		194	256	337		
Febrero	0.08	0.32	0.42	4.35	4,850	3.03	0.13	29.23	3.35	1.38	3.00	0.59	110.90	195	261	354		
Marzo	0.09	0.43	0.53	4.32	4,830	3.05	0.11	26.92	3.88	1.50	3.15	0.56	110.90	205	286	402		
Abril	0.06	0.24	0.28	3.49	4,720	2.97	0.13	27.08	3.88	1.53	3.30	0.54	107.00	233	301	406		
Mayo	0.19	0.41	0.46	4.60	4,130	3.03	0.14	27.38	4.85	2.07	3.30	0.54	109.00	243	298	418		
Junio	0.12	0.46	0.75	4.06	4,340	3.05	0.14	27.38	5.50	1.55	3.30	0.54	114.40	213	290	378		
Julio	0.12	0.37	0.47	4.25	4,620	3.01	0.12	29.23	3.15	2.05	3.45	0.60	116.90	180	235	364		
Agosto	0.04	0.13	0.20	5.25	4,470	3.04	0.13	27.85	3.90	2.22	4.00	0.55	113.40	234	293	415		
Setiembre	0.05	0.17	0.35	2.96	4,760	3.01	0.14	28.31	3.68	2.05	3.45	0.55	112.90	198	260	372		
Octubre	0.06	0.20	0.32	5.56	4,330	3.05	0.14	27.38	4.62	1.50	3.30	0.54	109.80	230	301	392		
Noviembre	0.06	0.19	0.24	2.79	4,920	3.02	0.11	29.23	3.46	1.50	3.30	0.58	109.30	237	297	398		
Diciembre	0.11	0.23	0.38	4.73	4,410	3.00	0.12	28.00	4.35	1.50	3.30	0.54	113.70	224	277	373		

Promedio	0.09	0.31	0.43	4.41	4,573	3.03	0.13	27.95	4.09	1.56	3.30	0.56	111.65	216	280	384		
Deav.std.	0.04	0.13	0.18	1.06	247.55	0.03	0.01	0.86	0.68	0.20	0.26	0.02	2.88	20.70	21.68	25.22		
Variac.%	46.48	41.95	41.26	24.05	5.41	0.83	9.72	3.08	16.72	10.09	7.46	3.64	2.58	9.61	7.75	6.57		

RESUMEN DE REPORTES MENSUALES - AÑO 1998
CEMENTOS LIMA S.A.
PUZOLANA

SIO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃ T	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P.F.	SO ₃ v	Cl-	Ac.Puz.	325M	Dens.	A.P.7d	A.P.28d
------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----	-----	-------------------	-------------------	------------------	------------------	------	-------------------	-----	---------	------	-------	--------	---------

psi

Enero	54.77	10.27	15.01	2.81	0.63	6.87	1.03	1.56	0.47	12.25	6.15	0.22	1,255	9.00	2.67	103.40	117.78
Febrero	54.80	10.57	18.01	1.93	0.55	6.20	1.07	1.53	0.47	10.67	5.81	0.20	1,350	9.00	2.72	99.32	112.27
Marzo	56.00	9.46	17.01	2.24	0.40	6.71	1.02	1.52	0.41	11.31	6.35	0.20	1,127	7.19	2.75	84.57	99.74
Abril	57.34	9.35	18.19	0.93	0.37	5.57	0.95	1.49	0.46	10.63	5.28	0.21	1,664	8.46	2.74	94.06	96.76
Mayo	53.26	10.38	18.73	0.91	0.90	6.76	0.94	1.86	0.57	11.72	6.41	0.23	1,717	8.98	2.82	84.31	97.57
Junio	54.14	10.54	17.37	0.83	0.68	6.57	1.02	1.96	0.54	12.41	6.25	0.16	1,714	8.36	2.75	94.15	90.88
Julio	57.54	10.76	13.97	1.98	0.72	5.92	1.24	1.40	0.43	11.13	5.23	0.16	1,554	8.36	2.62	96.83	99.70
Agosto	55.51	12.83	15.67	1.13	1.31	3.62	1.08	1.02	0.64	10.18	3.45	0.17	1,278	8.99	2.67	92.02	97.06
Setiembre	53.75	11.46	14.03	5.90	1.00	4.65	1.02	1.26	0.48	10.00	3.91	0.16	1,248	8.92	2.73	94.23	100.43
Octubre	54.37	10.87	15.22	3.90	0.63	7.06	1.06	1.53	0.48	10.62	6.08	0.19	1,910	8.98	2.69	101.55	
Noviembre	53.11	11.50	16.78	1.17	0.43	7.12	0.97	1.84	0.47	12.79	6.41	0.20	1,985	13.17	2.70	95.11	
Diciembre	57.85	11.28	13.87	0.48	0.58	5.96	1.11	1.81	0.51	11.47	5.28	0.19	1,153	9.35	2.63	103.66	105.08

Promedio	55.20	10.77	16.16	2.02	0.68	6.08	1.04	1.57	0.49	11.27	5.55	0.191	1,496	9.06	2.71	95.27	101.73
Desv. Std.	1.66	0.94	1.75	1.57	0.27	1.05	0.08	0.27	0.06	0.90	0.98	0.024	298.59	1.41	0.06	6.35	7.96
Varlac. %	3.00	3.74	10.84	77.65	39.91	17.29	7.76	17.30	12.78	7.95	17.74	12.53	19.98	15.55	2.08	6.67	7.83

RESUMEN DE REPORTES - AÑO 1998
CEMENTO ANDINO S.A.
CEMENTO TIPO I - ENSAYOS FISICOS

MESES	Finura por tamizaje (%Ret.)				Blaine cm2/g	Dend. g/cm3	Exp.A. %	C.Nor. %	F.Frag. %	C.Aire %	F.Vicat (h:m)		Fluidz %	Res.Compr.(Kg/cm2)		
	100	170	200	325							Inicial	Final		3 d.	7 d.	28 d.
ENERO	0.23	1.42	2.40	18.49	3,610	3.13	0.00	22.15	67.33	2.83	2.02	3.15		238	270	406
FEBRERO	0.14	1.02	1.83	14.20	3,370	3.11	0.03	22.92	71.43	2.24	2.20	3.45		246	290	412
MARZO	0.17	0.98	1.23	13.42	3,390	3.12	0.02	22.77	78.29	2.36	2.34	4.00		221	267	381
ABRIL	0.30	1.69	2.12	14.93	3,230	3.13	0.02	22.77	85.28	2.51	1.51	3.30	68.80	207	242	386
MAYO	0.22	1.28	1.65	11.70	3,350	3.11	0.05	22.77	72.16	2.76	2.08	3.30	78.10	229	282	407
JUNIO	0.26	1.58	1.96	15.28	3,280	3.12	0.08	22.77	68.31	5.40	2.34	4.00	84.40	219	285	395
JULIO	0.12	1.03	1.44	17.84	3,190	3.11	0.01	23.38	68.73	4.17	3.19	4.45	77.70	243	282	385
AGOSTO	0.19	1.13	1.63	18.13	3,260	3.10	0.03	23.69	72.41	3.04	2.35	4.15	75.10	201	256	354
SETIEMBRE	0.15	1.26	1.70	19.60	3,260	3.13	0.05	23.08	80.51	3.06	2.40	4.00	71.00	210	279	388
OCTUBRE	0.13	1.08	1.54	16.92	3,340	3.11	0.05	22.46	57.82	4.20	2.40	4.15	84.50	214	268	377
NOVIEMBRE	0.17	1.20	1.60	17.13	3,400	3.13	0.02	22.46	61.00	4.01	1.52	3.30	80.70	227	270	400
DICIEMBRE	0.20	1.34	2.36	21.02	3,270	3.12	0.05	22.77	79.40	4.54	2.29	4.00	84.10	215	263	361
PROM.ANUAL	0.19	1.25	1.79	16.56	3329	3.12	0.03	22.83	71.89	3.43	2.25	3.54	78.27	223	271	388
DESV.STD.	0.05	0.22	0.34	2.59	105.9	0.01	0.02	0.39	7.70	0.96	0.40	0.40	5.47	13.77	12.97	17.13
Variación,%	27.60	17.28	19.27	15.67	3.18	0.32	63	1.73	10.71	28.06	16.34	10.30	6.99	6.19	4.78	4.42

RESUMEN DE REPORTES - AÑO 1998
CEMENTO ANDINO S.A.
CEMENTO TIPO I

MESES	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Mn2O3	SrO	ZnO	P.F.	Cal L.	R.I.	S.C.	C3S(*)	C2S	C3A	C4AF	Eq.A.
ENERO	21.71	4.35	3.32	63.95	1.75	2.38	0.06	0.50	0.21	0.10	0.08	0.05	0.10	1.36	1.22	0.54	91.07	52.71	22.48	6.73	10.10	0.39
FEBRERO	21.58	4.26	3.30	63.84	1.85	2.39	0.07	0.53	0.20	0.10	0.07	0.05	0.07	1.64	1.71	0.57	91.56	53.92	21.19	6.50	10.04	0.42
MARZO	21.83	4.36	3.35	63.82	2.00	2.35	0.04	0.54	0.15	0.10	0.05	0.04	0.06	1.47	1.22	0.66	90.51	51.60	23.66	6.55	10.19	0.40
ABRIL	22.03	4.39	3.29	63.91	1.81	2.40	0.08	0.42	0.20	0.12	0.08	0.04	0.10	1.20	1.12	0.50	89.75	49.72	25.65	6.91	10.01	0.36
MAYO	21.65	4.32	3.31	64.04	1.68	2.40	0.08	0.58	0.19	0.13	0.09	0.04	0.10	1.22	1.42	0.37	91.43	53.58	21.65	6.70	10.07	0.46
JUNIO	21.52	4.52	3.39	63.28	2.14	2.45	0.08	0.63	0.20	0.11	0.07	0.06	0.06	1.57	0.57	0.82	90.41	50.02	23.96	7.06	10.32	0.49
JULIO	21.82	4.20	3.32	63.89	1.81	2.39	0.05	0.60	0.20	0.13	0.10	0.04	0.08	1.35	0.89	0.85	90.75	52.43	23.00	6.39	10.10	0.44
AGOSTO	21.99	4.34	3.30	63.91	1.62	2.43	0.06	0.49	0.19	0.12	0.08	0.04	0.09	1.29	1.53	0.84	89.95	50.33	25.08	6.74	10.04	0.38
SETIEMBRE	21.98	4.27	3.21	63.86	1.75	2.44	0.09	0.53	0.20	0.10	0.09	0.04	0.10	1.34	0.71	0.74	90.10	50.84	24.66	6.68	9.77	0.44
OCTUBRE	21.30	4.42	3.24	63.61	2.30	2.34	0.06	0.50	0.20	0.10	0.09	0.06	0.08	1.75	0.87	0.46	92.15	54.30	20.10	7.03	9.86	0.39
NOVIEMBRE	21.67	4.41	3.38	63.89	2.06	2.40	0.06	0.53	0.20	0.10	0.09	0.05	0.08	1.06	0.63	0.48	90.98	52.29	22.68	6.76	10.29	0.41
DICIEMBRE	21.62	4.40	3.19	63.80	1.96	2.39	0.07	0.63	0.23	0.11	0.09	0.05	0.07	1.31	0.65	0.37	91.17	52.40	22.45	7.16	9.71	0.48
PROM.ANUAL	21.73	4.35	3.30	63.82	1.89	2.40	0.07	0.54	0.20	0.11	0.08	0.05	0.08	1.38	1.05	0.60	90.82	52.01	23.05	6.77	10.04	0.42
Desv.Std.	0.21	0.08	0.06	0.19	0.19	0.03	0.01	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.19	0.37	0.17	0.68	1.47	1.57	0.23	0.18	0.04
Variación,%	0.95	1.87	1.79	0.30	10.19	1.30	20.6	10.93	8.80	10.5	15.7	16.0	17.9	13.6	35.0	28.3	0.75	2.82	6.82	3.34	1.79	9.79

(*) NOTA: FASES MINERALOGICAS SEGUN ASTM C 150-95.



RESUMEN DE REPORTES - AÑO 1998
CEMENTO ANDINO S.A.
CEMENTO TIPO V - ENSAYOS FISICOS

MESES	Finura por tamizaje (%Ret.)				Blaine cm2/g	Dend. g/cm3	Exp.A. %	C.Nor. %	F.Frag. %	C.Aire %	F.Vicat (h:m)		Fluidz %	Res.Compr.(Kg/cm2)		
	100	170	200	325							Inicial	Final		3 d.	7 d.	28 d.
ENERO	0.27	1.47	2.41	18.07	3,220	3.11	0.00	22.31	86.44	3.41	2.53	4.15		235	296	393
FEBRERO	0.24	1.07	1.94	14.68	3,270	3.13	0.01	22.00	71.88	1.41	3.30	4.45		186	237	350
MARZO	0.30	1.33	1.74	16.29	3,380	3.13	0.01	22.15	54.84	2.39	3.08	4.30		191	239	361
ABRIL	0.32	1.31	1.69	14.95	3,380	3.11	0.01	22.15	57.23	2.37	3.16	4.30	79.10	191	237	350
MAYO	0.44	1.65	2.09	15.22	3,230	3.12	0.01	22.77	50.00	3.15	3.34	5.00	82.90	172	227	326
JUNIO	0.21	1.21	1.54	14.40	3,260	3.13	0.01	22.77	37.68	3.22	3.11	4.30	78.20	191	259	372
JULIO	0.20	1.10	1.50	17.39	3,120	3.11	0.00	22.77	7.28	4.20	2.50	4.30	72.90	183	237	343
AGOSTO	0.24	1.10	1.55	18.75	3,230	3.14	0.00	23.08	3.75	3.80	2.38	4.30	61.60	174	237	358
SETIEMBRE	0.28	1.29	1.78	19.14	3,040	3.13	0.01	22.77	22.43	2.60	3.21	4.45	76.40	181	251	366
OCTUBRE	0.21	1.58	2.10	20.53	3,110	3.14	0.02	23.08	18.40	3.88	3.19	5.00	70.30	171	235	341
NOVIEMBRE	0.18	1.31	1.70	19.26	3,210	3.13	0.02	22.62	22.81	4.12	3.25	5.00	75.00	179	226	335
DICIEMBRE	0.25	1.27	2.23	20.32	3,140	3.13	0.03	22.77	52.48	4.43	3.02	4.30	81.50	171	233	339
PROM.ANUAL	0.26	1.31	1.86	17.42	3216	3.13	0.01	22.60	40.44	3.25	3.11	4.39	75.32	185	243	353
DESV.STD.	0.07	0.18	0.28	2.15	98.44	0.01	0.01	0.35	24.84	0.87	0.28	0.24	6.14	16.70	18.25	17.63
Variación,%	25.63	13.47	15.24	12.34	3.06	0.33	79.57	1.54	61.43	26.82	8.66	5.13	8.15	9.00	7.52	5.00

Nota: Valor de remezclado en falso fraguado de las muestras de Junio a Noviembre es 40;40;40;37;40v39 mm.

RESUMEN DE REPORTES - AÑO 1998
CEMENTO ANDINO S.A.
CEMENTO TIPO V

MESES	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Mn2O3	SrO	ZnO	P.F.	Cal L.	R.I.	S.C.	C3S(*)	C2S	C3A	C4AF	Eq.A.
ENERO	22.41	3.05	4.44	63.68	2.01	1.93	0.06	0.43	0.15	0.10	0.10	0.03	0.08	1.65	1.10	0.48	89.69	55.02	22.74	1.23	13.51	0.34
FEBRERO	22.39	3.18	4.39	63.68	2.12	1.89	0.06	0.44	0.15	0.11	0.08	0.03	0.07	1.45	1.07	0.55	89.63	54.42	23.14	1.69	13.36	0.35
MARZO	22.33	3.10	4.41	63.89	2.12	1.84	0.04	0.42	0.17	0.10	0.08	0.05	0.07	1.42	1.29	0.48	90.32	56.40	21.47	1.47	13.42	0.32
ABRIL	22.38	3.15	4.23	63.59	1.92	2.00	0.06	0.44	0.17	0.11	0.08	0.05	0.10	1.70	1.44	0.41	89.60	54.19	23.28	1.93	12.87	0.35
MAYO	22.43	3.09	4.39	63.80	1.82	1.83	0.06	0.41	0.16	0.09	0.08	0.05	0.10	1.58	1.15	0.52	89.90	55.53	22.41	1.42	13.36	0.33
JUNIO	22.52	3.26	4.48	64.13	1.58	1.87	0.05	0.46	0.15	0.11	0.07	0.04	0.04	1.17	0.74	0.49	89.65	54.70	23.30	1.75	13.63	0.35
JULIO	22.43	3.22	4.40	64.38	1.45	1.87	0.05	0.48	0.15	0.10	0.07	0.04	0.03	1.22	1.07	0.76	90.47	56.85	21.42	1.75	13.39	0.37
AGOSTO	22.77	3.20	4.37	64.17	1.41	1.91	0.05	0.47	0.15	0.10	0.08	0.04	0.04	1.14	1.10	0.56	88.97	53.47	24.94	1.75	13.30	0.36
SETIEMBRE	22.57	3.20	4.33	64.52	1.48	1.81	0.05	0.47	0.15	0.09	0.08	0.04	0.03	1.12	0.63	0.57	90.33	56.83	21.84	1.79	13.18	0.36
OCTUBRE	22.52	3.16	4.37	63.81	1.85	1.98	0.06	0.47	0.15	0.11	0.07	0.04	0.05	1.28	1.00	0.50	89.32	53.91	23.90	1.67	13.30	0.37
NOVIEMBRE	22.40	3.20	4.48	63.72	2.33	1.88	0.06	0.40	0.15	0.14	0.05	0.03	0.04	1.22	0.45	0.51	89.71	54.64	23.00	1.67	13.63	0.32
DECIEMBRE	22.42	3.07	4.35	64.12	2.14	1.72	0.07	0.43	0.16	0.13	0.06	0.03	0.05	1.19	0.66	0.44	90.48	57.06	21.23	1.54	13.24	0.35
PROM.ANUAL	22.46	3.16	4.39	63.96	1.85	1.86	0.06	0.44	0.16	0.11	0.08	0.04	0.06	1.35	0.98	0.52	89.84	55.25	22.72	1.64	13.35	0.35
Desv.Std.	0.11	0.06	0.06	0.29	0.30	0.09	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.20	0.28	0.08	0.45	1.20	1.06	0.18	0.20	0.02
Variación,%	0.50	1.99	1.48	0.45	16.01	4.86	13.6	5.70	4.93	13.2	15.9	19.4	41.3	14.8	28.8	16.2	0.51	2.17	4.68	11.13	1.48	4.58

(*) NOTA: FASES MINERALOGICAS SEGLN ASTM: C 150-95.