

Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil



**ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL
(CENIZAS VOLANTES) CON RELACIONES DE AGUA/CEMENTANTE
DE 0.70, 0.65 Y 0.60 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Alvaro Víctor Manco Araujo

LIMA-PERU

2005

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: MATERIALES	3
1.1 CEMENTO PORTLAND	3
1.2 CENIZAS VOLANTES	7
1.3 AGREGADOS	20
1.3.1 INTRODUCCION	20
1.3.2 AGREGADO FINO	21
1.3.3 AFREGADO GRUESO	27
1.4 AGUA	33
CAPITULO II: SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES	35
2.1 INTRODUCCION	35
2.2 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS	35
2.3 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN	35
2.4 DISEÑO DE MEZCLAS	37
CAPITULO III: PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO ...	50
3.1 INTRODUCCIÓN	50
3.2 PESO UNITARIO	50
3.3 CONSISTENCIA	52

3.4	FLUIDEZ	55
3.5	CONTENIDO DE AIRE	57
3.6	EXUDACIÓN	59
3.7	TIEMPO DE FRAGUA	61

CAPITULO IV: PROPIEDADES EN EL CONCRETO ENDURECIDO

4.1	INTRODUCCIÓN	64
4.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	64
4.3	TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	67
4.4	MODULO ELÁSTICO	69

CAPITULO V: ANALISIS DE COSTOS

5.1	INTRODUCCIÓN	70
5.2	ANALISIS DE COSTOS PARA a/mc = 0.60	71
5.3	ANALISIS DE COSTOS PARA a/mc= 0.65	73
5.4	ANALISIS DE COSTOS PARA a/mc= 0.70	75

CAPITULO VI: CUADROS DE RESULTADOS Y GRAFICOS

6.1	INTRODUCCIÓN	77
6.2	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LAS CENIZAS VOLANTES	77

6.3	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	78
6.4	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO ..	78
CAPITULO VII: ANALISIS DE RESULTADOS		93
7.1	INTRODUCCIÓN	93
7.2	ANALISIS DE RESULTADOS	94
	7.2.1 AGREGADO FINO	94
	7.2.2 AGREGADO GRUESO	94
	7.2.3 CENIZA VOLANTE	95
	7.2.4 DISEÑO DE MEZCLAS	98
	7.2.5 CONCRETO EN ESTADO FRESCO ...	98
	7.2.6 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	103
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
8.1	INTRODUCCIÓN	111
8.2	CONCLUSIONES	112
	8.2.1 CENIZA VOLANTE	112
	8.2.2 DISEÑO DE MEZCLA	113
	8.2.3 CONCRETO EN ESTADO FRESCO..	113
	8.2.4 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	114

8.2.5 DEL COSTO DE LA APLICACIÓN DE LAS CENIZAS VOLANTES	114
8.3 RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA	116
ANEXOS	
ANEXO A : PROPIEDADES DE LAS CENIZAS VOLANTES	117
ANEXO B : PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS	129
ANEXO C : ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	138
ANEXO D : ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	172
ANEXO E : FOTOGRAFIAS	197

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a nivel mundial, se viene produciendo con mayor fuerza la tendencia hacia la búsqueda de materiales que puedan ser empleados como parte del material cementante, y le otorguen al concreto propiedades similares o mejores que las que le puede dar el cemento. Dentro de estos materiales se encuentra la ceniza volante, producto de la quema de carbón, considerada como desecho, que en nuestro país es generada en la Central Termoeléctrica Ilo 21.

Para determinar los efectos de las cenizas volantes sobre las propiedades físicas del concreto, se realizaron ensayos de exudación, tiempo de fragua, expansión de autoclave, asentamiento, fluidez, contenido de aire, actividad puzolánica, calor de hidratación, distribución de tamaño de partículas, peso unitario, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción.

Las mezclas que se han utilizado en los ensayos han tenido un reemplazo del 10, 15, 20 y 25% de cenizas volantes en peso de cemento para las relaciones agua-material cementante de 0.60, 0.65 y 0.70.

OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo ha sido determinar los efectos de las cenizas volantes, producto de la quema de carbón en el Puerto de Ilo (Moquegua), como parte del material cementante, sobre las propiedades físicas y de durabilidad en el concreto.

Con este propósito se realizó un concreto patrón, para el cual se reemplazó el 10, 15, 20 y 25% de cenizas volantes en peso de cemento. Para

las tres relaciones de agua-material cementante se mantuvo constante la cantidad de agua determinada en el concreto patrón para un slump de 3 ½". Para obtener las resistencias a compresión se elaboraron tandas de 3 probetas por cada variable las cuales fueron ensayadas a los 7, 28, 56, 90, 180 y 365 días posteriores a su elaboración.

Para determinar el comportamiento de las cenizas volantes en las propiedades físicas del concreto, se realizaron los ensayos de exudación, tiempo de fragua, expansión de autoclave, trabajabilidad, contenido de aire, calor de hidratación, peso unitario suelto y compactado, para las relaciones de agua-material cementante de 0.60, 0.65, 0.70 con reemplazos de 10, 15, 20 y 25% de cenizas en peso de cemento.

HIPOTESIS DEL PROBLEMA

Es conocido a nivel mundial que la ceniza volante mejora algunas propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido; en nuestro caso, queremos conocer la efectividad de las cenizas que se producen en la Central Termoeléctrica Ilo 21, y los beneficios que éstas pudieran generar a la industria del concreto en nuestro país.

CAPITULO I

MATERIALES

1.1 CEMENTO

1.1.1 CEMENTO PORTLAND

La ASTM C 150 define al cemento Portland como un cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker, el cual está compuesto principalmente de silicatos de calcio y aluminio. El cemento Portland se prepara por calcinación de una mezcla de materias primas, una de las cuales se compone principalmente de carbonato cálcico y la otra de silicatos de alúmina, siendo los materiales más típicos que responden a esta descripción la caliza y la arcilla. Esta materia prima finamente molida y homogenizada es llevada a altas temperaturas, de donde se obtiene un producto intermedio denominado clinker, el cual al molerse en conjunto con un porcentaje de alrededor del 5% en peso de yeso, da lugar a la producción de cemento. Luego de esta última molienda se obtienen los siguientes compuestos:

TABLA 1.1.1.1

PRINCIPALES COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

*"ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"*

3

Nombre del Componente	Composición óxida	Abreviatura
Silicato Tricalcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato Bicalcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato Tricalcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferroaluminato Tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

1.1.2 COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

1.1.2.1 SILICATO TRICALCICO (C₃S)

Contribuye al desarrollo de las resistencias iniciales a compresión y tiene mucha importancia en el calor de hidratación. Su contenido puede variar entre el 40 y 65%.

1.1.2.2 SILICATO BICALCICO (C₂S)

Contribuye al desarrollo de las resistencias a largo plazo y presenta menor incidencia en el calor de hidratación. Su contenido puede variar entre el 10 y 30%.

1.1.2.3 ALUMINATO TRICALCICO (C₃S)

Genera un fraguado casi instantáneo al mezclarse con agua, generando un alto calor de hidratación. Para controlar esta velocidad de hidratación, casi instantánea, es necesaria la adición de sulfato de calcio (yeso). Su contenido puede variar entre 7 y 15%.

1.1.2.4 FERROALUMINATOTRETACÁLCICO(C₄AF)

Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación, el cual es muy bajo y se estima en 100 cal/gr.

TABLA 1.1.2.1

CALOR DE HIDRATACIÓN DE LOS COMPUESTOS PUROS

Compuesto	Calor de hidratación	
	J/g	Cal/g
C ₃ S	502	120
C ₂ S	260	62
C ₃ A	867	207
C ₄ AF	419	100

El silicato Tricálcico (C₃S) y el silicato Bicálcico (C₂S) son los dos silicatos hidráulicos encontrados en los clinkers de la industria del cemento Portland. Ambos invariablemente contienen pequeñas cantidades de magnesio, aluminio, hierro, potasio, sodio, y iones de azufre; las formas impuras de C₃S y C₂S son conocidas como alita y belita, respectivamente.

Los cementos que son ricos en aluminato tricálcico y silicato tricálcico generarán resistencias elevadas a corto plazo, pero con el inconveniente de que tendrán una menor resistencia a los agentes agresivos.

1.1.3 HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

Como se sabe los dos silicatos de calcio (C₃S y C₂S) son los principales compuestos aglutinantes en el cemento, de los cuales el primero se hidrata más rápidamente que el segundo. El resultado de la hidratación del

C_3S es el hidrato microcristalino $C_3S_2H_3$, con un poco de cal separada como $Ca(OH)_2$. La hidratación del C_2S se comporta de manera similar pero con menor cantidad de cal. Estos silicatos de calcio hidratados (C-S-H) se conocen como gel Tobermorita, el cual puede llegar a representar alrededor del 60% del total de la reacción. Adicionalmente se liberan grandes cantidades de Hidróxido de Calcio, que en algunos casos puede llegar hasta 30%.

1.1.4 CEMENTO PORTLAND TIPO I

El cemento usado para el desarrollo de la presente tesis, elaboración de concreto con cenizas volantes, fue Cemento Portland Tipo I de la Empresa Cementos Lima, ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo, Departamento de Lima, Perú.

Para conocer cuales eran los componentes químicos del cemento Pórtland tipo I, una muestra de éste fue sometida a ensayos de difracción de rayos X en el laboratorio de ARPL. Los resultados se muestran en el cuadro siguiente.

TABLA 1.1.4.1
ANÁLISIS QUÍMICO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I “SOL”

Análisis Químico		Cemento Sol Tipo I
SiO ₂ (dióxido de silicio)	%	19.59
Al ₂ O ₃ (óxido de aluminio)	%	5.95
Fe ₂ O ₃ (óxido férrico)	%	2.93
CaO (óxido de calcio)	%	62.647
MgO (óxido de magnesio)	%	3.334
SO ₃ (trioxido de azufre)	%	2.488
Na ₂ O (óxido de sodio)	%	0.329
K ₂ O (óxido de potasio)	%	0.738
TiO ₂ (dióxido de titanio)	%	0.324
P ₂ O ₅ (pentóxido de fósforo)	%	0.129
Mn ₂ O ₃ (óxido de manganeso)	%	0.05
SrO ₂ (óxido de estroncio)	%	0.105
ZnO	%	0.01
PbO	%	0.025
Cl (cloruros)	%	0.023
Pérdida al fuego	%	0.98
TOTAL	%	99.652

1.2 CENIZAS VOLANTES

1.2.1 INTRODUCCIÓN

Las Cenizas Volantes, un subproducto de la combustión de carbón, son ampliamente usadas como un material cementante o puzolánico del concreto de cemento Portland. Estas pueden ser empleadas como un material en las mezclas de concreto o como un componente del cemento adicionado. El uso de cenizas se está incrementando debido a la mejora de algunas propiedades del concreto, y frecuentemente resulta en menores costos de producción de concreto. De acuerdo a la recomendación del ACI 116-R, las cenizas volantes son “el residuo finamente molido de la combustión de polvo de carbón, el cual es transportado del fogón a través del caldero por el conducto de gases”; La recomendación ACI 116-R define

“puzolana” como “un material silíceo o aluminoso y silíceo, el cual posee por sí mismo un valor poco o no cementante, pero que lo tendrá porque si se encuentra en forma finamente molido y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar parte de las propiedades cementantes.” Las cenizas poseen propiedades puzolánicas similares a las puzolanas naturales de origen volcánico o sedimentario encontrado en muchas partes del mundo. Aproximadamente 2000 años atrás, los romanos mezclaban cenizas volcánicas con cal, agregado y agua para producir mortero y concreto (Vitruvius, 1960). Asimismo, las cenizas son mezcladas con cemento pórtland (el cual libera cal durante su hidratación), agregado y agua para producir mortero y concreto. Todas las cenizas contienen material puzolánico, sin embargo algunas cenizas poseen diferentes grados de cementante sin adición de hidróxido de calcio o cemento pórtland porque ellos contienen algo de cal.

Las cenizas volantes en el concreto hacen eficiente el uso de los productos de la hidratación en el cemento pórtland: (1) soluciones de hidróxido de calcio y álcali, los cuales al ser liberados dentro del poro de la estructura de la pasta se combinan con las partículas puzolánicas de las cenizas, formando un medio cementante y (2) el calor generado por la hidratación del cemento pórtland es un factor importante en el inicio de la reacción de las cenizas volantes. Cuando el concreto que contiene cenizas es apropiadamente curado, los productos de la reacción de las cenizas llenan los espacios entre las partículas del cemento hidratado, disminuyendo la permeabilidad del concreto al agua y a los ataques químicos agresivos (Manmohan y Mehta, 1981). La tasa de reacción de muchas cenizas es menor comparada al cemento pórtland, lo cual limita la cantidad del calor generado tempranamente y el incremento de temperatura nocivo en estructuras masivas. Un proporcionamiento adecuado de las cenizas volantes genera propiedades al concreto que no podrían ser alcanzadas por el uso de solo cemento pórtland.

Inicialmente, las cenizas fueron usadas como un reemplazo del cemento pórtland, un componente caro del concreto. Sin embargo, debido a que el uso de cenizas incrementó, los investigadores reconocieron el potencial de mejoramiento de las propiedades del concreto con cenizas. Otros investigadores, como Davis y sus colegas, estudiaron la reactividad de las cenizas con el hidróxido de calcio y álcali en pastas de cemento pórtland, y con esto la habilidad como acción preventiva contra la reacción nociva del álcali-agregado. Los efectos benéficos de las cenizas volantes fueron apreciablemente notadas en las construcciones de grandes presas de concreto (Mielenz, 1983). Algunos grandes proyectos de ingeniería en el Reino Unido, como el Thames Barrage, y la Upper Stillwater Dam en los Estados Unidos, incorporaron de 30-70 % como reemplazo del cemento pórtland por cenizas volantes para lograr una reducción en el calor de hidratación y disminuir la permeabilidad.

Las cenizas son ahora usadas por muchas razones, incluyendo la reducción de costos, mejoramiento de la trabajabilidad del concreto fresco, reducción en el incremento de temperatura durante la hidratación inicial, mejoramiento de la resistencia al ataque de los sulfatos, y contribución a la durabilidad y resistencia del concreto endurecido.

1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CENIZAS VOLANTES

La norma ASTM C 618 categoriza a las cenizas por su composición química, de acuerdo a la cantidad de hierro, aluminio y sílice.

Requerimiento Químico	ADICION MINERAL	
	Clase F	Clase C
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (min, %)	70	50

Las Cenizas Volantes Clase F y las Cenizas Volantes Clase C son sub-productos de la combustión de carbón. Las Cenizas Volantes Clase F son

producto de la combustión de carbones bituminosos y antracíticos; las Cenizas Volantes Clase C son producto de la combustión de carbones de lignito y sub-bituminosos. A pesar que algunas cenizas clase F son producidas por carbón de subbitumen y lignito. Las Cenizas volantes de carbón bituminoso y antracítico raramente contiene más del 15% de óxido de calcio. Las Cenizas sub-bituminosas típicamente contienen más de 20% de óxido de calcio, y ambos tienen propiedades cementantes y puzolánicas. Las cenizas volantes clase F y C generalmente muestran diferentes características de performance; sin embargo, la performance no es determinada únicamente por su clasificación como Clase F o Clase C. En general, la resistencia a los sulfatos y la habilidad de una ceniza para reducir los efectos de la reacción álcali-sílice son una función de la fuente de las cenizas. Las características de resistencia varían ampliamente dependiendo de las propiedades físicas y químicas de las cenizas.

1.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS VOLANTES

Para clasificar la composición química de las cenizas se ha usado la norma ASTM C618-98, la cual las clasifica en dos tipos, las cenizas Clase C y las cenizas Clase F. Esta norma no dirige la naturaleza o reactividad de las partículas. Este tipo de análisis es usado como una herramienta para asegurar la calidad. Variaciones menores en la composición química de una ceniza en particular no relaciona el comportamiento a largo plazo de la performance de un concreto que contiene cenizas. A pesar que los componentes de las cenizas no están presentes típicamente como óxidos, la composición química de las cenizas los reporta. Los componentes cristalinos y vítreos que sobran después de la combustión del carbón pulverizado son un resultado de materiales con altos puntos de fusión y de incombustibilidad.

Los cuatro principales componentes químicos presentes en las cenizas volantes son: SiO₂ (35 a 60%), Al₂O₃ (10 a 30%), Fe₂O₃ (4 a 20%), CaO (1 a 35%). Se requiere que la suma de los primeros tres componentes sea mayor al 70% para ser clasificado como una ceniza Tipo F; y ésta sólo debe exceder solo el 50% para ser considerado una ceniza Tipo C. Las cenizas Tipo C generalmente contienen más del 20% de CaO; por lo tanto la suma de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ puede ser significativamente menor del 70%.

El contenido de SiO₂ resulta principalmente de los minerales arcillosos y cuarzos del carbón. Carbones de antracita y bituminosos generalmente contienen un contenido alto de minerales de arcillas en su fracción de incombustibilidad que en los carbones de sub-bitumen y lignito, por lo tanto carbón de alta calidad es rico en sílice. El vidrio silíceo es el principal contribuyente de las cenizas a la reacción puzolánica en el concreto debido a que la sílice amorfa se combina con la cal libre y el agua para formar silicatos de calcio hidratados (C-S-H), el cementante del concreto.

La principal fuente de alúmina (Al₂O₃) en las cenizas es la arcilla en el carbón, con algo de alúmina procedente de componente orgánico en carbón de baja calidad. Los tipos de arcillas encontradas en carbón pertenecen a tres grupos de minerales arcillosos:

Esmectita



Ilita



Caolinita



El contenido de Fe₂O₃ de las cenizas proviene de la presencia de materiales que contienen hierro en el carbón. La más alta concentración de hierro en las partículas de cenizas son de 30 a 60

micras, con bajos contenidos de hierro las partículas son menores a 15 micras.

La fuente de los materiales reportados como CaO en cenizas es el calcio, principalmente de los carbonatos de calcio y sulfatos de calcio en el carbón, los cuales contienen cantidades menores de materiales no-combustibles, generalmente valores menores a 5% de CaO en las cenizas.

El MgO en cenizas es derivado de materiales orgánicos, minerales ferromagnesianos, y algunas dolomitas. Estos materiales son típicamente mínimos en carbones de alta calidad pero podría resultar que contenidos de MgO excedan el 7% en cenizas de sub-bitumines y lignitos.

El SO₃ en las cenizas es el resultado de la pirita (FeS₂) y del yeso (CaSO₄.H₂O) en el carbón. El azufre es liberado como gas de dióxido de azufre y precipitado sobre las cenizas de los gases húmedos, a través de la reacción con la cal y las partículas de álcali.

Los álcalis en las cenizas provienen de los minerales arcillosos y otros materiales que contengan sodio y potasio. Los contenidos de álcalis son menores a 5%, pero podrían ser tan altos como 10% en algunas cenizas con alto contenido de calcio.

El contenido de carbono en las cenizas es el resultado de la combustión incompleta del carbón y aditivos orgánicos usados en los procesos de recolección. El contenido de carbono no se puede determinar directamente, pero frecuentemente se asume que es igual a la pérdida por ignición; sin embargo, la pérdida por ignición incluirá cualquier pérdida de agua combinada o dióxido de carbono, CO₂, por descomposición de los hidratos o carbonatos que podrían estar presentes en las cenizas. Generalmente las cenizas clase C tienen

valores de pérdida de ignición menores a 1%, pero las de clase F tienen un rango de valores tan altos como el 20%. Las cenizas usadas en el concreto generalmente tienen valores menores al 6% de pérdida por ignición; sin embargo, la norma ASTM C 618 proporciona el uso de éstas con un valor máximo del 12% si su comportamiento es aceptable o si los resultados de laboratorio demuestran que pueden ser utilizadas.

TABLA 1.2.3.1
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CENIZAS VOLANTES DE
DIFERENTES FUENTES DE CARBÓN

	Bituminoso	Sub-bituminoso
SiO ₂ (%)	45.9	31.3
Al ₂ O ₃ (%)	24.2	22.5
Fe ₂ O ₃ (%)	4.7	5.0
CaO (%)	3.7	28.0
SO ₃ (%)	0.4	2.3
MgO (%)	0.0	4.3
Alcalis (%)	0.2	1.6
LOI (%)	3.0	0.3
Densidad Mg/m ³	2.3	2.7

1.2.4 CENIZA VOLANTE EMPLEADA EN LA INVESTIGACION

El carbón que se quema en la planta generadora de energía "ENERSUR", ubicada al sur del Perú, en el Puerto de Ilo, es de tipo bituminoso y es importado de Australia, Colombia, Venezuela e Indonesia, por lo que se espera que las cenizas volantes colectadas sean del tipo F, como las clasifica la Norma ASTM C 618. Para conocer cuales eran sus componentes químicos de la ceniza volante, una muestra de éste fue sometida a ensayos de difracción de rayos X en el laboratorio de ARPL. Los resultados se muestran en la tabla 1.2.4.1

TABLA 1.2.4.1

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA VOLANTE EMPLEADA

Análisis Químico		Ceniza Volante
SiO ₂ (dióxido de silicio)	%	53.28
Al ₂ O ₃ (óxido de aluminio)	%	15.30
Fe ₂ O ₃ (óxido férrico)	%	6.30
CaO (óxido de calcio)	%	7.65
MgO (óxido de magnesio)	%	0.93
SO ₃ (trióxido de azufre)	%	1.09
Na ₂ O (óxido de sodio)	%	0.49
K ₂ O (óxido de potasio)	%	1.53
LOI (pérdida al fuego)	%	11.70
humedad (%)	%	0.40
Densidad	g/cm ³	2.30

Como se puede observar de estos resultados, estas cenizas son clasificadas como cenizas volantes Clase F ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 74.88\% > 70\%$).

1.2.5 DISPONIBILIDAD DE LA CENIZA VOLANTE EN EL PERÚ

Para que la planta termoeléctrica ENERSUR produzca un total de 135 MW necesita quemar diariamente alrededor de 1000 toneladas de carbón, por medio de 2 pulverizadores, cada uno de los cuales puede tener una capacidad de 55 – 73 MW. De las 1000 toneladas de carbón que se queman diariamente para producir 135MW, aproximadamente 70 toneladas son de cenizas volantes.

Antes que el carbón sea llevado al pulverizador, es molido hasta que el 75 a 80% pase la malla 200. Es importante tener un estricto control en este aspecto, ya que si este porcentaje es menor la combustión sería lenta y encarecería el servicio. De otro lado, si el carbón excede el límite antes mencionado, generaría que la maquinaria

trabaje con vibraciones muy elevadas que podrían descalibrar todo el sistema.

1.2.6 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO PORTLAND CON CENIZAS VOLANTE

Para determinar la consistencia normal del cemento Portland tipo I con cenizas volantes, se recurre al mismo procedimiento de ensayo que con solo cemento hidráulico, especificado en la ASTM C187-98. Para este ensayo se utiliza 650 gramos de cemento y una cantidad suficiente de agua para que el embolo penetre en la pasta de cemento 10 ± 1 mm. en un periodo de 30 segundos, con este mismo criterio se realizó el ensayo de consistencia normal reemplazando cemento por cenizas volantes en los siguientes porcentajes 10%, 15%, 20% y 25%, para cada ensayo se tuvo que encontrar la cantidad de agua necesaria para que el embolo penetre lo recomendado en la norma.

TABLA 1.2.6.1

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES

CONSISTENCIA NORMAL CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES						
Materiales	Unidad	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento	gr.	650	585	552.5	520	487.5
Cenizas V.	gr.	0	65	97.5	130	162.5
Agua	ml.	170	179	180	188	193
Penetración	mm	9.5	10	10.3	10.5	10.8
a/mc		0.26	0.28	0.28	0.29	0.30

1.2.7 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND CON CENIZA VOLANTE

Se realizaron ensayos para determinar el tiempo de fraguado inicial y final de la ceniza volante, para ello se utilizaron las proporciones encontradas en el ensayo de consistencia normal, el tiempo de fraguado inicial se determina cuando la aguja de Vicat penetra 25 mm, y el tiempo de fraguado final se determina cuando la aguja de Vicat no deja huella visible sobre la pasta.

TABLA 1.2.7.1

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND CON CENIZA VOLANTE

TIEMPO DE FRAGUADO CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES						
Materiales	Unidad	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento	gr.	650	585	552.5	520	487.5
Cenizas V.	gr.	0	65	97.5	130	162.5
Agua	ml.	170	179	180	188	193
fragua inicia	hr:min	02:15	02:19	02:34	02:41	02:52
fragua final	hr:min	02:50	03:03	03:09	03:15	03:30

1.2.8 EXPANSIÓN AUTOCLAVE DEL CEMENTO PORTLAND CON CENIZA VOLANTE

Este ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM C151-2000, empleando las proporciones obtenidas en el ensayo de consistencia normal. En este ensayo al igual que en los anteriores se reemplaza el 10%, 15%, 20% y 25% de cemento por cenizas volantes.

TABLA 1.2.8.1

"ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES) CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

16

EXPANSION AUTOCLAVE DEL CEMENTO PORTLAND CON CENIZAS VOLANTES

EXPANSION AUTOCLAVE CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES						
Material	Unidad	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento	gr.	650	585	552.5	520	487.5
Cenizas V.	gr.	0	65	97.5	130	162.5
Agua	ml.	170	179	180	188	193
lect. Inicial	pulg	0.16	0.16765	0.1689	0.1603	0.1727
lect. Final	pulg	0.1798	0.1792	0.1798	0.1707	0.1823
expansión	%	0.1701	0.09916	0.09357	0.08934	0.08238

Como se puede observar en la Tabla 1.2.8.1, la expansión autoclave disminuye a medida que se incrementa el reemplazo de ceniza volante; esto debido a que la cal libre presente es menor.

1.2.9 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CEMENTO PORTLAND

Para poder determinar el índice de actividad puzolánica de las cenizas volantes con cemento Portland, se siguieron las especificaciones de la norma ASTM C 618-98 y ASTM C 311-98, Para este ensayo se realizaron dos mezclas, la primera denominada "control", se empleó 1 parte de cemento, 2.75 partes de arena estándar y 242 ml de agua. En la segunda mezcla, denominada "puzolana", se reemplaza el 20% de cemento por ceniza volante, 2.75 partes de arena estándar y suficiente cantidad de agua para producir una fluidez de $\pm 5\%$ de la fluidez control.

La ASTM C 618 establece un requerimiento mínimo del 75% de índice de actividad puzolánica medidos a los 7 o 28 días. Los resultados se muestran en la tabla 1.2.9.1

TABLA 1.2.9.1

INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA

Muestra	Agua (ml)	Fluidez (%)	Resistencia 7d (Kg/cm ²)	Ind. Actv. 7d (%)	Resistencia 28d (Kg/cm ²)	Ind. Actv. 28d (%)
Control	242	72	274.37	100%	348.25	100%
Puzolana	243	70	228.69	83.35	329.89	94.73

1.2.10 CALOR DE HIDRATACION DEL CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES

La reacción química del cemento con el agua genera calor, el cual tiene un aporte importante al desarrollo de la resistencia y al desarrollo de los esfuerzos iniciales debido al cambio de volumen diferencial en el concreto. La mayor parte de calor es generado durante las primeras etapas de hidratación de la alita (C3S) y del aluminato tricálcico del cemento. La tasa de calor generado depende de la cantidad, fineza, y tipo de cemento, la temperatura del concreto al momento de ser colocado y la temperatura a la cual el concreto es curado. El incremento de temperatura puede ser reducido usando cenizas volantes como una porción del material cementante en el concreto. La tabla 1.2.10.1 muestra un cuadro comparativo entre el calor de hidratación generado por el cemento y el generado al reemplazar cemento por ceniza volante en el orden del 10, 20 y 30%. Este ensayo se realizó a 7 y 28 días en el laboratorio de ARPL.

TABLA 1.2.10.1

**CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO
CON CENIZAS VOLANTES (cal/gr.)**

Edad	Patrón	10%	20%	30%
7 días	84.1	80.8	76.3	69.9
28 días	95	90	85.3	80.7

1.2.11 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

La distribución del tamaño de las partículas del cemento juega un papel importante en el desarrollo de las resistencias y en el calor generado.

Generalmente, mientras más fino sea el cemento, mayor será su reacción. En las cenizas volantes, la fineza de las partículas juega un factor crítico para determinar su actividad puzolánica, ya que la mineralogía y la fineza determinan su efectividad. Las partículas mayores a 45 micras se consideran generalmente inertes; las partículas menores a 10 micras son las que generarán las resistencias tempranas; y las partículas entre 10 y 45 micras ayudan a generar resistencias conforme transcurre el tiempo. La norma ASTM C-618 fija un límite del 34% de retenido en la malla 325 (45 micras)

En la tabla 1.2.11.1 se muestra un cuadro comparativo entre la distribución de tamaño de partículas del cemento y la ceniza volante empleada en la presente tesis. Este ensayo se realizó con el equipo Laser – Cilas 1064 en el laboratorio de ARPL

**TABLA 1.2.11.1
DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULAS
ASTM C-1070-86**

Ensayo físico		Ceniza volante	Cemento Tipo I Sol
Distribución de tamaño de partículas			
Diámetro al 10%	μm	2.39	1.26
Diámetro al 50%	μm	22.58	12.56
Diámetro al 90%	μm	71.19	31.31
Diámetro promedio	μm	30.32	14.59

1.3 AGREGADOS

1.3.1 INTRODUCCIÓN

A pesar de que los agregados ocupan generalmente de 70 a 80% del volumen total del concreto, el estudio adecuado de éstos ha sido dejado de lado por muchos años debido principalmente a su bajo costo en comparación con el cemento, siendo utilizado como material inerte o de relleno.

Los agregados deben cumplir con ciertos requisitos estandarizados para que puedan recibir un adecuado uso ingenieril, los cuales son especificados en la Norma Técnica Peruana 400.011 y en la Norma ASTM C-33.

Con estos requisitos nosotros podemos distinguir a los agregados como gruesos o finos, específicamente por la granulometría que presentan.

1.3.2 AGREGADO FINO

Se define como agregados fino al material que pasa el tamiz 4.75 mm y queda retenido en el tamiz de 75 μm o malla N°200. Debe cumplir con los requerimientos de la Norma Técnica Peruana 400.011.

El agregado fino utilizado para la presente investigación proviene de la Cantera "La Gloria".

1.3.2.1 PESO UNITARIO (NTP 400.017)

El peso unitario es el peso que generalmente alcanza un determinado volumen unitario, se expresa en kilogramo por metro cúbico (kg/m³) y puede ser suelto o compactado.

1.3.2.1.1. PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S)

El peso unitario suelto se determina llenando un balde metálico de 1/10 de pie³ con el material en una sola capa, luego se enrasa y se pesa. Para la presente investigación se realizaron tres de estos ensayos para obtener un promedio.

**TABLA 1.3.2.1.1.1
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10pie ³	gr.	7600	7500	7500
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	2773	2773	2773
Peso de la muestra suelta	gr.	4827	4727	4727
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
Peso Unitario Suelto	(Kg/m ³)	1705.65	1670.32	1670.32
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)		1682.10		

1.3.2.1.2.PESO UNITARIO COMPACTADO (P.U.C)

El peso unitario compactado se determina llenando un balde metálico de 1/10 de pie³ en tres, cada una de las cuales es compactada con 25 golpes con una varilla de 5/8" de 60 cm.

TABLA 1.3.2.1.2.1

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10pie ³	gr.	8200	8200	8250
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	2773	2773	2773
Peso de la muestra suelta	gr.	5427	5427	5477
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
Peso Unitario Compactado	(Kg/m ³)	1917.67	1917.67	1935.34

Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1923.56
--	----------------

1.3.2.2. PESO ESPECIFICO (NTP 400.022)

Para el propósito de diseño de mezclas, la importancia de conocer el peso específico radica en conocer el espacio que ocuparán los fragmentos del agregado fino, inclusive los poros existentes dentro de las partículas. El peso específico encontrado para el agregado fino fue el siguiente:

TABLA 1.3.2.2.1
PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

Descripción	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra s.s.s.	gr	500.0	500.0	500.0
Peso de la muestra s.s.s.+ Peso del balón 500 cc.	gr	674.5	674.5	674.5
Peso de la muestra s.s.s.+ Peso del balón + Peso del agua	gr	989.5	990.5	989.5
Peso del agua.	gr	315.0	316.0	315.0
Volumen de agua (D/Peso específico del agua)	cm3	315.0	316.0	315.0
Volumen del balón.	cm3	500.0	500.0	500.0
Volumen de la muestra.	cm3	185.0	184.0	185.0
Peso de la muestra secada al homo.	gr	493.0	493.5	493.5

Peso Especifico.	gr/cm3	2.66	2.68	2.67
Porcentaje de Absorción.	%	1.43	1.33	1.33

Peso Especifico : 2.67 gr/cm3
Porcentaje de Absorción : 1.36 %

1.3.2.3 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (NTP400.022)

El porcentaje de absorción es definida como la cantidad de agua requerida para llevar a un agregado de un estado seco a un estado saturado superficialmente seco.

Porcentaje de Absorción : 1.36%

1.3.2.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

Es la cantidad de agua atrapada en el agregado en forma natural. Esta puede variar dependiendo de las condiciones en las que se encuentren ya sea en cantera o en obra. Este valor al igual que el porcentaje de absorción sirven para corregir la

TABLA 1.3.2.5.1

**MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DEL
AGREGADO FINO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra seca	gr.	500	500	500
Peso seco después del lavado	gr.	478	479	476
Porcentaje que pasa malla N°200	%	4.4	4.2	4.8
Porcentaje que pasa malla N°200		4.47		

1.3.2.6 GRANULOMETRIA (NTP 400.012)

La gradación es la distribución de las partículas por tamaños, expresado usualmente en términos de porcentaje acumulado. Existen varias razones para limitar las especificaciones de gradación y de tamaño máximo del agregado; entre las más importantes se encuentran el costo y la trabajabilidad. Las arenas muy gruesas producen concretos poco trabajables y gruesos; y para arenas muy finas la cantidad de agua requerida aumenta, además, de aumentar el cemento para mantener constante la relación a/c, siendo un concreto antieconómico.

TABLA 1.3.2.6.1
GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

Tamiz	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Que pasa Acumulado
1/4"	0	0.00	0.00	100.00
No 4	7.67	1.53	1.53	98.47
No 8	96.90	19.38	20.91	79.09
No 16	107.30	21.46	42.37	57.63
No 30	89.43	17.89	60.26	39.74
No 50	83.77	16.75	77.01	22.99
No 100	66.20	13.24	90.25	9.75
FONDO	48.73	9.75	100.00	0.00
TOTAL	500	100.00		

1.3.2.7. MODULO DE FINEZA (NTP 400.012)

En la práctica se utiliza un factor empírico llamado módulo de fineza, el cual es usado frecuentemente como un índice de la fineza del agregado. La norma establece límites para este módulo, pudiendo variar de 2.35 hasta 3.15.

Se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados de las mallas No 4, No8, No 16, No 30, No 50 y No 100, y dividida este valor entre 100.

TABLA 1.3.2.7.1

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO

$$M.F = \frac{(1.53+20.91+42.37+60.26+77.01+90.25)}{100}$$

Módulo de fineza 2.92

1.3.3. AGREGADO GRUESO

Se define como agregados grueso al material que proviene de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que no pasa el tamiz 4.75 mm. Debe cumplir con los requerimientos de la **Norma Técnica Peruana 400.037**

El agregado fino utilizado para la presente investigación proviene Cantera "La Gloria".

1.3.3.1. PESO UNITARIO (NTP 400.017)

El peso unitario es el peso que generalmente alcanza un determinado volumen unitario. Es expresado en kilogramo por metro cúbico (kg/m³) y puede ser suelto o compactado.

1.3.3.1.1. PESO UNITARIO SUELTO (P.U.S)

El peso unitario suelto se determina llenando un balde metálico, el cual depende del tamaño máximo del agregado. Para nuestro caso el tamaño máximo del agregado grueso es de ½ pulgada, por lo que se emplea un balde de 1/3 de pie³. El agregado se vierte en una sola capa, luego se enrasa y se pesa. Para la presente investigación se realizaron tres de estos ensayos para obtener un promedio.

TABLA 1.3.3.1.1

**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO
GRUESO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10pie ³	gr.	20060	20080	20080
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	6900	6900	6900
Peso de la muestra suelta	gr.	13160	13180	13180
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00943	0.00943	0.00943
Peso Unitario Suelto	(Kg/m ³)	1395.55	1397.67	1397.67
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)		1396.96		

**1.3.3.1.2.PESO UNITARIO COMPACTADO
(P.U.C)**

El peso unitario compactado se determina llenando un balde metálico de 1/3 de pie³ en tres capas, cada una de las cuales es compactada por 25 golpes con una varilla de 5/8" de 60 cm.

TABLA 1.3.3.1.2.1

**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO
GRUESO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10pie ³	gr.	22170	22900	22800
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	6900	6900	6900
Peso de la muestra suelta	gr.	15270	16000	15900
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00943	0.00943	0.00943
Peso Unitario Compactado	(Kg/m ³)	1619.30	1696.71	1686.11
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)		1667.37		

1.3.3.2.- PESO ESPECIFICO (NTP 400.022)

Para el propósito de diseño de mezclas, la importancia de conocer el peso específico radica en conocer el espacio que ocuparán los fragmentos del agregado grueso, inclusive los poros existentes dentro de las partículas. El peso específico encontrado para el agregado grueso fue el siguiente.

**TABLA 1.3.3.2.1
PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN**

Descripción	Und	Muestras		
		M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra s.s.s.	gr	2099	1928	2337
Peso de la canastilla en el agua.	gr	1890	1890	1890
Peso de la muestra s.s.s. + Peso de la canastilla en el agua	gr	3237	3125	3387
Peso de la muestra s.s.s. en el agua	gr	1347	1235	1497
Volumen de la muestra	cm ³	752	694	840
Peso de la muestra secada al horno.	gr	2083	1916	2321

Peso Especifico	gr/cm ³	2.77	2.76	2.76
Porcentaje de Absorción	%	0.77	0.63	0.69

Peso Especifico : 2.77 gr/cm³
Porcentaje de Absorción : 0.69 %

1.3.3.3. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (NTP 400.022)

El porcentaje de absorción es definido como la cantidad de agua requerida para llevar a un agregado de un estado seco a un estado saturado superficialmente seco.

Porcentaje de Absorción : 0.69%

TABLA 1.3.3.5.1

**MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200 DEL
AGREGADO GRUESO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra seca	gr.	2000	2000	2000
Peso seco después del lavado	gr.	1989.2	1988.4	1991.5
Porcentaje que pasa malla N°200	%	0.54	0.58	0.425

Porcentaje que pasa malla N°200	0.51
--	-------------

1.3.3.6. GRANULOMETRIA (NTP 400.012)

La gradación es la distribución de las partículas por tamaños, expresado usualmente en términos de porcentaje acumulado utilizando los tamices ASTM ¼", 3/8", ½", 3/4", 1", 1 ½";

TABLA 1.3.3.6.1

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

Tamiz	Peso Retenido (gr.)	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Que pasa Acumulado
3/4 "	0	0.00	0.00	100.00
1/2 "	1114.33	22.29	22.29	77.71
3/8 "	1484.77	29.70	51.98	48.02
1/4 "	1904.07	38.08	90.06	9.94
No 4	435.67	8.71	98.78	1.22
No 8	57.10	1.14	99.92	0.08
FONDC	4.07	0.08	100.00	0.00
TOTAL	5000.00	100.00		

1.3.3.7. MODULO DE FINEZA (NTP 400.012)

En la práctica se utiliza un factor empírico llamado módulo de fineza, el cual es usado frecuentemente como un índice de la fineza del agregado.

Se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados de las mallas 11/2, 3/4, 3/8, No 4, No8, No 16, No 30, No 50 y No 100, y dividiendo este resultado entre 100.

TABLA 1.3.3.7.1

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO GRUESO

$$M.F = \frac{(51.98+98.78+99.92+4*100)}{100}$$

Módulo de fineza 6.51

1.3.3.8. TAMAÑO MÁXIMO (NTP 400.037)

Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

$$\text{Tamaño Máximo} = \frac{3}{4} \text{ "}$$

1.3.3.9 TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (NTP 400.037)

Corresponde al menor tamiz que produce el primer retenido.

Tamaño Máximo Nominal = ½ “

1.4 AGUA

1.4.1 USOS DEL AGUA

En cuanto al empleo del agua en el concreto, podemos señalar dos aplicaciones: como ingrediente para la fabricación de las mezclas de concreto y como medio de curado. Aunque en estas aplicaciones el agua tiene efectos diferentes se recomienda que la calidad sea la misma para ambos casos.

1.4.2 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua debe ser tal que se encuentre libre de sustancias dañinas para el concreto, aceites, azúcares, etc. En general se usará agua que sea potable y que cumpla los requisitos de la norma NTP 339.088, la cual establece los siguientes requisitos:

TABLA 1.4.2.1
REQUISITOS DEL AGUA PARA MEZCLA Y CURADO
DEL CONCRETO

Descripción	Límite Permisible	
Sólidos en suspensión	5 000	ppm máximo
Materia orgánica	3	ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (alcalinidad total expresada en NaHCO ₃)	1 000	ppm máximo
Sulfatos (Ión SO ₄)	600	ppm máximo
Cloruros (Ión Cl)	1 000	ppm máximo
PH	entre	5. 5y 8

El agua utilizada durante la elaboración de la tesis fue la que se utiliza en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNI-FIC.

CAPITULO II

SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES

2.1 INTRODUCCIÓN

La selección de las proporciones de los materiales que intervienen en la elaboración de un metro cúbico de concreto, es el resultado de un proceso, en el cual se evalúa la economía, resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Para poder obtener la óptima selección de materiales se tiene que realizar mezclas de ensayo para determinar y afinar las características con las que se desea el diseño de mezclas.

2.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGREGADOS

El método utilizado para la determinación del adecuado porcentaje de agregados fue el del peso unitario compactado, este método nos permite obtener la menor cantidad de vacíos en el diseño de mezclas. Se realizó el estudio de diferentes porcentajes tanto de arena como de piedra, en el cual se encontró que el óptimo contenido de porcentaje de arena era del 50% al igual que el de la piedra. Luego se elaboraron probetas para cada relación de arena/piedra, las cuales fueron ensayadas a compresión luego de ser curadas por un periodo de 7 días. En la cual se pudo comprobar que el óptimo contenido de porcentajes de arena/piedra era el indicado anteriormente.

2.3 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN

Para el diseño del concreto patrón, luego de haber determinado el porcentaje óptimo de agregados a utilizar, se procede a determinar la cantidad apropiada de cemento, tratando de obtener un slump de 3" a 4". Para lo cual se tuvo que realizar varios diseños variando la cantidad de agua para obtener un curva de comportamiento y así buscar el slump indicado.

DOSIFICACIONES PARA DETERMINAR LA RELACIÓN A/P OPTIMA

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M3 DE CONCRETO			DOSIFICACIÓN POR TANDA			RESISTENCIA POR COMPRESION (Kg/cm2)	
		PESO SECO (KG.)	PESO HUMEDO (KG.)	Volumen	MATERIAL	D.U.	TANDA (54 kg.)	INDIVIDUAL	PROMEDIO
a/c = 0.65 A/P= 47/53 agua = 220 lt	Cemento	335.00	335.00	0.108	Cemento	1.000	7.65	202.08 199.75 192.32	198.05
	Agua	218.00	214.63	0.218	Agua	0.641	4.90		
	Arena	827.33	844.46	0.310	Arena	2.521	19.27		
	Piedra	967.89	971.96	0.349	Piedra	2.901	22.18		
	%de Aire	1.50%		0.015					
	Total		2366.05	1.000	Total	7.063	54.0		
				SLUMP : 3 1/2					
MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M3 DE CONCRETO			DOSIFICACIÓN POR TANDA			RESISTENCIA POR COMPRESION (Kg/cm2)	
		PESO SECO (KG.)	PESO HUMEDO (KG.)	Volumen	MATERIAL	D.U.	TANDA (54 kg.)	INDIVIDUAL	PROMEDIO
a/c = 0.65 A/P= 50/50 agua = 224 lt	Cemento	344.00	344.00	0.111	Cemento	1.000	7.89	208.56 215.84 206.15	210.18
	Agua	224.00	220.15	0.224	Agua	0.640	5.05		
	Arena	868.27	886.24	0.325	Arena	2.576	20.32		
	Piedra	900.79	904.57	0.325	Piedra	2.630	20.74		
	%de Aire	1.50%		0.015					
	Total		2354.96	1.000	Total	6.846	54.0		
				SLUMP : 3 3/4					
MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	DOSIFICACION POR M3 DE CONCRETO			DOSIFICACIÓN POR TANDA			RESISTENCIA POR COMPRESION (Kg/cm2)	
		PESO SECO (KG.)	PESO HUMEDO (KG.)	Volumen	MATERIAL	D.U.	TANDA (54 kg.)	INDIVIDUAL	PROMEDIO
a/c = 0.65 A/P= 53/47 agua = 228 lt	Cemento	351.00	351.00	0.113	Cemento	1.000	8.08	194.68 199.74 205.55	199.99
	Agua	228.00	223.67	0.228	Agua	0.637	5.15		
	Arena	911.52	930.39	0.341	Arena	2.651	21.40		
	Piedra	838.60	842.13	0.303	Piedra	2.399	19.37		
	%de Aire	1.50%		0.015					
	Total		2347.18	1.000	Total	6.687	54.0		
				SLUMP: 3 3/4					

TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES) CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

Este procedimiento fue realizado para las tres relaciones de agua/cementante 0.7, 0.65, 0.6. En el siguiente cuadro se muestra la cantidad de agua necesaria para cada relación agua/cementante.

TABLA 2.3.1

**CANTIDAD DE AGUA PARA CADA RELACIÓN
AGUA/CEMENTANTE**

a/c	agua(lt/m3)
0.70	221.0
0.65	223.5
0.60	228.0

Luego de obtener éstas cantidades para cada relación de a/c se procede a calcular la cantidad de cemento empleada, la cual se muestra en el siguiente cuadro.

TABLA 2.3.2

**CANTIDAD DE CEMENTO PARA CADA RELACIÓN
AGUA/CEMENTANTE**

a/c	cemento (kg/m3)
0.70	315.7
0.65	343.8
0.60	380.0

La cantidad de material cementante se mantendrá constante a lo largo de todos los ensayos, para cada relación de a/mc se reemplazará el 10, 15, 20, y 25% en peso de cemento por cenizas volantes.

2.4 DISEÑO DE MEZCLAS

Luego de haber obtenido la cantidad de agua necesaria para cada relación de agua/material cementante se procede al diseño de mezclas de la siguiente manera.

Relación a/mc = 0.6 Concreto Patrón

Volumen Absoluto de la Pasta

- Volumen absoluto del cemento =

$$\frac{380}{3150} = 0.121m^3$$

- Volumen absoluto de agua =

$$\frac{228}{1000} = 0.228m^3$$

- Volumen absoluto de aire = 0.02 m³

$$\text{Volumen absoluto de la pasta} = 0.369m^3$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado} = 0.631m^3$$

Volúmenes y pesos de los agregados en estado seco

- Agregado fino : 50%
- Agregado grueso : 50%
- Volumen absoluto agregado fino $0.631 \times 0.5 = 0.316 m^3$
- Volumen absoluto agregado grueso $0.631 \times 0.5 = 0.316 m^3$
- Peso seco agregado fino : 842.9 Kg.
- Peso seco agregado grueso : 877.6 Kg.

Proporción del material seco para un m³ de concreto

- Cemento 380 Kg.
- Agua 228 lt.
- Arena 842.9 Kg.
- Piedra 877.6 Kg.

Pesos húmedos de los agregados

- Agregado fino $842.9 \times 1.0129 = 853.7$
Kg.
- Agregado grueso $877.6 \times 1.0038 = 880.9$
Kg.

Corrección del agua

- Agregado fino $853.7 \times (1.29 - 1.35) / 100 = -$
0.51
- Agregado grueso $880.9 \times (0.38 - 0.67) / 100 = -$
2.55

Agua efectiva para un m³ de concreto 231.1lt

Proporción del material húmedo para un m³ de concreto

- Cemento 380 Kg.
- Agua 231.1 lt
- Arena 853.7 Kg.
- Piedra 880.9 Kg.

Relación a/mc = 0.6 con 10% de cenizas volantes

Volumen Absoluto de la Pasta

- Volumen absoluto del cemento =

$$\frac{342}{3150} = 0.109m^3$$

- Volumen absoluto de cenizas =

$$\frac{38}{2300} = 0.017m^3$$

- Volumen absoluto de agua =

$$\frac{228}{1000} = 0.228m^3$$

- Volumen absoluto de aire = 0.02 m³

$$\text{Volumen absoluto de la pasta} = 0.373m^3$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado} = 0.627m^3$$

Volúmenes y pesos de los agregados en estado seco

- Agregado fino : 50%
- Agregado grueso : 50%
- Volumen absoluto agregado fino $0.627 \times 0.5 = 0.313 m^3$
- Volumen absoluto agregado grueso $0.627 \times 0.5 = 0.313 m^3$
- Peso seco agregado fino : 836.9 Kg.
- Peso seco agregado grueso : 871.4 Kg.

Proporción del material seco para un m³ de concreto

- Cemento : 342 Kg.
- Cenizas Volantes : 38 Kg.
- Agua : 228 lt.
- Arena : 836.9 Kg.
- Piedra : 871.4 Kg.

Pesos húmedos de los agregados

- Agregado fino : $836.9 \times 1.0129 = 847.7$
Kg.
- Agregado grueso : $871.4 \times 1.0038 = 874.7$
Kg.

Corrección del agua

- Agregado fino : $847.7 \times (1.29 - 1.35) / 100 = -$
0.51
- Agregado grueso : $874.7 \times (0.38 - 0.67) / 100 = -$
2.54

Agua efectiva para un m³ de concreto 231lt

Proporción del material húmedo para un m³ de concreto

- Cemento : 342 Kg.
- Cenizas volantes : 38 Kg.
- Agua : 231. lt
- Arena : 847.7 Kg.
- Piedra : 874.7 Kg.

De igual manera se realizó el diseño para las otras relaciones de a/mc, los resultados se muestran a continuación:

TABLA 2.4.1

DOSIFICACIÓN PARA RELACION AGUA/CEMENTANTE 0.6

a/mc =0.6	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	380	342	323	304	285
Agua (lt.)	231.1	231	231	231	231
Fly ash (Kg.)	0	38	57	76	95
Arena (Kg.)	853.7	847.7	844.7	841.7	838.7
Piedra (Kg.)	880.9	874.7	871.6	868.5	865.4

Relación a/mc 0.65 Concreto Patrón

Volumen Absoluto de la Pasta

- Volumen absoluto del cemento =

$$\frac{343.8}{3150} = 0.109m^3$$

- Volumen absoluto de agua =

$$\frac{223.5}{1000} = 0.224m^3$$

- Volumen absoluto de aire = 0.02 m³

$$\text{Volumen absoluto de la pasta} = 0.353m^3$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado} = 0.647m^3$$

Volúmenes y pesos de los agregados en estado seco

- Agregado fino : 50%
- Agregado grueso : 50%

- Volumen absoluto agregado fino $0.647 \times 0.5 = 0.324 \text{ m}^3$
- Volumen absoluto agregado grueso $0.647 \times 0.5 = 0.324 \text{ m}^3$
- Peso seco agregado fino : 864.2 Kg.
- Peso seco agregado grueso : 899.8 Kg.

Proporción del material seco para un m^3 de concreto

- Cemento : 343.8 Kg.
- Agua : 223.5 lt.
- Arena : 864.2 Kg.
- Piedra : 899.8 Kg.

Pesos húmedos de los agregados

- Agregado fino : $864.2 \times 1.0129 = 875.4 \text{ Kg.}$
- Agregado grueso : $899.8 \times 1.0038 = 903.2 \text{ Kg.}$

Corrección del agua

- Agregado fino : $875.4 \times (1.29 - 1.35) / 100 = -0.53$
- Agregado grueso : $903.2 \times (0.38 - 0.67) / 100 = -2.62$

Agua efectiva para un m^3 de concreto 226.6lt

Proporción del material húmedo para un m^3 de concreto

- Cemento : 343.8 Kg.

- Agua : 226.6 lt.
- Arena : 875.4 Kg.
- Piedra : 903.2 Kg.

Relación a/mc = 0.65 con 10% de cenizas volantes

Volumen Absoluto de la Pasta

- Volumen absoluto de cemento =

$$\frac{309.5}{3150} = 0.098m^3$$
- Volumen absoluto de cenizas =

$$\frac{34.38}{2300} = 0.015m^3$$
- Volumen absoluto de agua =

$$\frac{223.5}{1000} = 0.224m^3$$
- Volumen absoluto de aire = 0.02 m³

$$\text{Volumen absoluto de la pasta} = 0.357m^3$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado} = 0.643m^3$$

Volúmenes y pesos de los agregados en estado seco

- Agregado fino : 50%
- Agregado grueso : 50%
- Volumen absoluto agregado fino $0.643 \times 0.5 =$
0.322 m³
- Volumen absoluto agregado grueso $0.643 \times 0.5 =$
0.322 m³
- Peso seco agregado fino : 858.8 Kg.

- Peso seco agregado grueso : 894.2 Kg.

Proporción del material seco para un m³ de concreto

- Cemento : 309.5 Kg.
- Cenizas Volantes : 34.38 Kg.
- Agua : 223.5 lt.
- Arena : 858.8 Kg.
- Piedra : 894.2 Kg.

Pesos húmedos de los agregados

- Agregado fino : $858.8 \times 1.0129 = 869.9$
Kg.
- Agregado grueso : $894.2 \times 1.0038 = 897.6$
Kg.

Corrección del agua

- Agregado fino : $869.9 \times (1.29 - 1.35) / 100 = -$
0.52
- Agregado grueso : $897.6 \times (0.38 - 0.67) / 100 = -$
2.60

Agua efectiva para un m³ de concreto 226.6lt

Proporción del material húmedo para un m³ de concreto

- Cemento : 309.5 Kg.
- Cenizas volantes : 34.4 Kg.
- Agua : 226.6 lt

- Arena : 869.9 Kg.
- Piedra : 897.6 Kg.

De igual manera se realizó el diseño para las otras relaciones de a/mc, los resultados se muestran a continuación.

TABLA 2.4.2

DOSIFICACIÓN PARA RELACION AGUA/CEMENTANTE 0.65

a/mc=0.65	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	343.8	309.5	292.3	275.1	257.9
Agua (lt.)	226.6	226.6	226.6	226.6	226.6
Fly ash (Kg.)	0.0	34.4	51.6	68.8	86.0
Arena (Kg.)	875.4	869.9	867.2	864.4	861.7
Piedra (Kg.)	903.2	897.6	894.8	892.0	889.2

Relación a/mc 0.70 Concreto Patrón

Volumen Absoluto de la Pasta

- Volumen absoluto del cemento =

$$\frac{315.7}{3150} = 0.10m^3$$

- Volumen absoluto de agua =

$$\frac{221.0}{1000} = 0.221m^3$$

- Volumen absoluto de aire = 0.02 m³

$$\text{Volumen absoluto de la pasta} = 0.341m^3$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado} = 0.659m^3$$

Volúmenes y pesos de los agregados en estado seco

- Agregado fino : 50%
- Agregado grueso : 50%
- Volumen absoluto agregado fino $0.659 \times 0.5 = 0.329 \text{ m}^3$
- Volumen absoluto agregado grueso $0.659 \times 0.5 = 0.329 \text{ m}^3$
- Peso seco agregado fino : 879.5 Kg.
- Peso seco agregado grueso : 915.7 Kg.

Proporción del material seco para un m^3 de concreto

- Cemento : 315.7 Kg.
- Agua : 221 lt.
- Arena : 879.5 Kg.
- Piedra : 915.7 Kg.

Pesos húmedos de los agregados

- Agregado fino : $879.5 \times 1.0129 = 890.8 \text{ Kg.}$
- Agregado grueso : $915.7 \times 1.0038 = 919.2 \text{ Kg.}$

Corrección del agua

- Agregado fino : $875.4 \times (1.29 - 1.35) / 100 = -0.53$

- Agregado grueso : $903.2 \times (0.38 - 0.67) / 100 = -$
2.67

Agua efectiva para un m³ de concreto 224.2lt

Proporción del material húmedo para un m³ de concreto

- Cemento : 315.7 Kg.
- Agua : 224.2 lt.
- Arena : 890.8 Kg.
- Piedra : 919.2 Kg.

Relación a/mc = 0.70 con 10% de cenizas volantes

Volumen Absoluto de la Pasta

- Volumen absoluto del cemento =
 $\frac{284.1}{3150} = 0.090m^3$
- Volumen absoluto de cenizas =
 $\frac{31.57}{2300} = 0.014m^3$
- Volumen absoluto de agua =
 $\frac{221}{1000} = 0.221m^3$
- Volumen absoluto de aire = 0.02 m³

Volumen absoluto de la pasta = 0.345m³

Volumen absoluto del agregado = 0.655m³

Volúmenes y pesos de los agregados en estado seco

- Agregado fino : 50%
- Agregado grueso : 50%
- Volumen absoluto agregado fino $0.655 \times 0.5 = 0.328 \text{ m}^3$
- Volumen absoluto agregado grueso $0.655 \times 0.5 = 0.328 \text{ m}^3$
- Peso seco agregado fino : 874.5 Kg.
- Peso seco agregado grueso : 910.5 Kg.

Proporción del material seco para un m^3 de concreto

- Cemento : 284.1 Kg.
- Cenizas Volantes : 31.57 Kg.
- Agua : 221.0 lt.
- Arena : 874.5 Kg.
- Piedra : 910.5 Kg.

Pesos húmedos de los agregados

- Agregado fino : $874.5 \times 1.0129 = 885.8 \text{ Kg.}$
- Agregado grueso : $910.5 \times 1.0038 = 914.0 \text{ Kg.}$

Corrección del agua

- Agregado fino : $869.9 \times (1.29 - 1.35) / 100 = -0.53$

- Agregado grueso : $897.6 \times (0.38 - 0.67) / 100 = 2.65$

Agua efectiva para un m³ de concreto 224.2lt

Proporción del material húmedo para un m³ de concreto

- Cemento : 284.1 Kg.
- Cenizas volantes : 31.57 Kg.
- Agua : 221.0 lt
- Arena : 885.8 Kg.
- Piedra : 914.0 Kg.

De igual manera se realizó el diseño para las otras relaciones de a/mc, los resultados se muestran a continuación.

TABLA 2.4.3

DOSIFICACIÓN PARA RELACION AGUA/CEMENTANTE 0.70

a/mc=0.70	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	315.7	284.1	268.4	252.6	236.8
Agua (lt.)	224.2	224.2	224.2	224.2	224.2
Fly ash (Kg.)	0.0	31.6	47.4	63.1	78.9
Arena (Kg.)	890.8	885.8	883.3	880.8	878.3
Piedra (Kg.)	919.2	914.0	911.4	908.8	906.3

CAPITULO III

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

3.1 INTRODUCCIÓN

Luego de haber seleccionado los materiales para las diferentes relaciones agua/cementante, se procede a estudiar las propiedades del concreto en estado fresco, es decir hasta que alcance su fragua inicial, para poder evaluar su consistencia y observar si podrá ser compactado adecuadamente y ser transportado, colocado y acabado con facilidad suficiente para que no ocurra segregación alguna que podría afectar a las propiedades del concreto endurecido.

3.2 PESO UNITARIO NTP 339.046

Este ensayo nos sirve para determinar el grado de densidad del concreto, el peso unitario que aquí se obtiene es el peso varillado, el cual se expresa en Kg/m^3 . Para nuestro caso habrá que utilizar un balde con un volumen de $1/3 \text{ pie}^3$, debido a que el tamaño máximo nominal del agregado es de $1/2"$. Luego de elaborar el concreto se toma una muestra representativa y se llena el recipiente hasta un tercio de su capacidad, para luego ser compactada con 25 golpes en forma de espiral de afuera al centro, de igual modo se llenan las otras dos capas. Después de llenar cada capa se dan unos pequeños golpes al recipiente para eliminar los vacíos que pudieran quedar en el concreto. En la última capa luego de compactada se alisa, teniendo cuidado de dejar el

recipiente lleno justo hasta el nivel superior; para finalmente limpiar las paredes del recipiente y llevar a pesar. Los resultados se muestran a continuación.

3.2.1 PESO UNITARIO PARA $a/mc = 0.60$

Para este ensayo se mantuvo constante la cantidad de agua determinada para el concreto patrón en el cual se buscó un slump de 3-1/2".

TABLA 3.2.1.1

PESO UNITARIO PARA $a/mc = 0.60$

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	380	342	323	304	285
Agua (lt.)	231.1	231	231	231	231
Fly ash (Kg.)	0	38	57	76	95
Arena (Kg.)	853.7	847.7	844.7	841.7	838.7
Piedra (Kg.)	880.9	874.7	871.6	868.5	865.4
Peso Unitario (Kg/m³)	2428.42	2423.12	2417.82	2412.51	2407.21

3.2.2 PESO UNITARIO PARA $a/mc = 0.65$

Al igual que en el caso anterior se mantuvo constante la cantidad de agua y los resultados fueron los siguientes

TABLA 3.2.2.1

PESO UNITARIO PARA $a/mc = 0.65$

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	343.8	309.5	292.3	275.1	257.9
Agua (lt.)	226.6	226.6	226.6	226.6	226.6
Fly ash (Kg.)	0	34.4	51.6	68.8	86
Arena (Kg.)	875.4	869.9	867.2	864.4	861.7
Piedra (Kg.)	903.2	897.6	894.8	892	889.2
Peso Unitario (Kg/m3)	2430.54	2428.42	2424.18	2422.06	2418.88

3.2.3 PESO UNITARIO PARA $a/mc = 0.70$

Se mantuvo constante la cantidad de agua para cada proporción en relación al patrón.

TABLA 3.2.3.1

PESO UNITARIO PARA $a/mc = 0.65$

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	315.7	284.1	268.4	252.6	236.8
Agua (lt.)	224.2	224.2	224.2	224.2	224.2
Fly ash (Kg.)	0	31.6	47.4	63.1	78.9
Arena (Kg.)	890.8	885.8	883.3	880.8	878.3
Piedra (Kg.)	919.2	914	911.4	908.8	906.3
Peso Unitario (Kg/m3)	2433.72	2428.42	2423.12	2417.82	2412.51

3.3 CONSISTENCIA NTP 339.035

El ensayo de consistencia se realiza con el cono de Abrams, el cual es llenado en tres capas en cada capa se compacta con 25 golpes con una

varilla, el slump llamada a la medida entre la parte superior del tronco de cono y el concreto asentado, aquí podremos apreciar la facilidad que tiene el concreto para poder acomodarse o la facilidad de ser compactado, el cual depende principalmente de la cantidad de agua que uno adicione al concreto, siendo mucho mas manejable cuanto mayor cantidad de agua se adicione. Para este tipo de ensayo se mantuvo constante la cantidad de agua para determinar si el reemplazo de cemento por cenizas afecta de alguna manera la consistencia y los resultados se muestran a continuación por relaciones de agua/cementante.

3.3.1 CONSISTENCIA PARA $a/mc = 0.60$

El slump encontrado para esta relación aumento en todas los reemplazos en un $\frac{1}{4}$ ".

TABLA 3.3.1.1

CONSISTENCIA PARA $a/mc = 0.60$

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	380	342	323	304	285
Agua (lt.)	231.1	231	231	231	231
Fly ash (Kg.)	0	38	57	76	95
Arena (Kg.)	853.7	847.7	844.7	841.7	838.7
Piedra (Kg.)	880.9	874.7	871.6	868.5	865.4
Slump (pulg.)	3 1/2	3 3/4	3 3/4	3 3/4	3 3/4

3.3.2 CONSISTENCIA PARA $a/mc = 0.65$

Para este caso el slump sufrió un pequeño incremento , este incremento fue de $\frac{1}{4}$ ".

TABLA 3.3.2.1

CONSISTENCIA PARA $a/mc = 0.65$

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	343.8	309.5	292.3	275.1	257.9
Agua (lt.)	226.6	226.6	226.6	226.6	226.6
Fly ash (Kg.)	0	34.4	51.6	68.8	86
Arena (Kg.)	875.4	869.9	867.2	864.4	861.7
Piedra (Kg.)	903.2	897.6	894.8	892	889.2
Slump (pulg.)	3 1/2	3 3/4	3 3/4	3 3/4	3 3/4

3.3.3 CONSISTENCIA PARA $a/mc = 0.70$

Para este ensayo se mostró un pequeño incremento en la medida del slump con el cono de Abrams de la siguiente manera.

TABLA 3.3.3.1

CONSISTENCIA PARA $a/mc = 0.70$

Materiales	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	315.7	284.1	268.4	252.6	236.8
Agua (lt.)	224.2	224.2	224.2	224.2	224.2
Fly ash (Kg.)	0	31.6	47.4	63.1	78.9
Arena (Kg.)	890.8	885.8	883.3	880.8	878.3
Piedra (Kg.)	919.2	914	911.4	908.8	906.3
Slump (pulg.)	3 1/4	3 1/2	3 1/2	3 1/2	3 1/2

3.4 FLUIDEZ NTP 339.085

Este ensayo se realiza en la mesa de sacudidas, este ensayo nos sirve para poder apreciar la consistencia y la proclividad a la segregación. Para la realización de este ensayo se sigue los siguientes pasos. Primero se limpia y humedece la mesa de sacudidas, se centra el tronco de cono en la mesa y se vierte suficiente concreto fresco para llenar la mitad del volumen, se compacta con una varilla dando 25 golpes distribuidos uniformemente, luego se llena la otra mitad con concreto fresco y se compacta de igual manera, se retira el concreto sobrante y se limpia la mesa, una vez que se limpió la mesa se retira el tronco de cono levantándolo verticalmente. Mediante una manija se procede a sacudir la mesa dándole 15 golpes en 15 segundos.

Finalmente se mide el diámetro del concreto esparcido, para luego determinar el índice de consistencia,

3.4.1 FLUIDEZ PARA $a/mc = 0.60$

Para determinar la fluidez se realizaron seis mediciones de los diámetros, luego de realizado el ensayo en el cuadro siguiente se muestra el promedio de los diámetros.

TABLA 3.4.1.1
FLUIDEZ PARA $a/mc = 0.60$

$a/mc = 0.60$	Prom (cm)	Fluidez (%)
patrón	45.17	80.67
10%	43.58	74.33
15%	44.50	78.00
20%	44.33	77.33
25%	38.08	52.33

3.4.2 FLUIDEZ PARA $a/mc = 0.65$

Para determinar la fluidez se realizaron seis mediciones de los diámetros, luego de realizado el ensayo en el cuadro siguiente se muestra el promedio de los diámetros.

TABLA 3.4.2.1
FLUIDEZ PARA $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.65$	Prom (cm)	Fluidez (%)
patrón	48.33	93.33
10%	46.08	84.33
15%	43.50	74.00
20%	41.17	64.67
25%	41.67	66.67

3.4.3 FLUIDEZ PARA $a/mc = 0.70$

Para determinar la fluidez se realizaron seis mediciones de los diámetros, luego de realizado el ensayo en el cuadro siguiente se muestra el promedio de los diámetros.

TABLA 3.4.3.1
FLUIDEZ PARA $a/mc = 0.70$

$a/mc = 0.70$	Prom (cm)	Fluidez (%)
Patrón	42.92	71.67
10%	42.75	71.00
15%	42.25	69.00
20%	42.17	68.67
25%	41.67	66.67

3.5 CONTENIDO DE AIRE (MÉTODO GRAVIMÉTRICO) NTP 339.046

Al realizar el ensayo del peso unitario real y al tener el peso unitario de diseño, se puede calcular el contenido de aire del concreto para cada relación agua/cementante

3.5.1 CONTENIDO DE AIRE PARA $a/mc = 0.60$

Para este ensayo se puede apreciar que el contenido de aire atrapado aumenta conforme aumenta la cantidad de reemplazo, los resultados se muestran a continuación.

TABLA 3.5.1.1

CONTENIDO DE AIRE PARA $a/mc = 0.60$

$a/mc = 0.60$	Unidad	Patrón	10%	15%	20%	25%
Peso diseño	Kg.	2345.74	2333.47	2327.33	2321.2	2315.06
Peso real	Kg.	2428.42	2423.12	2417.82	2412.15	2407.21
Contenido aire	%	3.40	3.70	3.74	3.77	3.83

3.5.2 CONTENIDO DE AIRE PARA $a/mc = 0.65$

El contenido de aire atrapado aumenta proporcionalmente conforme aumenta la cantidad de reemplazo de cemento por ceniza volante, como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

TABLA 3.5.2.1

CONTENIDO DE AIRE PARA $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.65$	Unidad	Patrón	10%	15%	20%	25%
Peso diseño	Kg.	2349.07	2337.96	2332.41	2326.86	2321.31
Peso real	Kg.	2430.54	2428.42	2424.18	2422.06	2418.88
Contenido aire	%	3.35	3.73	3.79	3.93	4.03

3.5.3 CONTENIDO DE AIRE PARA $a/mc = 0.70$

El contenido de aire atrapado aumenta proporcionalmente conforme aumenta la cantidad de reemplazo de cemento por ceniza volante, como se puede apreciar en el siguiente cuadro.

TABLA 3.5.3.1

CONTENIDO DE AIRE PARA $a/mc = 0.70$

$a/mc = 0.70$	Unidad	Patrón	10%	15%	20%	25%
Peso diseño	Kg.	2349.9	2339.7	2334.6	2329.5	2324.41
Peso real	Kg.	2433.72	2428.42	2423.12	2417.82	2412.51
Contenido aire	%	3.44	3.65	3.65	3.65	3.65

3.6 EXUDACIÓN NTP 339.077

La exudación es la propiedad por el cual el agua de la mezcla fluye a la superficie, generalmente debido a la sedimentación de los sólidos. Esta propiedad generalmente esta influenciada por la cantidad de finos en los agregados y por la finura del cemento que se utiliza, mientras mas rica sea la mezcla en cementante menor será la exudación. En los ensayos realizados se mantuvo constante la cantidad de agua y se pudo apreciar una disminución en la cantidad de agua que exuda. Para realizar este ensayo se utiliza un recipiente de un volumen de $\frac{1}{2}$ pie³, una vez llenado el recipiente se alisa la superficie y se deja reposar anotando la hora , dos minutos antes de que se cumplan los diez primeros minutos se inclina el recipiente para luego extraer el agua, anotando la cantidad que se extrae durante los 40 primeros minutos, luego se continua el procedimiento a intervalos de 30 minutos hasta que deje de exudar por completo.

3.6.1 EXUDACIÓN PARA $a/mc = 0.60$

Como se puede apreciar en el siguiente cuadro la exudación tiende a disminuir conforme se aumenta la cantidad de reemplazo de cemento por la ceniza volante.

TABLA 3.6.1.1

EXUDACIÓN PARA $a/mc = 0.60$

$a/mc = 0.60$	Patrón	10%	15%	20%	25%
muestra 1	2.17	1.96	1.81	1.68	1.41
muestra 2	2.09	1.98	1.80	1.61	1.36
% Exudación	2.13	1.97	1.81	1.65	1.39

3.6.2 EXUDACIÓN PARA $a/mc = 0.65$

En este caso la exudación también disminuye y aumenta la cantidad de agua que exuda debido a que la cantidad de cementante es menor que la anterior relación.

TABLA 3.6.2.1

EXUDACIÓN PARA $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.65$	Patrón	10%	15%	20%	25%
muestra 1	4.39	4.38	3.70	3.50	3.44
muestra 2	4.53	4.43	3.73	3.51	3.51
% Exudación	4.46	4.41	3.72	3.51	3.48

3.6.3 EXUDACIÓN PARA $a/mc = 0.70$

Al igual que los dos casos anteriores el agua que exuda disminuye, pero aquí se observa que la cantidad de agua que exuda es menor que la anterior, esto se debe a que el día que se realizó este ensayo la temperatura del medio ambiente fue mayor que en los dos casos anteriores en donde si hubo una constante

TABLA 3.6.3.1

EXUDACIÓN PARA $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.70$	Patrón	10%	15%	20%	25%
muestra 1	4.32	3.79	3.70	3.71	3.64
muestra 2	4.34	3.98	3.97	3.92	3.28
% Exudación	4.33	3.89	3.84	3.82	3.46

3.7 TIEMPO DE FRAGUADO NTP 339.082

Para determinar el tiempo de fraguado inicial y final se prepara concreto, el cual es tamizado por la malla 4, sobre la mesa de vibrado, con este mortero se llenan los moldes cilíndricos de una altura de 17.70 cm. y de diámetro de 17.70 cm., el tiempo es anotado desde el momento en que el agua entra en contacto con el material cementante. El tiempo de fraguado inicial se obtiene cuando se necesita aplicar una presión de 500 lb/pulg², para conseguir una penetración de 1". El fraguado final se obtiene para una presión de 4000 lb/pulg², para conseguir una penetración de 1". Se sabe teóricamente que el tiempo fraguado debe aumentar porque se esta realizando un reemplazo de cemento por ceniza volante, a continuación se muestran los resultados para cada relación agua/cementante en donde se corrobora lo antes mencionado.

3.7.1 TIEMPO DE FRAGUADO PARA $a/mc = 0.60$

Como se indico anteriormente el tiempo de fraguado tanto inicial como final aumentó, como se puede observar a continuación.

TABLA 3.7.1.1

TIEMPO DE FRAGUADO PARA $a/mc = 0.60$

$a/mc = 0.6$	INICIAL (h:min)	FINAL (h:min)
Patrón	04:21	05:30
con 10% c.v.	04:22	05:35
con 15% c.v.	04:25	05:38
Con 20% c.v.	04:27	05:41
Con 25% c.v.	04:30	05:45

3.7.2 TIEMPO DE FRAGUADO PARA $a/mc = 0.65$

Al incrementar el porcentaje de reemplazo de cenizas por cemento, se puede apreciar un ligero retardo en el tiempo de fragua tanto inicial, como final.

TABLA 3.7.2.1

TIEMPO DE FRAGUADO PARA $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.65$	INICIAL (h:min)	FINAL (h:min)
Patrón	04:37	05:49
con 10% c.v.	04:38	05:56
con 15% c.v.	04:38	06:00
Con 20% c.v.	04:39	06:05
Con 25% c.v.	04:39	06:07

3.7.3 TIEMPO DE FRAGUADO PARA $a/mc = 0.70$

Al incrementar el porcentaje de reemplazo de cenizas por cemento, se puede apreciar un ligero retardo en el tiempo de fragua tanto inicial, como final.

TABLA 3.7.3.1

TIEMPO DE FRAGUADO PARA $a/mc = 0.70$

a/mc = 0.70	INICIAL (h:min)	FINAL (h:min)
Patrón	04:44	06:04
con 10% c.v.	04:45	06:04
con 15% c.v.	04:47	06:06
Con 20% c.v.	04:49	06:10
Con 25% c.v.	04:50	06:12

CAPITULO IV

PROPIEDADES EN EL CONCRETO ENDURECIDO

4.1 INTRODUCCIÓN

Las propiedades a ser consideradas en el concreto endurecido serán las siguientes: resistencia a la compresión, tracción por compresión diametral y módulo elástico. Para los tres casos se fabricaron probetas de 6"×12" para ser ensayadas a 7, 28, 56 y 90 días, para cada variable se fabricaron tres probetas. Se fabricaron alrededor de 400 probetas las cuales fueron sumergidas en agua saturada hasta la fecha de ensayo. Las probetas fabricadas para determinar el módulo elástico se utilizaron para determinar la resistencia compresión a 180 y 365 días, debido a que el equipo para determinar el módulo elástico no se encontraba en perfectas condiciones. Los resultados que se muestran a continuación son el promedio aritmético de tres resultados

4.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NTP 339.034

La propiedad a la resistencia a la compresión es la capacidad que tiene el concreto a soportar cargas y esfuerzos, para concretos de cemento portland generalmente alcanzan su máxima resistencia a los 28 días, lo cual no sucede con los concretos con puzolanas, en este caso las cenizas volantes, los cuales tienden a desarrollar o

incrementar sus resistencias conforme transcurre el tiempo. Para poder continuar con el desarrollo de las resistencias en concretos con cenizas volantes las condiciones de curado deben ser las adecuadas es decir, estar sumergidas en agua saturada con cal, para que de esta manera se complete el proceso de hidratación.

4.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/mc = 0.60$

En el cuadro siguiente corrobora lo antes mencionado, las resistencias tienden a aumentar conforme transcurre el tiempo de curado de las probetas, también se puede apreciar que las resistencias iniciales tanto a los 7 y 28 días son menores que el concreto patrón; conforme se aumenta el reemplazo del cemento por ceniza volante menores serán las resistencias iniciales.

TABLA 4.2.1.1

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $a/mc = 0.60$

$a/mc = 0.60$	patrón	10%	15%	20%	25%
7 días	232.68	229.10	221.19	213.45	207.92
28 días	308.28	307.15	277.43	265.36	240.62
56 días	313.20	323.46	314.80	313.97	291.05
90 días	314.54	367.72	361.79	356.16	351.69
180 días	316.20	399.97	402.55	394.81	405.13
365 días	308.26	408.65	410.20	415.65	425.30

4.2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/mc = 0.65$

Al igual que en el cuadro anterior se aprecia un comportamiento similar y esto se debe a que la ceniza volante reacciona con el hidróxido de calcio para formar silicato de calcio hidratado.

TABLA 4.2.2.1

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.65$	patrón	10%	15%	20%	25%
7 días	210.38	206.97	201.19	174.19	165.49
28 días	259.59	263.43	252.03	240.05	228.73
56 días	270.56	274.01	270.99	267.91	258.26
90 días	277.76	304.09	304.43	300.13	299.12
180 días	281.06	353.95	346.64	352.66	332.45
365 días	280.45	365.46	370.15	365.25	368.76

4.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA $a/mc = 0.70$

La constante mencionada anteriormente se mantiene la cual ya ha sido explicada anteriormente.

TABLA 4.2.3.1

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $a/mc = 0.70$

$a/mc = 0.70$	patrón	10%	15%	20%	25%
7 días	201.07	169.16	163.18	151.02	134.84
28 días	236.88	223.86	210.50	206.37	180.21
56 días	243.14	250.34	244.60	235.90	230.78
90 días	245.27	265.49	265.12	263.55	259.43
180 días	269.90	313.95	319.11	303.63	295.89
365 días	255.60	331.23	335.86	327.47	333.64

4.3 TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL NTP 339.084

Los ensayos a tracción son de gran interés para el cálculo estructural, en este punto se realizaron los ensayos para determinar cual era la influencia del reemplazo del cemento por ceniza volante. Para determinar la resistencia a la tracción se coloca la probeta sobre un base rígida en ambos lados, la probeta debe ser colocada horizontalmente, este ensayo se realiza hasta la rotura de la probeta.

4.3.1 TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL $a/mc = 0.60$

Los valores obtenidos se muestran en el siguiente cuadro, en donde se puede apreciar que no existe mayor variación entre el concreto patrón y el concreto elaborado con cenizas volantes.

TABLA 4.3.1.1

TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL $a/mc = 0.60$

$a/mc = 0.60$	patrón	10%	15%	20%	25%
28 días	31.39	25.15	24.93	22.84	22.43
56 días	32.45	27.13	28.36	28.10	27.24
90 días	33.26	29.74	30.42	30.42	31.05

4.3.2 TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL $a/mc = 0.65$

Los valores obtenidos muestran que no existe ningún beneficio ni tampoco una desventaja en el reemplazo de cemento por cenizas volantes, como se aprecia en el siguiente cuadro

TABLA 4.3.2.1

TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL $a/mc = 0.65$

$a/mc = 0.65$	patrón	10%	15%	20%	25%
28 días	23.59	23.51	23.39	22.39	22.07
56 días	25.46	24.61	25.44	24.39	24.06
90 días	25.24	26.26	26.16	26.97	26.91

4.3.3 TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL $a/mc = 0.70$

Al igual que en los dos casos anteriores se puede concluir lo mismo, el porcentaje con respecto a la resistencia por compresión esta en un rango de 9 a 10%

TABLA 4.3.3.1

TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL $a/mc = 0.70$

$a/mc = 0.70$	patrón	10%	15%	20%	25%
28 días	24.43	21.44	20.96	20.24	19.05
56 días	25.00	25.11	23.17	22.11	21.09
90 días	24.95	25.69	25.45	25.05	24.69

4.4 MÓDULO ELÁSTICO

Este ensayo estuvo en los planes iniciales de la presente tesis, pero no pudo realizarse debido a que el equipo que se encuentra en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNI-FIC no se encuentra en óptimas condiciones para realizarlo.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el análisis de costos para los diferentes diseños realizados en el laboratorio de ensayo de materiales LEM-UNI-FIC, el análisis de costos realizado no incluye mano de obra, ni tampoco los gastos realizados para transportar los materiales, cabe mencionar que los precios unitarios no incluyen el Impuesto General a las Ventas IGV.. El análisis de costos realizado tiene como objetivo conocer las ventajas o desventajas económicas al utilizar las cenizas volantes en la elaboración de concreto. Los resultados aquí presentados se refieren a la elaboración de un m³ de concreto.

En este caso se está considerando el precio del flete de la ceniza volante, ya que la planta de generación de energía eléctrica ENERSUR se encuentra en Ilo. Con respecto a los otros materiales se está considerando un precio que corresponde al costo del mercado.

5.2 ANALISIS DE COSTO PARA $a/mc = 0.60$

En el capítulo 2 se indicó cuales serían las proporciones a utilizar para la elaboración de un m^3 de concreto. Las cuales serán tomadas en cuenta para el análisis de costos. En el siguiente cuadro se muestran las dosificaciones para esta relación a/mc en pesos húmedos.

TABLA 5.2.1

DOSIFICACIONES PARA $a/mc = 0.60$

	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	380	342	323	304	285
Agua (lt.)	231.1	231	231	231	231
Fly ash (Kg.)	0	38	57	76	95
Arena (Kg.)	853.7	847.7	844.7	841.7	838.7
Piedra (Kg.)	880.9	874.7	871.6	868.5	865.4

Con estos resultados se procede a realizar el análisis de costos por m^3 de concreto, en el cual se puede apreciar la disminución del precio por m^3 de concreto conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante.

TABLA 5.2.2
ANÁLISIS DE COSTOS PARA a/mc = 0.60

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.60 arena 50% Patrón	Cemento (Kg.)	380	8.94	bl	14.71	131.52
	Agua (lt.)	231.1	0.23	m3	1.34	0.31
	Fly ash (Kg.)	0	0.00	kg	0	0.00
	Arena (Kg.)	853.7	0.51	m3	15	7.61
	Piedra (Kg.)	880.9	0.63	m3	25	15.76
					Total	155.21

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.60 arena 50% Cenizas Volantes 10%	Cemento (Kg.)	342	8.05	bl	14.71	118.37
	Agua (lt.)	231	0.23	m3	1.34	0.31
	Fly ash (Kg.)	38	38.0	kg	0.19	7.22
	Arena (Kg.)	847.7	0.50	m3	15	7.56
	Piedra (Kg.)	874.7	0.63	m3	25	15.65
					Total	149.11

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.60 arena 50% Cenizas Volantes 15%	Cemento (Kg.)	323	7.60	bl	14.71	111.80
	Agua (lt.)	231	0.23	m3	1.34	0.31
	Fly ash (Kg.)	57	57.0	kg	0.19	10.83
	Arena (Kg.)	844.7	0.50	m3	15	7.53
	Piedra (Kg.)	871.6	0.62	m3	25	15.60
					Total	146.07

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.60 arena 50% Cenizas Volantes 20%	Cemento (Kg.)	304	7.15	bl	14.71	105.22
	Agua (lt.)	231	0.23	m3	1.34	0.31
	Fly ash (Kg.)	76	76.0	kg	0.19	14.44
	Arena (Kg.)	841.7	0.50	m3	15	7.51
	Piedra (Kg.)	868.5	0.62	m3	25	15.54
					Total	143.02

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.60 arena 50% Cenizas Volantes 25%	Cemento (Kg.)	285	6.71	bl	14.71	98.64
	Agua (lt.)	231	0.23	m3	1.34	0.31
	Fly ash (Kg.)	95	95.0	kg	0.19	18.05
	Arena (Kg.)	838.7	0.50	m3	15	7.48
	Piedra (Kg.)	865.4	0.62	m3	25	15.49
					Total	139.97

LEYENDA: Cemento Sol Tipo I.
Arena Gruesa de Cantera "La Gloria".
Piedra Chancada de Cantera "La Gloria".
Ceniza Volante de Planta de energía eléctrica ENERSUR.

Para determinar el volumen tanto de la piedra como de la arena, se utilizó el Peso Unitario Suelto determinado en el estudio de las propiedades de los agregados, en el cual está considerado el esponjamiento de los agregados.

5.3 ANALISIS DE COSTOS PARA $a/mc = 0.65$

En el capítulo II se indicó cuales serían las proporciones a utilizar para la elaboración de un m³ de concreto. Las cuales serán tomadas en cuenta para el análisis de costos. En el siguiente cuadro se muestran las dosificaciones para esta relación a/mc en pesos húmedos.

TABLA 5.3.1

DOSIFICACIONES PARA $a/mc = 0.65$

	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	343.8	309.5	292.3	275.1	257.9
Agua (lt.)	226.6	226.6	226.6	226.6	226.6
Fly ash (Kg.)	0.0	34.4	51.6	68.8	86.0
Arena (Kg.)	875.4	869.9	867.2	864.4	861.7
Piedra (Kg.)	903.2	897.6	894.8	892.0	889.2

Con estos resultados se procede a realizar el análisis de costos por m³ de concreto, en el cual se puede apreciar la disminución del precio por m³ de concreto conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante.

TABLA 5.3.2

ANÁLISIS DE COSTOS PARA a/mc = 0.65

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.65 arena 50% Patrón	Cemento (Kg.)	343.8	8.09	bl	14.71	119.00
	Agua (lt.)	226.6	0.23	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	0.0	0.00	kg	0	0.00
	Arena (Kg.)	875.4	0.52	m3	15	7.81
	Piedra (Kg.)	903.2	0.65	m3	25	16.16
Total						143.27

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.65 arena 50% Cenizas Volantes 10%	Cemento (Kg.)	309.5	7.28	bl	14.71	107.12
	Agua (lt.)	226.6	0.23	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	34.4	34.4	kg	0.19	6.54
	Arena (Kg.)	869.9	0.52	m3	15	7.76
	Piedra (Kg.)	897.6	0.64	m3	25	16.06
Total						137.78

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.65 arena 50% Cenizas Volantes 15%	Cemento (Kg.)	292.3	6.88	bl	14.71	101.17
	Agua (lt.)	226.6	0.23	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	51.6	51.6	kg	0.19	9.80
	Arena (Kg.)	867.2	0.52	m3	15	7.73
	Piedra (Kg.)	894.8	0.64	m3	25	16.01
Total						135.02

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.65 arena 50% Cenizas Volantes 20%	Cemento (Kg.)	275.1	6.47	bl	14.71	95.22
	Agua (lt.)	226.6	0.23	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	68.8	68.8	kg	0.19	13.07
	Arena (Kg.)	864.4	0.51	m3	15	7.71
	Piedra (Kg.)	892.0	0.64	m3	25	15.96
Total						132.26

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.65 arena 50% Cenizas Volantes 25%	Cemento (Kg.)	257.9	6.07	bl	14.71	89.26
	Agua (lt.)	226.6	0.23	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	86.0	86.0	kg	0.19	16.34
	Arena (Kg.)	861.7	0.51	m3	15	7.68
	Piedra (Kg.)	889.2	0.64	m3	25	15.91
Total						129.50

LEYENDA: Cemento Sol Tipo I.
 Arena Gruesa de Cantera "La Gloria".
 Piedra Chancada de Cantera "La Gloria".
 Ceniza Volante de Planta de energía eléctrica ENERSUR.

5.4 ANALISIS DE COSTOS PARA $a/mc = 0.70$

En el capítulo II se indicó cuales serían las proporciones a utilizar para la elaboración de un m³ de concreto. Las cuales serán tomadas en cuenta para el análisis de costos. En el siguiente cuadro se muestran las dosificaciones para esta relación a/mc en pesos húmedos.

TABLA 5.4.1

DOSIFICACIONES PARA $a/mc = 0.70$

	Patrón	10%	15%	20%	25%
Cemento (Kg.)	315.7	284.1	268.4	252.6	236.8
Agua (lt.)	224.2	224.2	224.2	224.2	224.2
Fly ash (Kg.)	0.0	31.6	47.4	63.1	78.9
Arena (Kg.)	890.8	885.8	883.3	880.8	878.3
Piedra (Kg.)	919.2	914.0	911.4	908.8	906.3

Con estos resultados se procede a realizar el análisis de costos por m³ de concreto, en el cual se puede apreciar la disminución del precio por m³ de concreto conforme se aumenta el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante

TABLA 5.4.2

ANÁLISIS DE COSTOS PARA a/mc = 0.70

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.70 arena 50% Patrón	Cemento (Kg.)	315.7	7.43	bl	14.71	109.27
	Agua (lt.)	224.2	0.22	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	0.0	0.00	kg	0	0.00
	Arena (Kg.)	890.8	0.53	m3	15	7.94
	Piedra (Kg.)	919.2	0.66	m3	25	16.45
Total						133.96

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.70 arena 50% Cenizas Volantes 10%	Cemento (Kg.)	284.1	6.68	bl	14.71	98.33
	Agua (lt.)	224.2	0.22	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	31.6	31.6	kg	0.19	6.00
	Arena (Kg.)	885.8	0.53	m3	15	7.90
	Piedra (Kg.)	914.0	0.65	m3	25	16.36
Total						128.89

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.70 arena 50% Cenizas Volantes 15%	Cemento (Kg.)	268.4	6.32	bl	14.71	92.90
	Agua (lt.)	224.2	0.22	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	47.4	47.4	kg	0.19	9.01
	Arena (Kg.)	883.3	0.53	m3	15	7.88
	Piedra (Kg.)	911.4	0.65	m3	25	16.31
Total						126.39

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.70 arena 50% Cenizas Volantes 20%	Cemento (Kg.)	252.6	5.94	bl	14.71	87.43
	Agua (lt.)	224.2	0.22	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	63.1	63.1	kg	0.19	11.99
	Arena (Kg.)	880.8	0.52	m3	15	7.85
	Piedra (Kg.)	908.8	0.65	m3	25	16.26
Total						123.84

MEZCLA	MATERIAL	PESO HUMEDO (Kg)	CANTIDAD MATERIAL	UNIDAD	Precio Unitario (S/.)	Costo Parcial (S/.)
a/mc = 0.70 arena 50% Cenizas Volantes 25%	Cemento (Kg.)	236.8	5.57	bl	14.71	81.96
	Agua (lt.)	224.2	0.22	m3	1.34	0.30
	Fly ash (Kg.)	78.9	78.90	kg	0.19	14.99
	Arena (Kg.)	878.3	0.52	m3	15	7.83
	Piedra (Kg.)	906.3	0.65	m3	25	16.22
Total						121.30

LEYENDA: **Cemento Sol Tipo I.**
 Arena Gruesa de Cantera "La Gloria".
 Piedra Chancada de Cantera "La Gloria".
 Ceniza Volante de Planta de energía eléctrica ENERSUR.

CAPITULO VI

CUADRO DE RESULTADOS Y GRAFICOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se muestran los cuadros resúmenes de los ensayos realizados en la tesis, calor de hidratación, curva de distribución de tamaño de partículas, en estado fresco tales como exudación, tiempo de fraguado inicial y final, fluidez, peso unitario, consistencia, contenido de aire; y en estado endurecido tales como resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por compresión diametral.

Los ensayos se realizaron para las relaciones de agua/cementante 0.60, 0.65 y 0.70, teniendo para cada relación de agua/cementante reemplazos del 10%, 15%, 20% y 25% de cemento sol portland tipo I por cenizas volantes.

6.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LAS CENIZAS VOLANTES

En el capítulo I, se muestran los efectos de las cenizas al ser usadas en combinación con el cemento Pórtland tipo I, aquí se muestra los cuadros comparativos del calor de hidratación generado al realizar los

reemplazos del 10, 20 y 30% de cenizas volantes por cemento. También se muestra la curva de distribución del tamaño de partículas. Los resultados se muestran en las **tablas 6.1.1 y 6.1.2**

6.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

En el capítulo III, se muestran las dosificaciones para cada uno de los ensayos que se realizaron en la presente tesis, los resultados para el concreto en estado fresco se muestran en la **Tabla 6.3.1**. En la tabla se muestran resultados de consistencia, peso unitario, fluidez, contenido de aire, exudación y tiempo de fraguado.

6.4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

En el capítulo IV, se muestran las dosificaciones para cada uno de los ensayos que se realizaron en la presente tesis, los resultados para el concreto en estado endurecido se muestran en las **Tablas 6.4.1 y 6.4.2**, en dichas tablas se muestran resultados de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por compresión diametral respectivamente. Se prepararon 3 probetas por cada tanda siendo ensayadas a 7, 28, 56, 90, 180 y 365 días de curado. En las gráficas 6.4.1, 6.4.2 y 6.4.3 se muestran el incremento de las resistencias conforme transcurre el tiempo de curado para las tres relaciones de agua/cementante.

Tabla 6.1.1

Calor de Hidratación del Cemento con Cenizas Volantes (cal/gr.)

Edad	Patrón	con 10% C.V.	con 20% C.V.	con 30% C.V.
7 días	84.1	80.8	76.3	69.9
28 días	95	90	85.3	80.7

Tabla 6.1.2

Distribución de Tamaño de Partículas

Ensayo físico		Ceniza volante	Cemento Tipo I Sol
Distribución de tamaño de partículas			
Diámetro al 10%	μm	2.39	1.26
Diámetro al 50%	μm	22.58	12.56
Diámetro al 90%	μm	71.19	31.31
Diámetro promedio	μm	30.32	14.59

**TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"**

TABLA 6.3.1

**ENSAYO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO
(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		ASENTAM. (pulg.)	PESO UNIT. (Kg/m ³)	CONTEN. AIRE (%)	EXUDACIÓN (%)	TIEMPO DE FRAGUADO		INDICE DE CONSISTENCIA (%)
a/mc	DISEÑO					INICIAL (h:min)	FINAL (h:min)	
0.60	Patrón	3 1/2	2428.42	3.40	2.13	04:21	05:30	80.67
	con 10% c.v.	3 3/4	2423.12	3.70	1.97	04:22	05:35	74.33
	con 15% c.v.	3 3/4	2417.82	3.74	1.81	04:25	05:38	78.00
	con 20% c.v.	3 3/4	2412.51	3.77	1.65	04:27	05:41	77.33
	con 25% c.v.	3 3/4	2407.21	3.83	1.39	04:30	05:45	52.33
0.65	Patrón	3 1/2	2430.54	3.35	4.46	04:37	05:49	93.33
	con 10% c.v.	3 3/4	2428.42	3.73	4.41	04:38	05:56	84.33
	con 15% c.v.	3 3/4	2424.18	3.79	3.72	04:38	06:00	74.00
	con 20% c.v.	3 3/4	2422.06	3.93	3.51	04:39	06:05	67.00
	con 25% c.v.	3 3/4	2418.88	4.03	3.48	04:39	06:07	66.67
0.70	Patrón	3 1/4	2433.72	3.23	4.33	04:44	06:04	71.67
	con 10% c.v.	3 1/2	2428.42	3.44	3.89	04:45	06:04	71.00
	con 15% c.v.	3 1/2	2423.12	3.44	3.84	04:47	06:06	69.00
	con 20% c.v.	3 1/2	2417.82	3.44	3.82	04:49	06:10	68.67
	con 25% c.v.	3 1/2	2412.51	3.44	3.46	04:50	06:12	66.67

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
 CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

TABLA 6.4.1

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(Cuadro Resumen)**

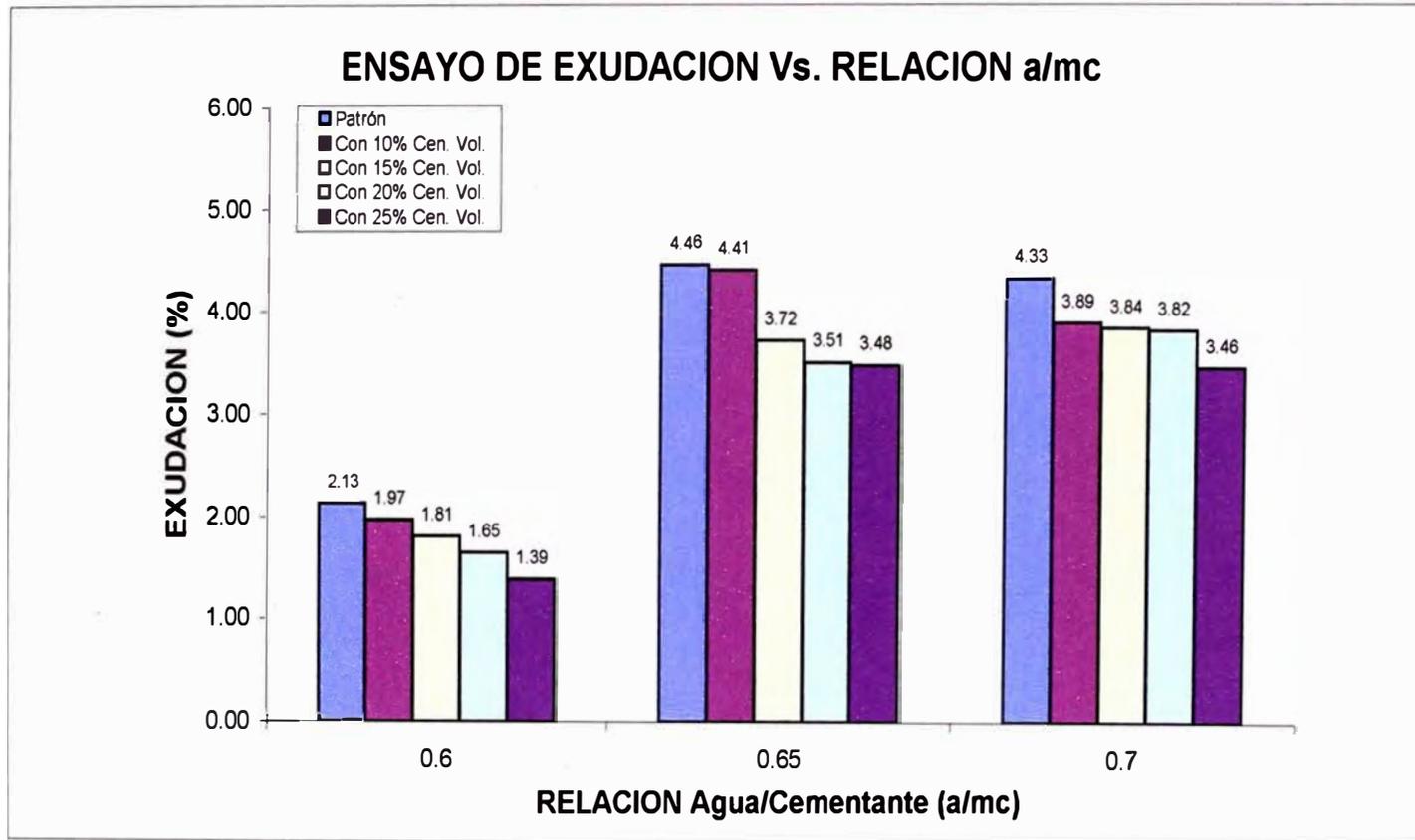
MEZCLA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)					
a/mc	DISEÑO	7 días	28 días	56 días	90 días	180 días	365 días
0.60	Patrón	232.68	308.28	313.20	314.54	316.20	308.26
	con 10% c.v.	229.10	307.15	323.46	367.72	399.97	408.65
	con 15% c.v.	221.19	277.43	314.80	361.79	402.55	410.20
	con 20% c.v.	213.45	265.36	313.97	356.16	394.81	415.65
	con 25% c.v.	207.92	240.62	291.05	351.69	405.13	425.30
0.65	Patrón	210.38	259.59	270.56	277.76	281.06	280.45
	con 10% c.v.	206.97	263.43	274.01	304.09	353.95	365.46
	con 15% c.v.	201.19	252.03	270.99	304.43	346.64	370.15
	con 20% c.v.	174.19	240.05	267.91	300.13	352.66	365.25
	con 25% c.v.	165.49	228.73	258.26	299.12	332.45	368.76
0.70	Patrón	201.07	236.88	243.14	245.27	269.90	255.60
	con 10% c.v.	169.16	223.86	250.34	265.49	313.95	331.23
	con 15% c.v.	163.18	210.50	244.60	265.12	319.11	335.86
	con 20% c.v.	151.02	206.37	235.90	263.55	303.63	327.47
	con 25% c.v.	134.84	180.21	230.78	259.43	295.89	333.64

Leyenda:

- Cemento Sol Tipo I
- Arena de Cantera "La Gloria"
- Piedra de Cantera "La Gloria"
- Ceniza Volante "ENERSUR"

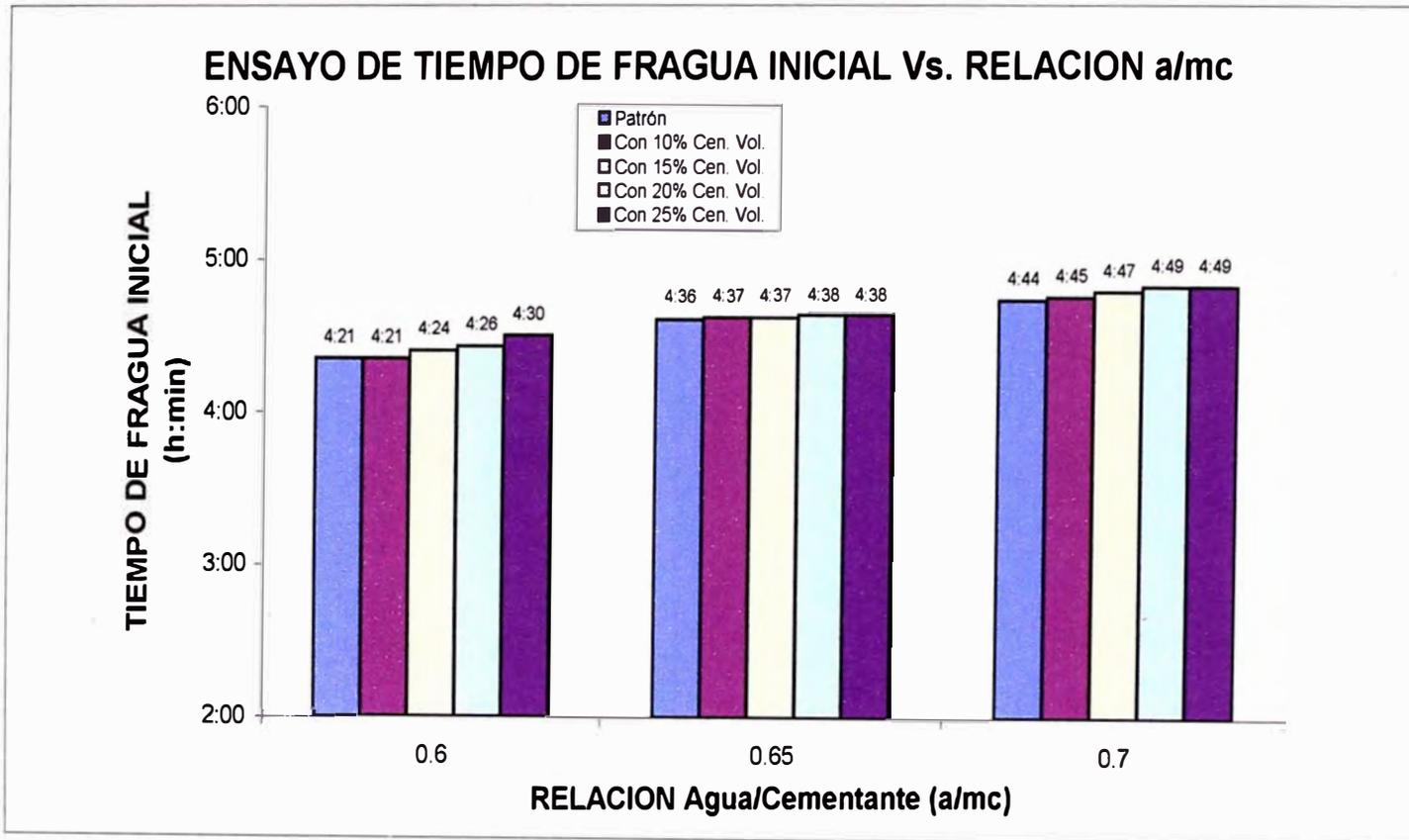
TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.1



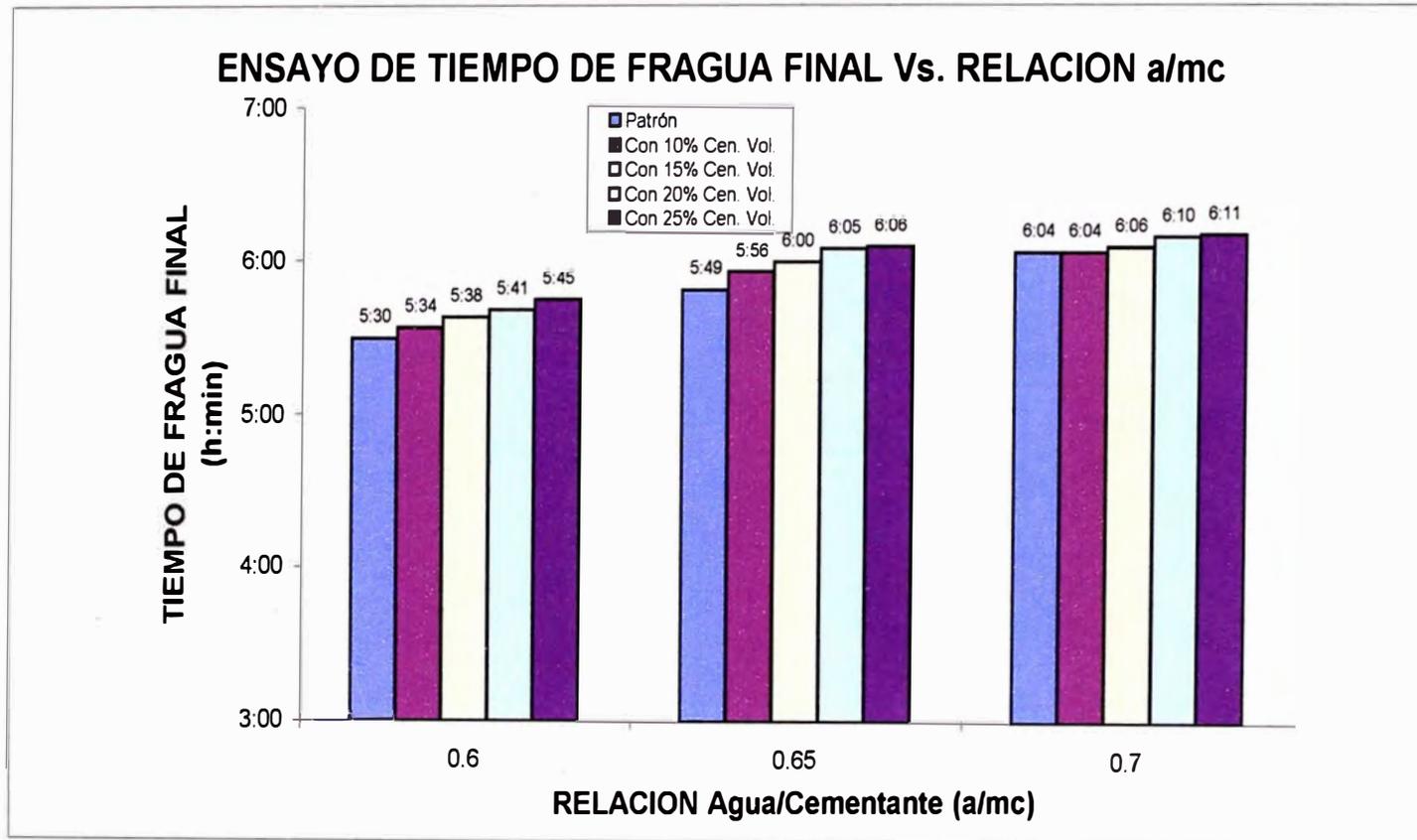
TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.2



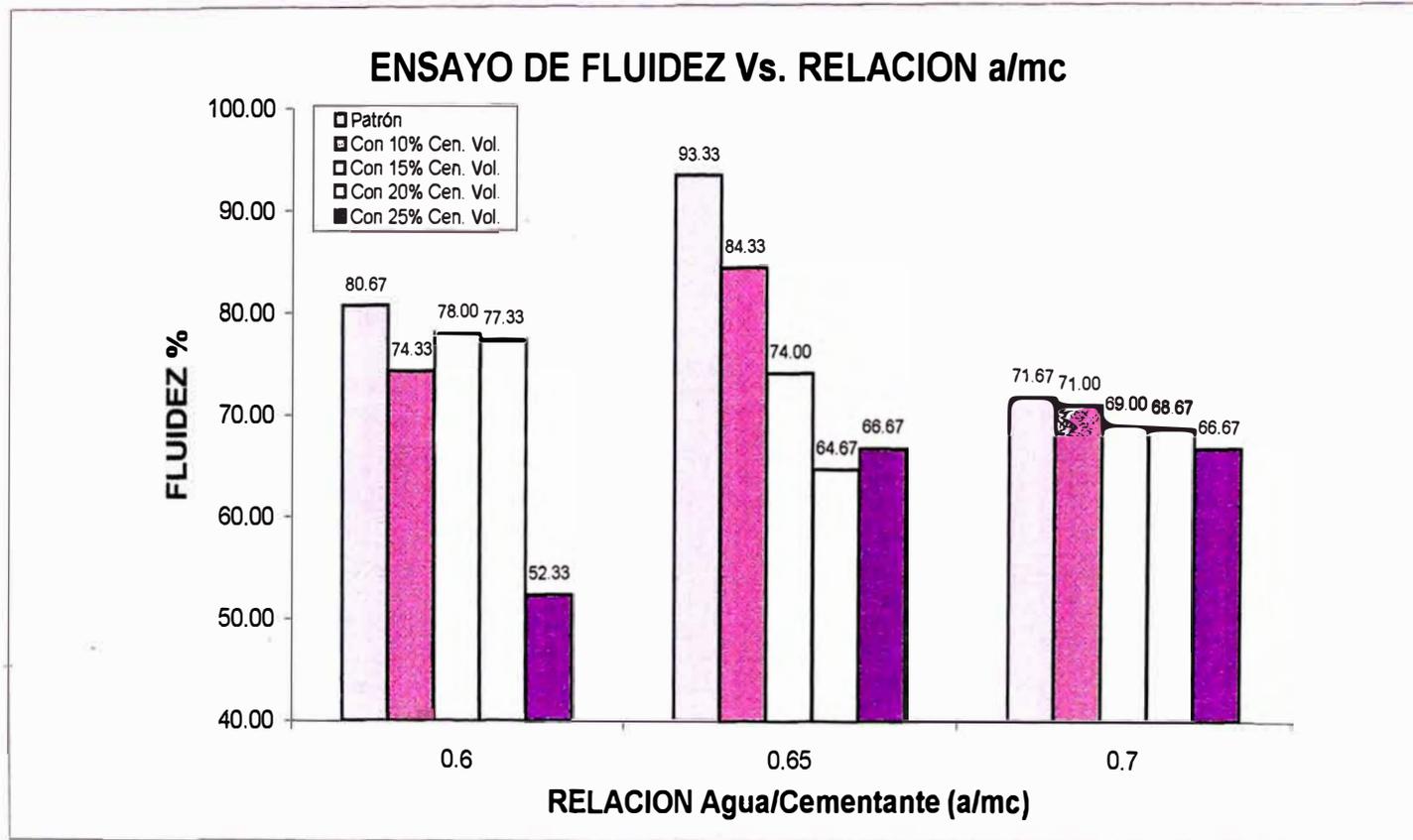
TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.3



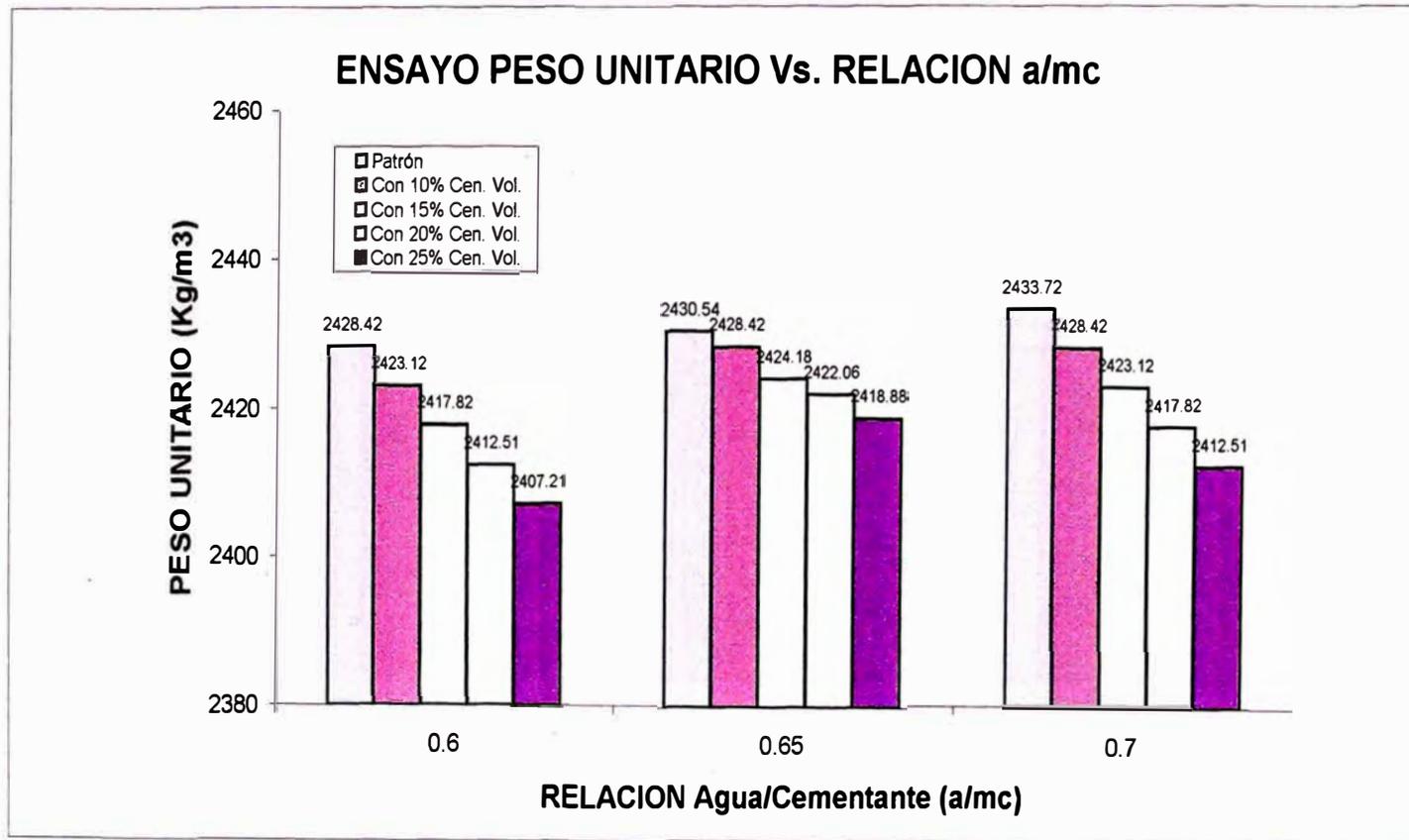
TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.4



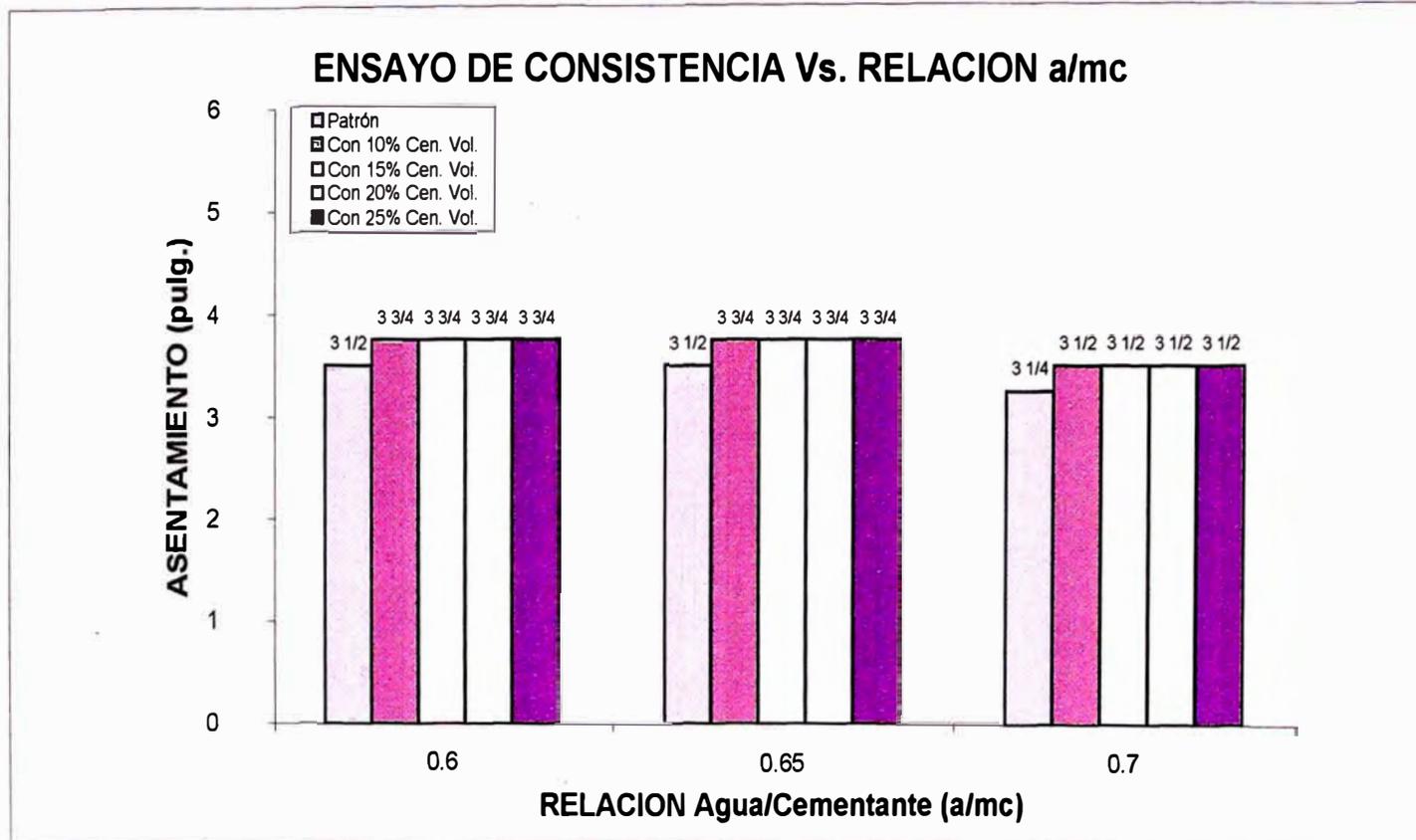
TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.5



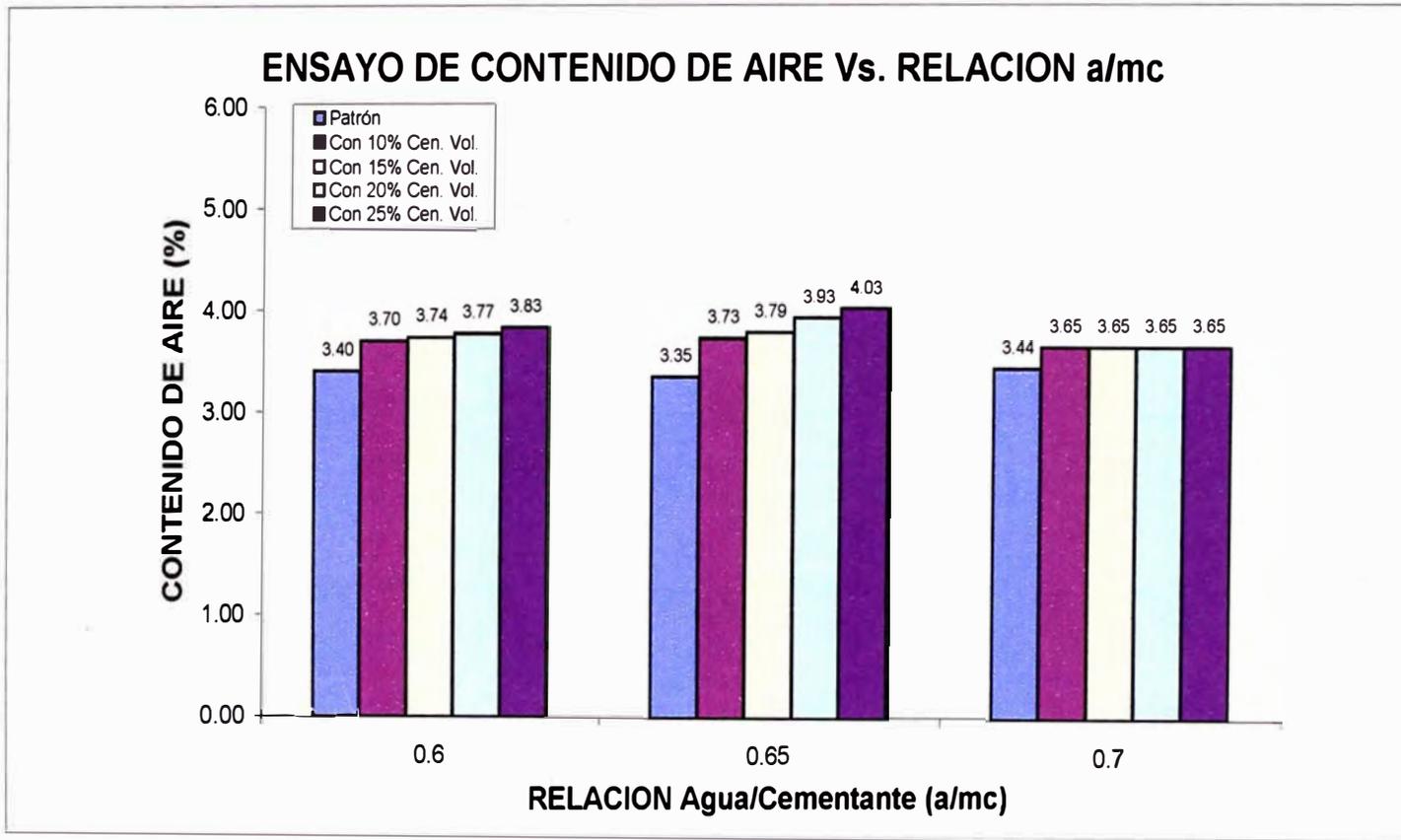
TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.6



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.2.7



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

TABLA 6.4.1

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)					
a/mc	DISEÑO	7 días	28 días	56 días	90 días	180 días	365 días
0.60	Patrón	232.68	308.28	313.20	314.54	316.20	308.26
	con 10% c.v.	229.10	307.15	323.46	367.72	399.97	408.65
	con 15% c.v.	221.19	277.43	314.80	361.79	402.55	410.20
	con 20% c.v.	213.45	265.36	313.97	356.16	394.81	415.65
	con 25% c.v.	207.92	240.62	291.05	351.69	405.13	425.30
0.65	Patrón	210.38	259.59	270.56	277.76	281.06	280.45
	con 10% c.v.	206.97	263.43	274.01	304.09	353.95	365.46
	con 15% c.v.	201.19	252.03	270.99	304.43	346.64	370.15
	con 20% c.v.	174.19	240.05	267.91	300.13	352.66	365.25
	con 25% c.v.	165.49	228.73	258.26	299.12	332.45	368.76
0.70	Patrón	201.07	236.88	243.14	245.27	269.90	255.60
	con 10% c.v.	169.16	223.86	250.34	265.49	313.95	331.23
	con 15% c.v.	163.18	210.50	244.60	265.12	319.11	335.86
	con 20% c.v.	151.02	206.37	235.90	263.55	303.63	327.47
	con 25% c.v.	134.84	180.21	230.78	259.43	295.89	333.64

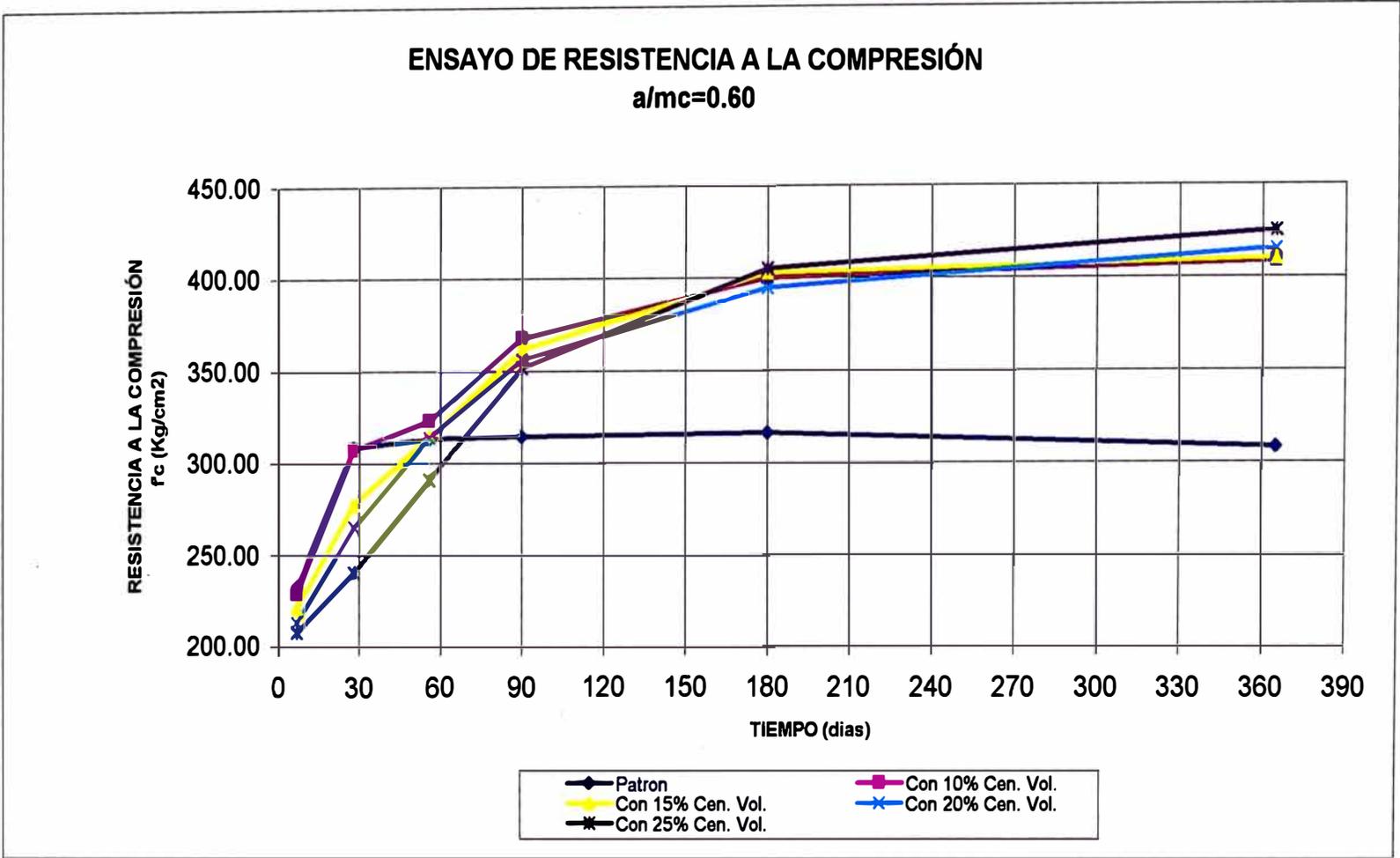
Leyenda:

- Cemento Sol Tipo I
- Arena de Cantera "La Gloria"
- Piedra de Cantera "La Gloria"
- Ceniza Volante "ENERSUR"

TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.3.1

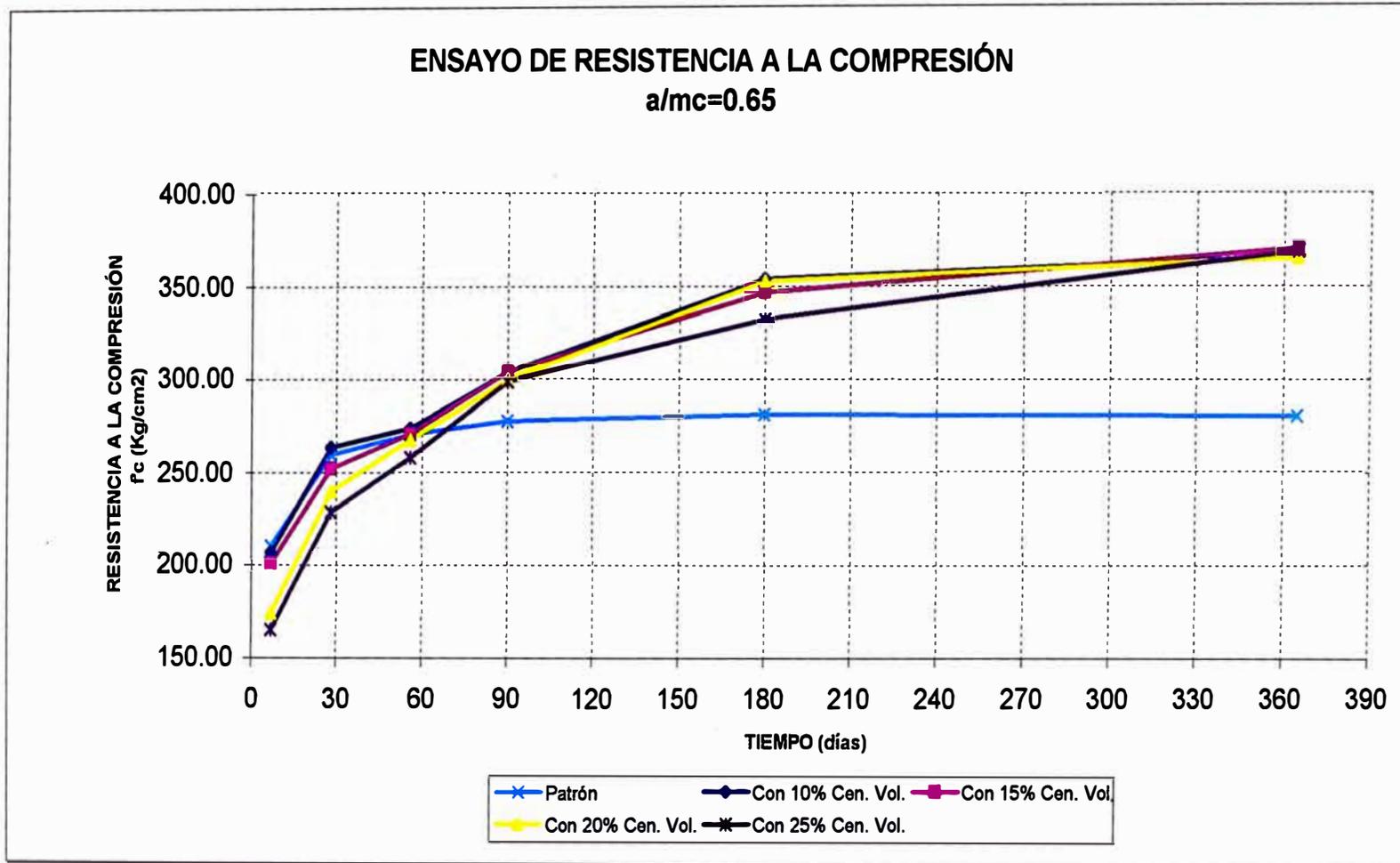
Resistencia a la compresión relación agua/cementante = 0.60



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES) CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.3.2

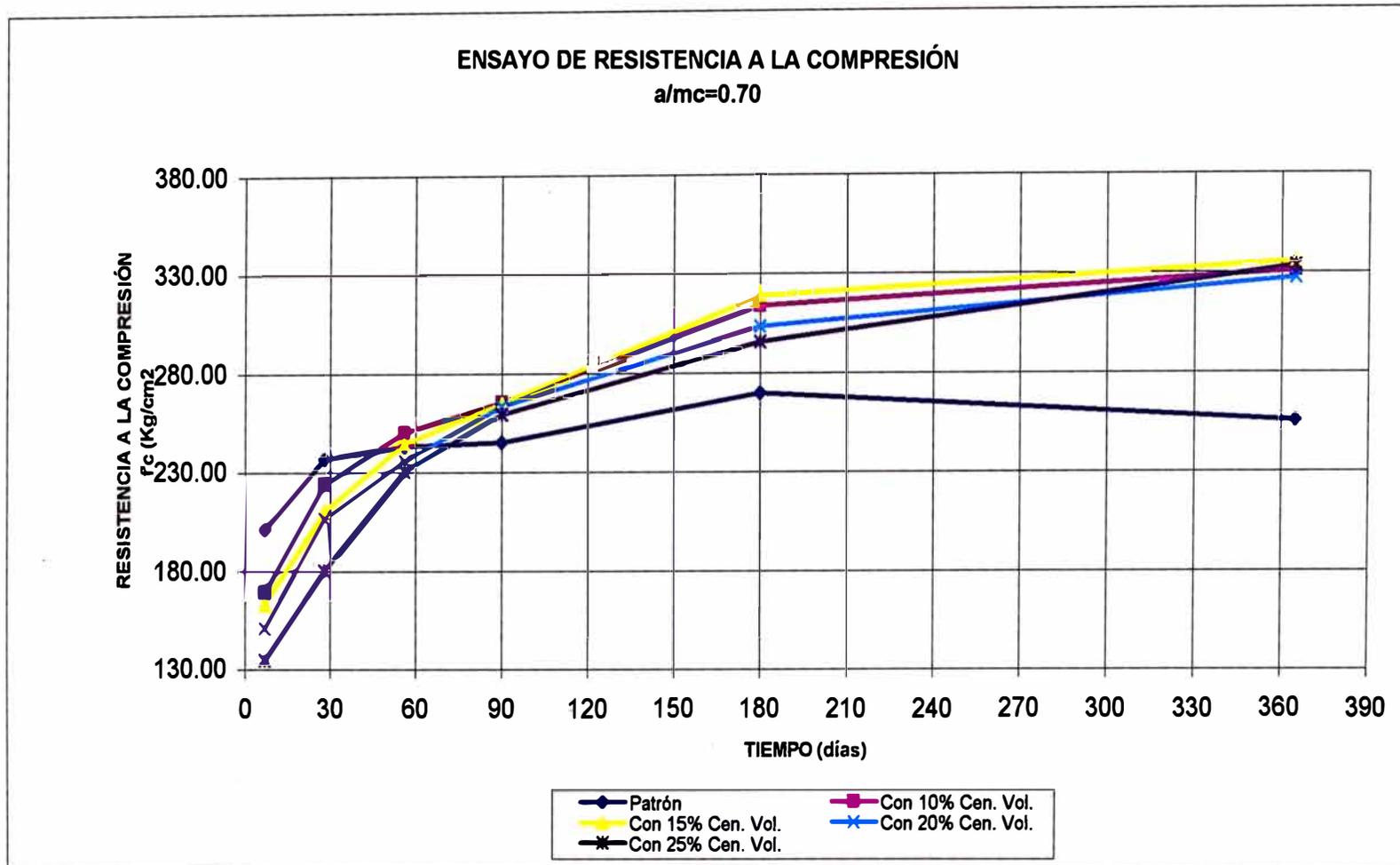
Resistencia a la compresión relación agua/cementante = 0.65



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

GRAFICA 6.3.3

Resistencia a la compresión relación agua/cementante = 0.70



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

TABLA 6.4.2**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR
COMPRESION DIAMETRAL****(Cuadro Resumen)**

MEZCLA		EDAD DE ENSAYO		
a/mc	DISEÑO	28 días	56 días	90 días
0.60	Patrón	31.39	32.45	33.26
	con 10% c.v.	25.15	27.13	29.74
	con 15% c.v.	24.93	28.36	30.42
	con 20% c.v.	22.84	28.10	30.42
	con 25% c.v.	22.43	27.24	31.05
0.65	Patrón	23.59	25.46	25.24
	con 10% c.v.	23.51	24.61	26.26
	con 15% c.v.	23.39	25.44	26.16
	con 20% c.v.	22.39	24.39	26.97
	con 25% c.v.	22.07	24.06	26.91
0.70	Patrón	24.43	25.00	24.95
	con 10% c.v.	21.44	25.11	25.69
	con 15% c.v.	20.96	23.17	25.45
	con 20% c.v.	20.24	22.11	25.05
	con 25% c.v.	19.05	21.09	24.69

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I

Arena de Cantera "La Gloria"

Piedra de Cantera "La Gloria"

Ceniza Volante "ENERSUR"

TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

CAPITULO VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 INTRODUCCIÓN

El análisis de los resultados obtenidos mediante los ensayos desarrollados dentro de esta tesis constituye una parte esencial ya que nos permite visualizar de qué manera las diferentes propiedades del concreto se ven afectadas por el empleo de cenizas volantes como parte del material cementante.

De lo dicho anteriormente se podrán obtener las conclusiones y recomendaciones que serán presentadas posteriormente.

Los materiales utilizados para la elaboración de la presente tesis son el Cemento Portland Tipo I "Sol", Ceniza Volante tipo F producida por la planta ENERSUR y agregados de la cantera "La Gloria".

Se empleó tres relaciones de agua-cementante, las cuales fueron 0.60, 0.65 y 0.70; los reemplazos de cenizas volantes fueron del orden del 10, 15, 20 y 25% para cada relación agua-cementante.

En este capítulo los resultados obtenidos por los diferentes reemplazos serán comparados con los obtenidos por la mezcla patrón (solo Cemento Portland).

7.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

7.2.1 AGREGADOS

7.2.1.1 AGREGADO FINO

- El peso específico del agregado fino es 2.67 gr/cm³, clasificándose como un agregado normal.
- El porcentaje de finos que pasa la malla 200 es de 4.47, siendo recomendado por las normas ASTM C 33 y NTP 400.018 que no exceda el 5%.
- El módulo de fineza del agregado fino es de 2.92, encontrándose dentro del rango (2.35 a 3.15) que presenta la NTP 400.012, y siendo clasificado como un agregado fino grueso.

7.2.1.2 AGREGADO GRUESO

- El peso específico del agregado grueso es 2.77 gr/cm³, clasificándose como un agregado normal.
- El porcentaje de finos que pasa la malla 200 es de 0.51. Este valor es bajo debido a que la piedra fue lavada.
- El tamaño máximo del agregado es de ¾" y el tamaño máximo nominal es de ½", cumpliendo con los límites establecidos por la Norma ASTM C 33, el cual la clasifica como agregado grueso HUSO 67.

7.2.1 CENIZA VOLANTE

7.2.1.1 COMPOSICION QUIMICA

- Al realizarse el análisis químico a la ceniza volante empleada en la elaboración de la presente tesis, se puede clasificar según la Norma ASTM-618 como tipo F.
- Tiene una pérdida por ignición de 11.7%, y una densidad de 2.3 g/cm³.

7.2.1.2 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES

- Se determinó cual era la consistencia normal del cemento empleado, así como cual era la consistencia de reemplazar el 10, 15, 20 y 25% de cenizas volantes por cemento Pórtland Sol Tipo I.
- Para la mezcla patrón, reemplazos con 10, 15, 20y 25% los requerimientos de agua para la consistencia normal fueron 170, 179, 180, 188 y 193 ml, respectivamente; los mismos que representan el 105.3, 105.9, 110.6 y 113.5% de la mezcla patrón.

7.2.1.3 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES

- Para determinar el efecto de la ceniza volante en el tiempo de fraguado del cemento se utilizó las proporciones de mezclas obtenidas para la consistencia normal.
- Para la mezcla patrón, reemplazos con 10, 15, 20y 25% los tiempos de fragua inicial fueron 135, 139, 154, 161 y 172

minutos, respectivamente; los mismos que representan el 102.9, 114.1, 119.3 y 127.4 % de la mezcla patrón.

- Para la mezcla patrón, reemplazos con 10, 15, 20y 25% los tiempos de fragua final fueron 230, 243, 249, 255 y 270 minutos, respectivamente; los mismos que representan el 105.7 108.3, 110.9 y 117.4 % de la mezcla patrón.

7.2.1.4 EXPANSION AUTOCLAVE DEL CEMENTO PÓRTLAND CON CENIZAS VOLANTES

- Con las proporciones obtenidas en el ensayo de consistencia normal se realizó el ensayo de expansión autoclave.

- Para la mezcla patrón, reemplazos con 10, 15, 20y 25% los porcentajes de expansión en autoclave fueron 0.17, 0.099, 0.093, 0.089 y 0.082%, respectivamente; los mismos que representan el 58.2, 54.7, 52.4 y 48.2 % de la mezcla patrón.

7.2.1.5 INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA CON CEMENTO PÓRTLAND

- Se realizó el ensayo de actividad puzolánica de las cenizas volantes con cemento Pórtland.
- Para la mezcla patrón y un reemplazo del 20%, la resistencia a compresión a los 7 días fue 274.37 y 228.69 kg/cm², respectivamente; el mismo que representa el 83.35 % de la mezcla patrón.
- Para la mezcla patrón y un reemplazo del 20%, la resistencia a compresión a los 28 días fue 348.25 y 329.89

kg/cm², respectivamente; el mismo que representa el 94.73 % de la mezcla patrón.

7.2.1.6 CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND CON CENIZAS VOLANTES

- Se investigó como afectaban las cenizas volantes el calor de hidratación al ser combinados con el cemento.
- Para la mezcla patrón, reemplazos con 10, 20 y 30% las temperaturas a los 7 días fueron 84.1, 80.8, 76.3 y 69.9 cal/gr., respectivamente; los mismos que representan el 96.1, 90.7 y 83.1% de la mezcla patrón.
- Para la mezcla patrón, reemplazos con 10, 20 y 30% las temperaturas a los 28 días fueron 95, 90, 85.3 y 80.7 cal/gr., respectivamente; los mismos que representan el 94.7, 89.8 y 84.9% de la mezcla patrón.

7.2.1.7 DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULAS

- Se estudio además, cual era la distribución del tamaño de partículas de las cenizas volantes y del cemento Pórtland Sol Tipo I.
- Para la mezcla patrón y para la ceniza volante, la distribución de tamaño de partículas del diámetro al 10% fueron 1.26 y 2.39 μm , respectivamente; el mismo que representa el 189.6% del cemento Pórtland.
- Para la mezcla patrón y para la ceniza volante, la distribución de tamaño de partículas del diámetro al 50% fueron 12.56 y 22.58 μm , respectivamente; el mismo que representa el 179.7% del cemento Pórtland.

- Para la mezcla patrón y para la ceniza volante, la distribución de tamaño de partículas del diámetro al 90% fueron 31.31 y 71.19 μm , respectivamente; el mismo que representa el 227.37% del cemento Pórtland.

7.2.2 DISEÑOS DE MEZCLA

- Las relaciones de agua-cementante empleados en los diseños de mezcla fueron de 0.60, 0.65 y 0.70.
- La cantidad de agua utilizada para cada relación de agua-cementante fue la necesaria para producir un slump de 3" a 4".
- La relación agregado fino-agregado grueso (A/P) fue de 50/50. Este valor se obtuvo del análisis de la gráfica de Peso Unitario Compactado.
- La cantidad de agua en los diseños de mezcla no se varió por la adición de la ceniza volante, para observar los cambios que presentarían las mezclas.

7.2.3 CONCRETO EN ESTADO FRESCO

7.2.3.1 PESO UNITARIO

- Para las diferentes relaciones agua-cementante, a medida que se incrementó el reemplazo de ceniza, el peso unitario disminuyó comparado con el peso unitario del concreto patrón.

- Para la relación $a/mc = 0.60$, para el concreto patrón, reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, los pesos unitarios fueron 2428.42, 2423.12, 2417.82, 2412.51 y 2407.21, respectivamente; los mismos que representan el 99.78, 99.56, 99.34 y 98.88% del peso unitario del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, para el concreto patrón, reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, los pesos unitarios fueron 2430.54, 2428.42, 2424.18, 2422.06 y 2418.88, respectivamente; los mismos que representan el 99.91, 99.73, 99.65 y 99.52% del peso unitario del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.70$, para el concreto patrón, reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, los pesos unitarios fueron 2433.72, 2428.42, 2423.12, 2417.82 y 2412.51, respectivamente; los mismos que representan el 99.78, 99.56, 99.34 y 99.13% del peso unitario del concreto patrón

7.2.3.2 CONSISTENCIA

- El asentamiento del concreto patrón para las diferentes relaciones agua-cementante (0.60, 0.65 y 0.70) fue de 4", encontrándose un incremento de $\frac{1}{4}$ ".
- Para la relación $a/mc = 0.60$, los asentamientos del concreto patrón, concretos con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fueron de 3 $\frac{1}{2}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", respectivamente.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, los asentamientos del concreto patrón, concretos con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fueron de 3 $\frac{1}{2}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", 3 $\frac{3}{4}$ ", respectivamente.

- Para la relación $a/mc = 0.70$, los asentamientos del concreto patrón, concretos con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fueron de 3 1/4", 3 1/2", 3 1/2", 3 1/2", 3 1/2", respectivamente.

7.2.3.3 FLUIDEZ

- La evaluación de la fluidez se hizo mediante el índice de consistencia del concreto fresco, empleándose la mesa de flujo para este propósito.
- Para la relación $a/mc = 0.60$, la fluidez del concreto patrón, concretos con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 80.67, 74.33, 78.0, 77.33, 53.33 respectivamente, los mismos que representan el 92.14, 96.69, 95.85 y 66.10% de la fluidez del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la fluidez del concreto patrón, concretos con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 93.33, 84.33, 74.00, 67.00, 66.67, respectivamente, los mismos que representan el 90.35, 79.28, 71.78 y 71.43% de la fluidez del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la fluidez del concreto patrón, concretos con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 71.67, 71.00, 69.00, 68.67, 66.67, respectivamente, los mismos que representan el 99.06, 96.27, 95.81 y 93.0% de la fluidez del concreto patrón.

7.2.3.4 EXUDACIÓN

- La exudación disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de cemento por ceniza volante.

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la exudación del concreto patrón fue de 2.13%; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 1.97, 1.81, 1.65 y 1.39%, respectivamente, los mismos que representan el 92.48, 84.97, 77.46 y 65.25% de la exudación del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la exudación del concreto patrón fue de 4.46%; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 4.41, 3.72, 3.51 y 3.48%, respectivamente, los mismos que representan el 98.87, 83.4, 78.7 y 78.0% de la exudación del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la exudación del concreto patrón fue de 4.33%; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 3.89, 3.84, 3.82 y 3.46%, respectivamente, los mismos que representan el 89.84, 88.68, 88.2 y 79.9% de la exudación del concreto patrón.

7.2.3.5 CONTENIDO DE AIRE

- Para el ensayo de contenido de aire del concreto fresco se utilizó el Método Gravimétrico, en donde se pudo apreciar que al incrementar el reemplazo de cemento por ceniza volante el contenido de aire aumenta.
- Para la relación $a/mc = 0.60$, el contenido de aire del concreto patrón fue de 3.40%; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 3.70, 3.74, 3.77 y 3.83%, respectivamente, los mismos que representan el 108.8, 110.0, 110.88, 112.64% del contenido de aire del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, el contenido de aire del concreto patrón fue de 3.35%; mientras que para las mezclas

con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 3.73, 3.79, 3.93 y 4.03%, respectivamente, los mismos que representan el 111.34, 113.13, 117.31, 120.29% del contenido de aire del concreto patrón.

- Para la relación $a/mc = 0.70$, el contenido de aire del concreto patrón fue de 3.23%; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 3.44, 3.44, 3.44 y 3.44%, respectivamente, los mismos que representan el 106.5, 106.5, 106.5, 106.5% del contenido de aire del concreto patrón.

7.2.3.6 TIEMPO DE FRAGUA

7.2.3.6.1 TIEMPO DE FRAGUA INICIAL

- Para la relación $a/mc = 0.60$, el tiempo de fragua inicial del concreto patrón fue de 4:21 h:min; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 4:22, 4:25, 4:27 y 4:30 h:min, respectivamente, los mismos que representan el 100.38, 101.53, 102.29, 103.45% del tiempo de fragua inicial del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, el tiempo de fragua inicial del concreto patrón fue de 4:37 h:min; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 4:38, 4:38, 4:39 y 4:39 h:min, respectivamente, los mismos que representan el 100.36, 100.36, 100.72, 100.72% del tiempo de fragua inicial del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.70$, el tiempo de fragua inicial del concreto patrón fue de 4:44 h:min; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 4:45, 4:47, 4:49 y 4:50 h:min, respectivamente, los

mismos que representan el 100.35, 101.05, 101.76, 102.11% del tiempo de fragua inicial del concreto patrón.

7.2.3.6.2 TIEMPO DE FRAGUA FINAL

- Para la relación $a/mc = 0.60$, el tiempo de fragua final del concreto patrón fue de 5:30 h:min; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 5:35, 5:38, 5:41 y 5:45 h:min, respectivamente, los mismos que representan el 101.51, 102.42, 103.33, 104.54% del tiempo de fragua final del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.65$, el tiempo de fragua final del concreto patrón fue de 5:49 h:min; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 5:56, 6:00, 6:05 y 6:07 h:min, respectivamente, los mismos que representan el 102.0, 103.15, 104.58, 105.15% del tiempo de fragua final del concreto patrón.
- Para la relación $a/mc = 0.70$, el tiempo de fragua final del concreto patrón fue de 6:04 h:min; mientras que para las mezclas con reemplazos de 10, 15, 20 y 25%, fue de 6:04, 6:06, 6:10 y 6:12 h:min, respectivamente, los mismos que representan el 100.0, 100.55, 101.64, 102.19% del tiempo de fragua final del concreto patrón.

7.2.4 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

7.2.4.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se hizo un estudio comparativo entre una mezcla denominado Patrón (solo cemento), y mezclas que contenían reemplazos de cenizas volante en el orden del 10, 15, 20 y 25% en peso de cemento, para $a/mc = 0.60, 0.65$ y 0.70 . Para este ensayo se

fabricaron probetas cilíndricas cumpliendo con los requisitos presentados por la norma ASTM C-192 y fueron ensayadas a los 7, 28, 56 y 90 días de curado húmedo cumpliendo con lo especificado en la norma ASTM C-39. Los resultados se muestran en el capítulo 6 en la tabla 6.3.1.

7.2.4.1.1 CONCRETO PATRÓN

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a compresión a los 07 días del concreto patrón fue de 232.68 Kg/cm², a los 28 días fue de 308.28 Kg/cm², a los 56 días fue de 313.2 Kg/cm², a los 90 días fue de 314.54 Kg/cm², a los 180 días fue de 316.2 Kg/cm² y a los 365 días fue de 308.26 Kg/cm².
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la resistencia a compresión a los 07 días del concreto patrón fue de 210.38 Kg/cm², a los 28 días fue de 259.59 Kg/cm², a los 56 días fue de 270.56 Kg/cm² y a los 90 días fue de 277.76 Kg/cm², a los 180 días fue de 281.06 Kg/cm² y a los 365 días fue de 280.45 Kg/cm².
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la resistencia a compresión a los 07 días del concreto patrón fue de 201.07 Kg/cm², a los 28 días fue de 236.88 Kg/cm², a los 56 días fue de 243.14 Kg/cm², a los 90 días fue de 245.27 Kg/cm², a los 180 días fue de 269.9 Kg/cm² y a los 365 días fue de 255.6 Kg/cm².

7.2.4.1.2 CONCRETO PATRÓN CON 10% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 229.10 Kg/cm², a los 28

días fue de 307.15 Kg/cm², a los 56 días fue de 323.46 Kg/cm², a los 90 días fue de 367.72 Kg/cm², a los 180 días fue de 399.97 Kg/cm² y a los 365 días fue de 408.65 Kg/cm².

- Para la relación a/mc = 0.65, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 205.97 Kg/cm², a los 28 días fue de 263.43 Kg/cm², a los 56 días fue de 274.01 Kg/cm², a los 90 días fue de 304.09 Kg/cm², a los 180 días fue de 353.95 Kg/cm² y a los 365 días fue de 365.46 Kg/cm².

- Para la relación a/mc = 0.70, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 169.16 Kg/cm², a los 28 días fue de 223.86 Kg/cm², a los 56 días fue de 250.34 Kg/cm², a los 90 días fue de 265.49 Kg/cm². a los 180 días fue de 313.95 Kg/cm² y a los 365 días fue de 331.23Kg/cm².

7.2.4.1.3 CONCRETO PATRÓN CON 15% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación a/mc = 0.60, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 221.19 Kg/cm², a los 28 días fue de 277.43 Kg/cm², a los 56 días fue de 314.80 Kg/cm², a los 90 días fue de 361.79 Kg/cm², a los 180 días fue de 402.55 Kg/cm² y a los 365 días fue de 410.20Kg/cm².

- Para la relación a/mc = 0.65, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 201.19 Kg/cm², a los 28 días fue de 252.03 Kg/cm², a los 56 días fue de 270.99

Kg/cm², a los 90 días fue de 304.43 Kg/cm², a los 180 días fue de 346.64 Kg/cm² y a los 365 días fue de 370.15 Kg/cm².

- Para la relación a/mc = 0.70, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 163.18 Kg/cm², a los 28 días fue de 210.50 Kg/cm², a los 56 días fue de 244.60 Kg/cm², a los 90 días fue de 265.12 Kg/cm², a los 180 días fue de 319.11 Kg/cm² y a los 365 días fue de 335.86 Kg/cm².

7.2.4.1.4 CONCRETO PATRÓN CON 20% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación a/mc = 0.60, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 213.45 Kg/cm², a los 28 días fue de 265.36 Kg/cm², a los 56 días fue de 313.97 Kg/cm², a los 90 días fue de 356.16 Kg/cm², a los 180 días fue de 394.81 Kg/cm² y a los 365 días fue de 415.65 Kg/cm².

- Para la relación a/mc = 0.65, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 174.19 Kg/cm², a los 28 días fue de 240.05 Kg/cm², a los 56 días fue de 267.91 Kg/cm², a los 90 días fue de 300.13 Kg/cm², a los 180 días fue de 352.66 Kg/cm² y a los 365 días fue de 365.25 Kg/cm².

- Para la relación a/mc = 0.70, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 151.02 Kg/cm², a los 28 días fue de 206.37 Kg/cm², a los 56 días fue de 235.90 Kg/cm², a los 90 días fue de 263.55 Kg/cm², a los 180 días

fue de 303.63 Kg/cm² y a los 365 días fue de 327.47 Kg/cm².

7.2.4.1.5 CONCRETO PATRÓN CON 25% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación a/mc = 0.60, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 207.92 Kg/cm², a los 28 días fue de 240.62 Kg/cm², a los 56 días fue de 291.05 Kg/cm², a los 90 días fue de 351.69 Kg/cm², a los 180 días fue de 405.13 Kg/cm² y a los 365 días fue de 425.30 Kg/cm².
- Para la relación a/mc = 0.65, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 165.49 Kg/cm², a los 28 días fue de 228.73 Kg/cm², a los 56 días fue de 258.26 Kg/cm², a los 90 días fue de 299.12 Kg/cm², a los 180 días fue de 332.45 Kg/cm² y a los 365 días fue de 368.76 Kg/cm².
- Para la relación a/mc = 0.70, la resistencia a compresión a los 07 días fue de 134.84 Kg/cm², a los 28 días fue de 180.21 Kg/cm², a los 56 días fue de 230.78 Kg/cm², a los 90 días fue de 259.43 Kg/cm², a los 180 días fue de 295.89 Kg/cm² y a los 365 días fue de 333.64 Kg/cm².

7.2.4.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Se hizo un estudio comparativo entre una mezcla denominado Patrón (solo cemento), y mezclas que contenían reemplazos de cenizas volante en el orden del 10, 15, 20 y 25% en peso de

cemento, para $a/mc = 0.60, 0.65$ y 0.70 . Para este ensayo se fabricaron probetas cilíndricas cumpliendo con los requisitos presentados por la norma ASTM C-192 y fueron ensayadas a los 28, 56 y 90 días de curado húmedo. Los resultados se muestran en el capítulo 6 en la tabla 6.3.2.

7.2.4.2.1 CONCRETO PATRÓN

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días del concreto patrón fue de 31.39 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 32.45 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 33.26 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días del concreto patrón fue de 23.59 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 25.46 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 25.24 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días del concreto patrón fue de 24.43 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 25.00 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 24.95 Kg/cm^2 .

7.2.4.2.2 CONCRETO PATRÓN CON 10% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 25.15 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 27.13 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 29.74 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 23.51 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 24.61 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 26.26 Kg/cm^2 .

- Para la relación $a/mc = 0.70$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 21.44 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 25.11 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 25.69 Kg/cm^2 .

7.2.4.2.3 CONCRETO PATRÓN CON 15% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 24.93 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 28.36 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 30.42 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 23.39 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 25.44 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 26.16 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 20.96 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 23.17 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 25.45 Kg/cm^2 .

7.2.4.2.4 CONCRETO PATRÓN CON 20% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 22.84 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 28.10 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 30.42 Kg/cm^2 .

- Para la relación $a/mc = 0.65$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 22.39 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 24.39 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 26.97 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 20.24 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 22.11 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 25.05 Kg/cm^2 .

7.2.4.2.5 CONCRETO PATRÓN CON 25% DE CENIZA VOLANTE

- Para la relación $a/mc = 0.60$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 22.43 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 27.24 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 31.05 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.65$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 22.07 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 24.06 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 26.91 Kg/cm^2 .
- Para la relación $a/mc = 0.70$, la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días fue de 19.05 Kg/cm^2 , a los 56 días fue de 21.09 Kg/cm^2 y a los 90 días fue de 24.69 Kg/cm^2 .

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 INTRODUCCIÓN

Aquí se resume todo lo mencionado en los capítulos anteriores, es aquí donde se va a mostrar los beneficios que tienen las cenizas volantes como reemplazo de cemento.

Los materiales utilizados para la elaboración de la presente tesis son el Cemento Portland Tipo I "Sol", Ceniza Volante tipo F producida por la planta ENERSUR y agregados de la cantera "La Gloria".

Se empleó tres relaciones de agua-cementante, las cuales fueron 0.60, 0.65 y 0.70; los reemplazos de cenizas volantes fueron del orden del 10, 15, 20 y 25% para cada relación agua-cementante.

8.2 CONCLUSIONES

8.2.1 CENIZA VOLANTE

- La Ceniza Volante empleada para el desarrollo de la tesis se clasifica como Ceniza Volante Tipo F, según la Norma ASTM C-618.
- A medida que se incrementó el reemplazo de ceniza volante por cemento, aumentó la demanda de agua para obtener la misma consistencia normal que se obtuvo utilizando solo cemento.
- A medida que se incrementó el reemplazo de ceniza volante por cemento, aumentó el tiempo de fragua de las pastas.
- La expansión autoclave disminuyó conforme aumentó el reemplazo de las cenizas volantes.
- Las cenizas volantes empleadas muestran un índice de actividad puzolánica alto, comparado con otras puzolanas.
- El calor de hidratación de las pastas disminuyó a medida que se incrementaba la cantidad de ceniza volante como reemplazo del cemento.

La distribución del tamaño de las partículas nos muestra una granulometría mas gruesa en comparación a la granulometría del cemento.

8.2.2 DISEÑOS DE MEZCLA

- La relación agregado fino-agregado grueso (A/P) fue de 50/50. Este valor se obtuvo del análisis de la gráfica de Peso Unitario Compactado.
- Es muy importante para el diseño de mezclas considerar a la ceniza volante en un inicio como parte del material cementante y no al final para ser reemplazado como un porcentaje del cemento.

8.2.3 CONCRETO EN ESTADO FRESCO

- Los Pesos Unitarios de los concretos elaborados disminuyeron conforme se aumentaba el reemplazo de la ceniza volante por cemento para las diferentes relaciones agua-cementante.
- La consistencia del concreto aumentó en $\frac{1}{4}$ " para todos los reemplazos de ceniza volante por cemento.
- La fluidez del concreto disminuyó conforme se aumentó el reemplazo de ceniza volante por cemento.
- La exudación disminuyó hasta en un 35% respecto del concreto patrón, es decir conforme se aumenta el reemplazo de ceniza volante por cemento la exudación disminuye.
- El contenido de aire del concreto aumentó conforme aumentó el reemplazo de ceniza volante por cemento.
- El tiempo de fraguado del concreto aumentó, tanto la fragua inicial como final, conforme aumentó el reemplazo de ceniza volante por cemento.

8.2.4 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

- La resistencia a compresión axial del concreto a los 28 días fue inferior conforme aumentó el reemplazo de ceniza volante por cemento, respecto del concreto patrón.
- La resistencia a compresión axial del concreto a los 56 días en adelante fue superior a la resistencia obtenida del concreto patrón, llegando a obtenerse un incremento de hasta el 39% a los 365 días de curado respecto del concreto patrón.
- La resistencia del concreto a la tracción por compresión diametral tuvo un ligero aumento conforme se aumentó el reemplazo de ceniza volante por cemento, llegando a obtenerse un incremento del 3% respecto del concreto patrón.

8.2.5 DEL COSTO DE LA APLICACIÓN DE LAS CENIZAS VOLANTES EN EL CONCRETO

- El empleo de las cenizas volantes en la elaboración de concreto tiene, además de los beneficios antes mencionados, un costo menor que el cemento, a pesar que se trae de la ciudad de Ilo.
- El uso de las cenizas volantes en la elaboración de concreto puede llegar a tener una reducción del costo de hasta el 10%.

8.3 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de investigación para comprobar el efecto que tendrían los aditivos sobre las cenizas volantes.
- Realizar estudios de investigación para relaciones a/mc = 0.40, 0.45 y 0.50, para observar cual es el comportamiento del concreto con relaciones menores a las estudiadas.
- Realizar estudios de investigación en donde se comparen los efectos de la ceniza volante (una puzolana artificial) con la puzolana de Yura (puzolana natural).
- Se conoce a nivel mundial el beneficio de las cenizas en la durabilidad del concreto, para lo cual se recomienda realizar estudios para verificar el efecto de las cenizas volantes en la durabilidad del concreto.
- Una vez determinado el efecto de los aditivos sobre las cenizas volantes, realizar un estudio de investigación para ver la factibilidad de utilizar las cenizas volantes en porcentajes mayores a los utilizados en la presente tesis.

BIBLIOGRAFIA

- Effect of Fly Ash on Physical Properties of Concrete.- Steven Gebler, and P. Klieger.- ACI International 1986.
- Pozzolanic Activity and Characteristics of Colombian Materials.- Silvio Delvasto.- ACI International 1986.
- Comparative Study of the Cementitious Properties of Different Fly Ashes.- P.C. Aitcin, F. Autefage.- ACI International 1986.
- Fly Ash as the "Fourth Ingredient" in Concrete Mixtures.- M.R.H. Dunstan.- ACI International 1986.
- El Supercemento Atlas Puzolánico Tipo IP.- Cementoi Lima S.A.- Atocongo, Noviembre 1988.
- Concretos de Alta Resistencia.- Enrique Rivva López.- 2002.
- Naturaleza y materiales del concreto.- Enrique Rivva López.- 2000.
- Concrete Microstructure, Properties and Materials.- Kumar Metha, Paulo Monteiro.- Octubre 2001.
- Use of Fly Ash in Concrete.- ACI Committee 232 .- 1996.

ANEXO A

PROPIEDADES DE LAS CENIZAS VOLANTES

CUADRO 9.A.1

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO CON CENIZAS VOLANTES

DISEÑO	CANTIDAD AGUA (ml.)	PENETRACION (mm.)	a/mc
Patrón	170	9.5	0.26
Con 10% de c.v*	179	10.0	0.28
Con 15% de c.v*	180	10.3	0.28
Con 20% de c.v*	188	10.5	0.29
Con 25% de c.v*	193	10.8	0.30

*ceniza volante

CUADRO 9.A.2

EXPANSION AUTOCLAVE DEL CEMENTO CON CENIZA VOLANTE

DISEÑO	LECTURA INICIAL (pulg.)	LECTURA FINAL (pulg.)	EXPANSION (%)
Patrón	0.1600	0.1798	0.1700
Con 10% de c.v*	0.16765	0.1792	0.0992
Con 15% de c.v*	0.1689	0.1798	0.0936
Con 20% de c.v*	0.1603	0.1707	0.0893
Con 25% de c.v*	0.1727	0.1823	0.0824

*ceniza volante

CUADRO 9.A.3

MEZCLA PATRON

HORA (H:min)	TIEMPO TRANSC. (min.)	PENETRACION (mm.)
11:06	0	40.0
12:33	87	39.0
13:06	120	34.5
13:41	155	7.0
13:56	170	0.0

tiempo de fragua inicial (25 mm.) = 2:15 h:r

tiempo de fragua final (0 mm.) = 2:50 h:min

CUADRO 9.A.4

MEZCLA con 10% de CENIZA VOLANTE

HORA (H:min)	TIEMPO TRANSC. (min.)	PENETRACION (mm.)
11:23	0	40.0
12:35	72	40.0
13:23	120	37.0
13:53	150	18.0
13:58	155	6.0
14:03	160	2.0
14:08	165	2.0
14:11	168	1.0
14:16	173	1.0
14:21	178	0.5
14:26	183	0.0

tiempo de fragua inicial (25 mm.) = 2:19 h:r

tiempo de fragua final (0 mm.) = 3:03 h:min

CUADRO 9.A.5

MEZCLA con 15% de CENIZA VOLANTE

HORA (H:min)	TIEMPO TRANSC. (min.)	PENETRACION (mm.)
11:40	0.0	40.0
13:40	120	39.0
13:59	139	34.0
14:04	144	31.5
14:09	149	29.0
14:14	154	25.0
14:19	159	10.0
14:24	164	7.0
14:29	169	6.5
14:34	174	2.0
14:39	179	1.0
14:44	184	0.5
14:49	189	0.0

tiempo de fragua inicial (25 mm.) = 2:34 h:r

tiempo de fragua final (0 mm.) = 3:09 h:min

CUADRO 9.A.6

MEZCLA con 20% de CENIZA VOLANTE

HORA (H:min)	TIEMPO TRANSC. (min.)	PENETRACION (mm.)
11:55	0	40.0
13:55	120	39.0
14:00	125	38.0
14:05	130	36.0
14:10	135	36.0
14:15	140	36.0
14:20	145	34.0
14:25	150	34.0
14:30	155	32.0
14:35	160	18.0
14:40	165	14.5
14:45	170	11.0
14:50	175	8.0
14:55	180	2.0
15:00	185	1.0
15:05	190	1.0
15:10	195	0.0

tiempo de fragua inicial (25 mm.) = 2:41 h:r

tiempo de fragua final (0 mm.) = 3:15 h:min

CUADRO 9.A.7

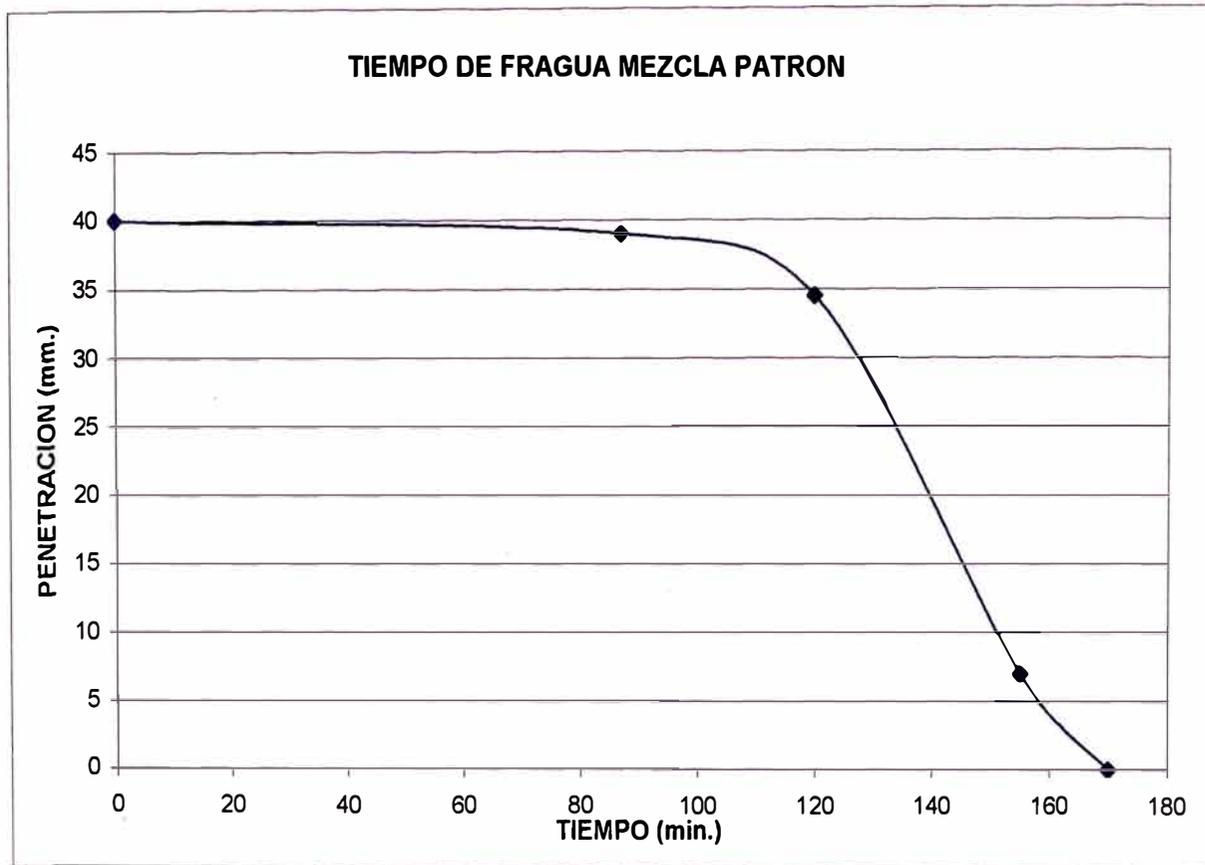
MEZCLA con 25% de CENIZA VOLANTE

HORA (H:min)	TIEMPO TRANSC. (min.)	PENETRACION (mm.)
12:10	0	40.0
14:10	120	40.0
14:15	125	39.0
14:20	130	39.0
14:25	135	38.5
14:30	140	38.0
14:35	145	36.0
14:40	150	36.0
14:45	155	35.0
14:50	160	34.0
14:55	165	30.0
15:00	170	27.0
15:05	175	18.0
15:10	180	16.0
15:15	185	12.0
15:20	190	3.0
15:25	195	2.0
15:30	200	1.0
15:35	205	0.5
15:40	210	0.0

tiempo de fragua inicial (25 mm.) = 2:52 h:min

tiempo de fragua final (0 mm.) = 3:30 h:min

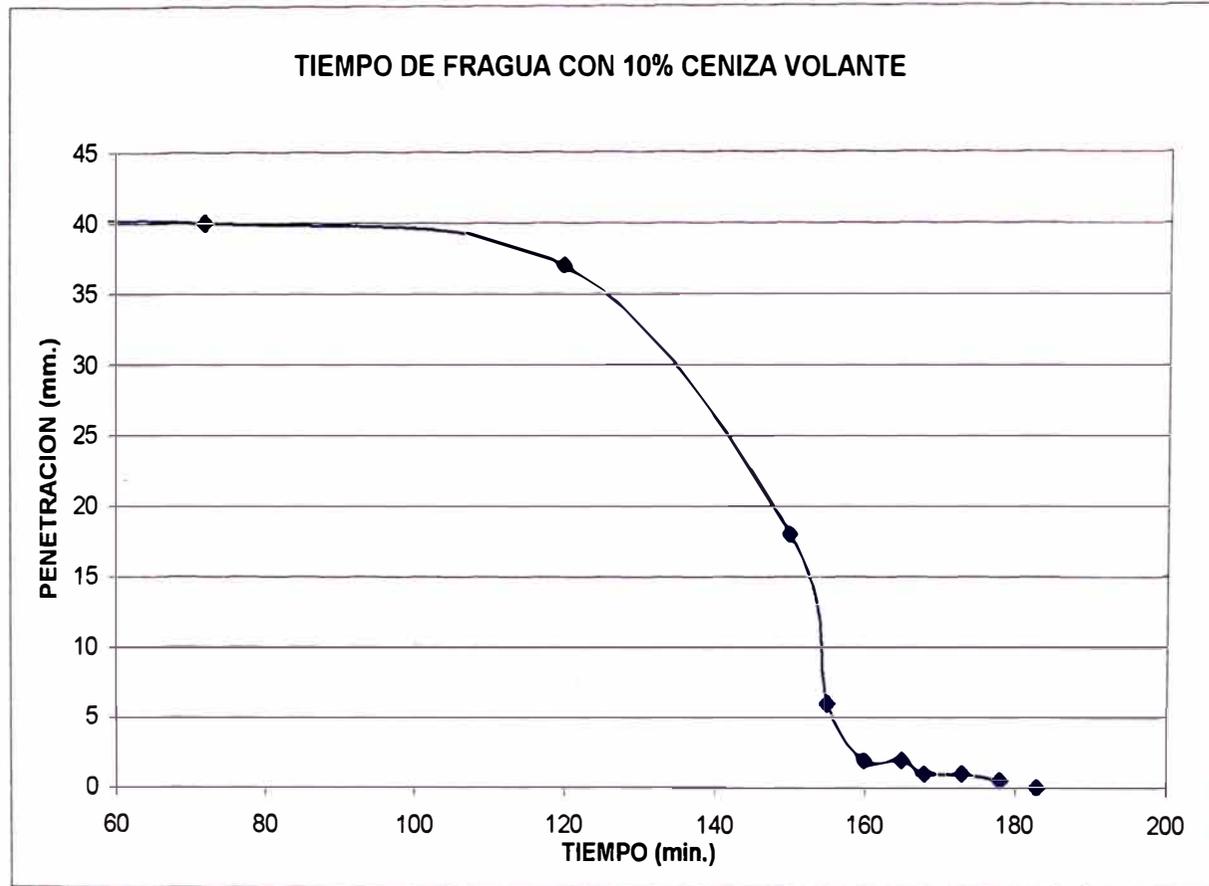
GRAFICO 9.A.1



*TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"*

ALVARO MANCO ARAUJO

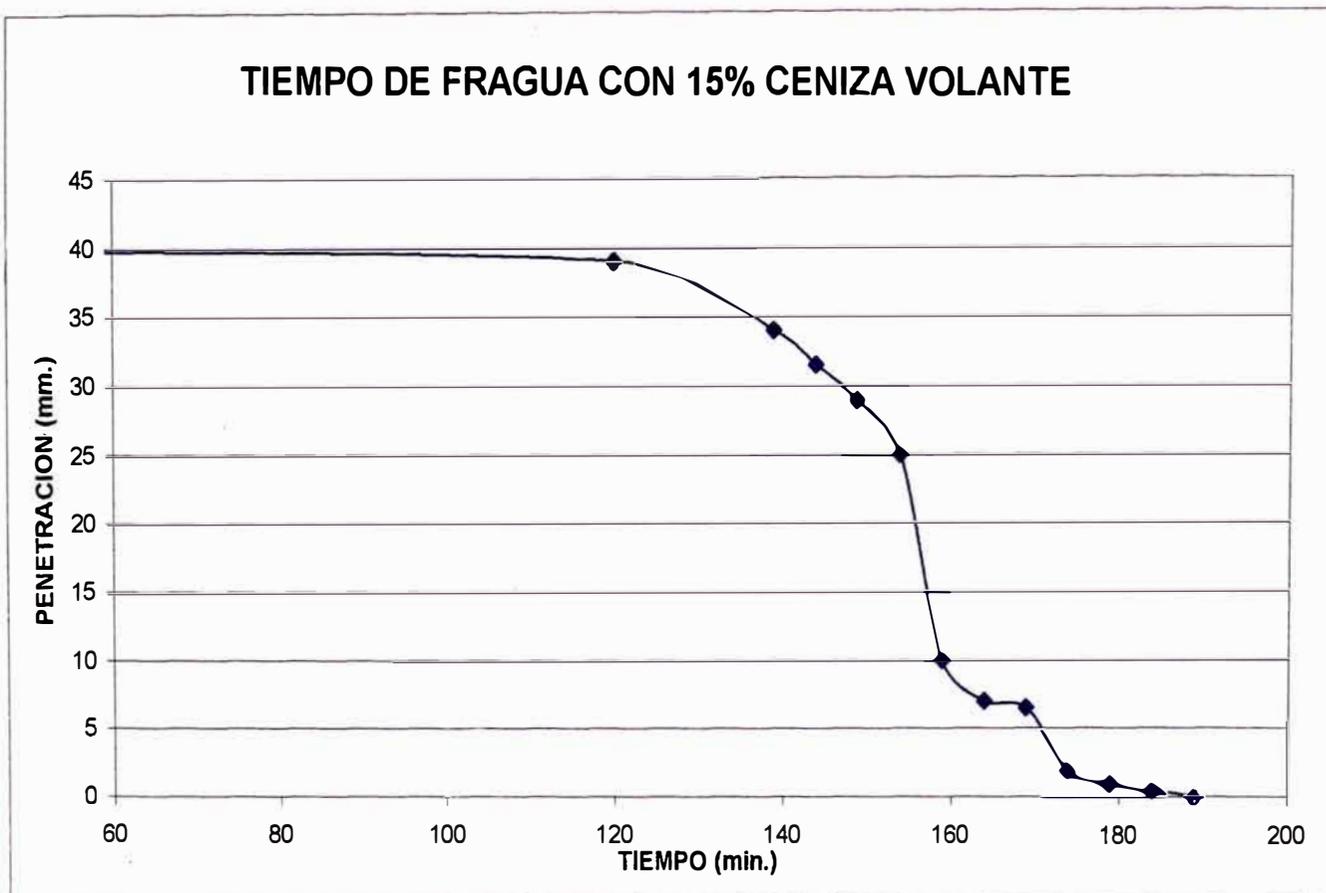
GRAFICO 9.A.2



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

ALVARO MANCO ARAUJO

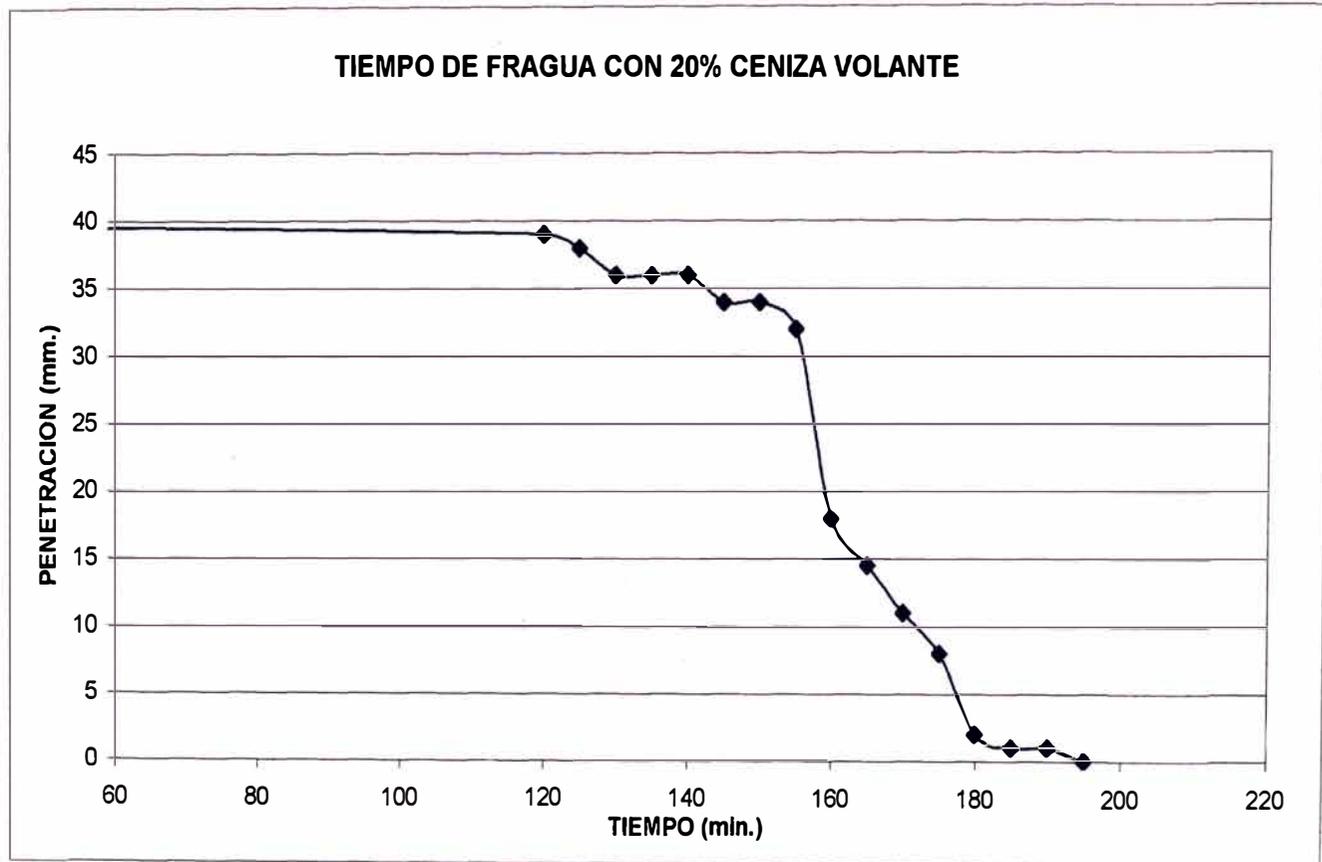
GRAFICO 9.A.3



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

ALVARO MANCO ARAUJO

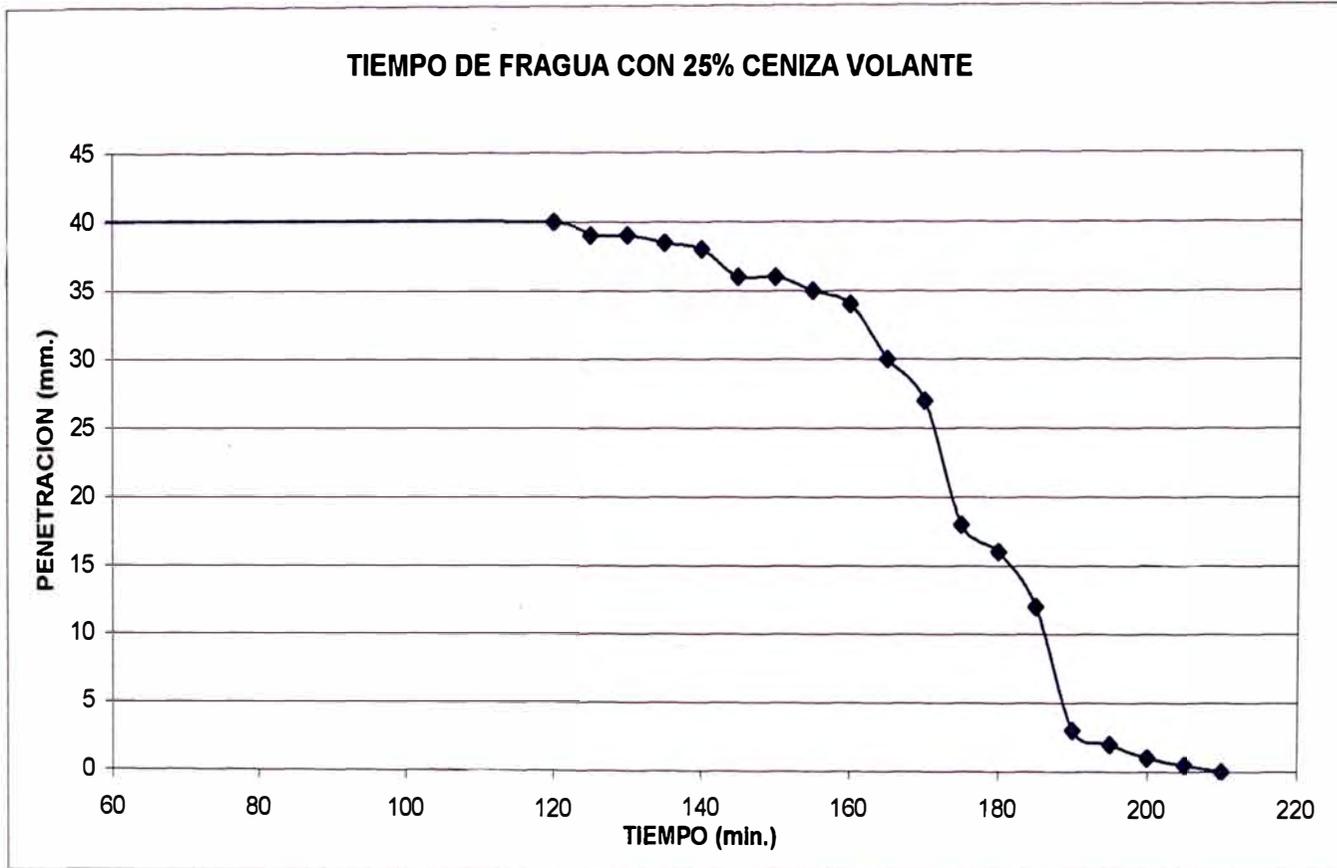
GRAFICO 9.A.4



TESIS: "ELABORACIÓN DE CONCRETOS CON UNA ADICIÓN MINERAL (CENIZAS VOLANTES)
CON RELACIONES AGUA/CEMENTANTE DE 0.60, 0.65, 0.70 CON CEMENTO PORTLAND TIPO I"

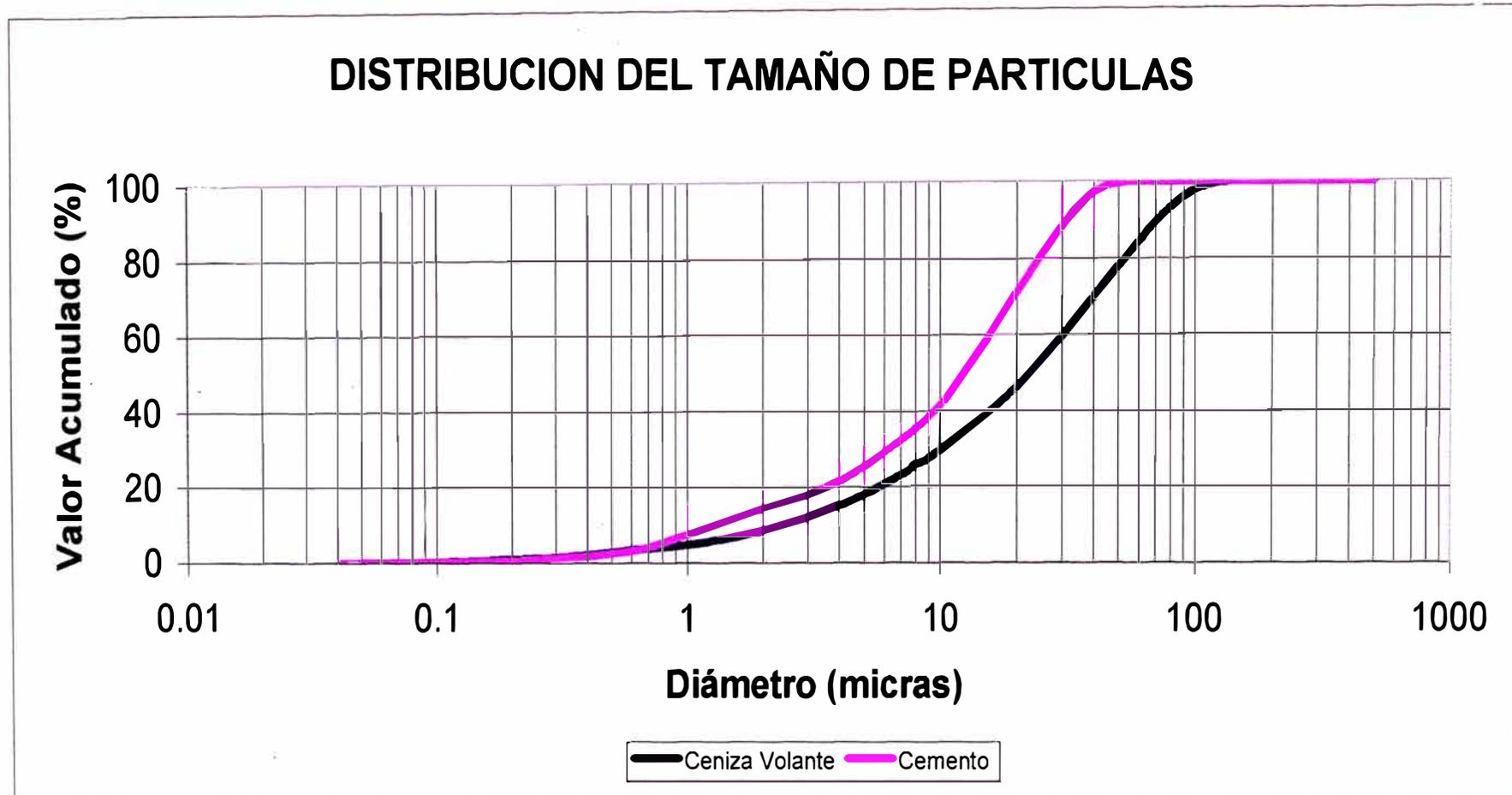
ALVARO MANCO ARAUJO

GRAFICO 9.A.5



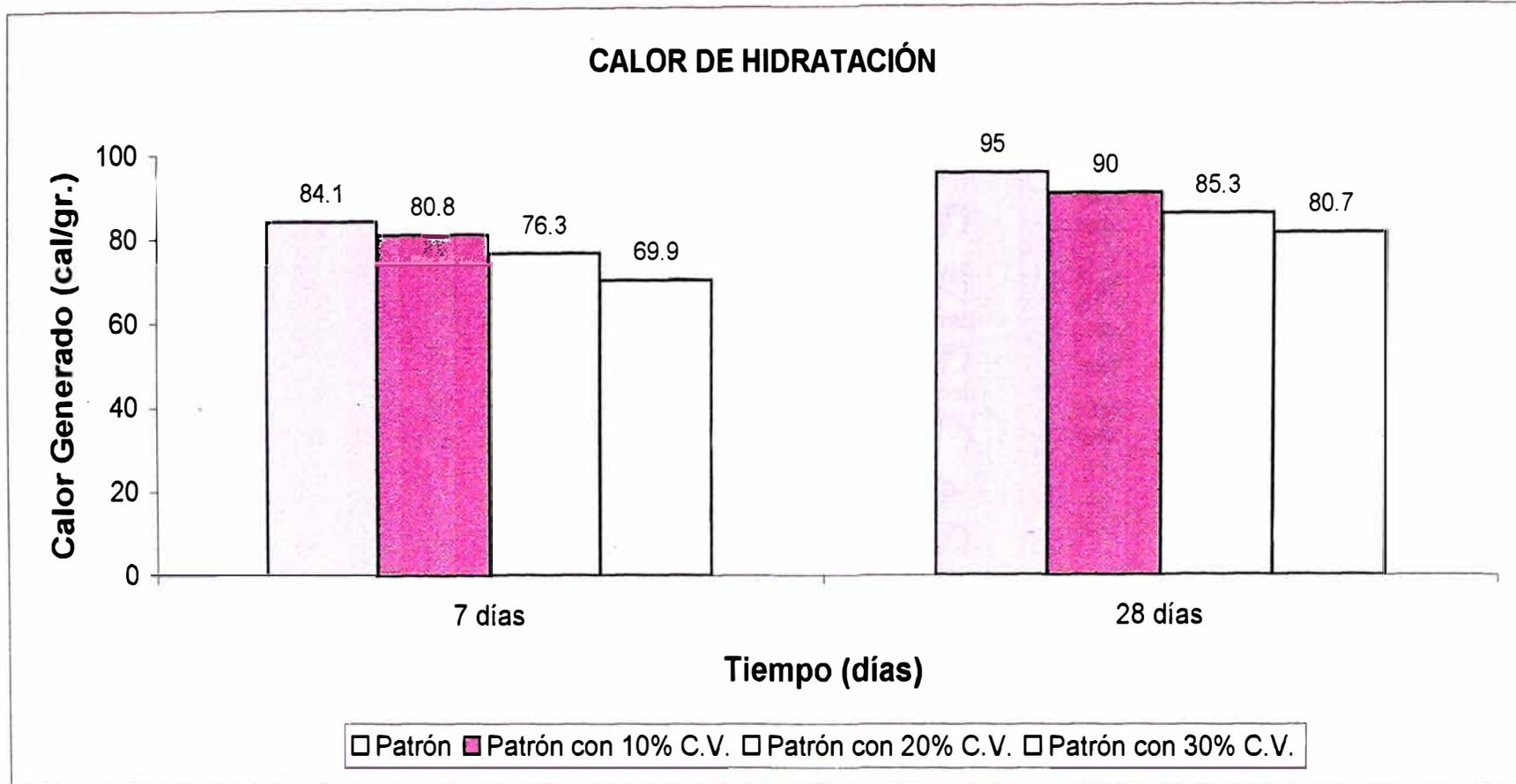
Gráfica 9.A.6

Curva de distribución del tamaño de partículas- comparativo entre el cemento y la ceniza volante



Gráfica 9.A.7

Calor de hidratación generado al realizar diferentes reemplazos de cenizas volantes



ANEXO B

PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

CUADRO N° 9.B.1**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10 pie ³	gr.	7600	7500	7500
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	2773	2773	2773
Peso de la muestra suelta	gr.	4827	4727	4727
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
Peso Unitario Suelto	(Kg/m ³)	1705.65	1670.32	1670.32

Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1682.10
--	----------------

CUADRO N° 9.B.2**PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10 pie ³	gr.	8200	8200	8250
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	2773	2773	2773
Peso de la muestra suelta	gr.	5427	5427	5477
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
Peso Unitario Compactado	(Kg/m ³)	1917.67	1917.67	1935.34

Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1923.56
--	----------------

Leyenda:

Agregado Fino de la Cantera "LA GLORIA"

CUADRO N° 9.B.3

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

Descripción	Und	M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra s.s.s.	gr	500.0	500.0	500.0
Peso de la muestra s.s.s.+ Peso del balón 500 cc.	gr	674.5	674.5	674.5
Peso de la muestra s.s.s.+ Peso del balón + Peso del agua	gr	989.5	990.5	989.5
Peso del agua.	gr	315.0	316.0	315.0
Volumen de agua (D/Peso específico del agua)	cm3	315.0	316.0	315.0
Volumen del balón.	cm3	500.0	500.0	500.0
Volumen de la muestra.	cm3	185.0	184.0	185.0
Peso de la muestra secada al horno.	gr	493.0	493.5	493.5
Peso Específico.	gr/cm3	2.66	2.68	2.67
Porcentaje de Absorción.	%	1.43	1.33	1.33
Peso Específico :		2.67	gr/cm3	
Porcentaje de Absorción :		1.36	%	

Leyenda:

Agregado Fino de la Cantera "LA GLORIA"

CUADRO N° 9.B.4**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra húmeda	gr.	500	500	500
Peso de la muestra secada al horno	gr.	490	490	489
Contenido de agua	%	2.00	2.00	2.20
Contenido de humedad (%)		2.07		

CUADRO N° 9.B.5**SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO**

TAMIZ N°	% RETENIDO PARCIAL (1)	DIAMETRO PROMEDIO (2)	(1)/(2)
N°4	1.53	0.714	2.14285714
N°8	19.38	0.357	54.2857143
N°16	21.46	0.179	119.888268
N°30	17.89	0.089	201.011236
N°50	16.75	0.044	380.681818
N°100	13.24	0.022	601.818182
N°200	6.2	0.011	563.636364
FONDO	3.55	0.011	322.727273
TOTAL:			2246.19171

S.E. = 50.47 cm²/gr.

Leyenda:

Agregado Fino de la Cantera "LA GLORIA"

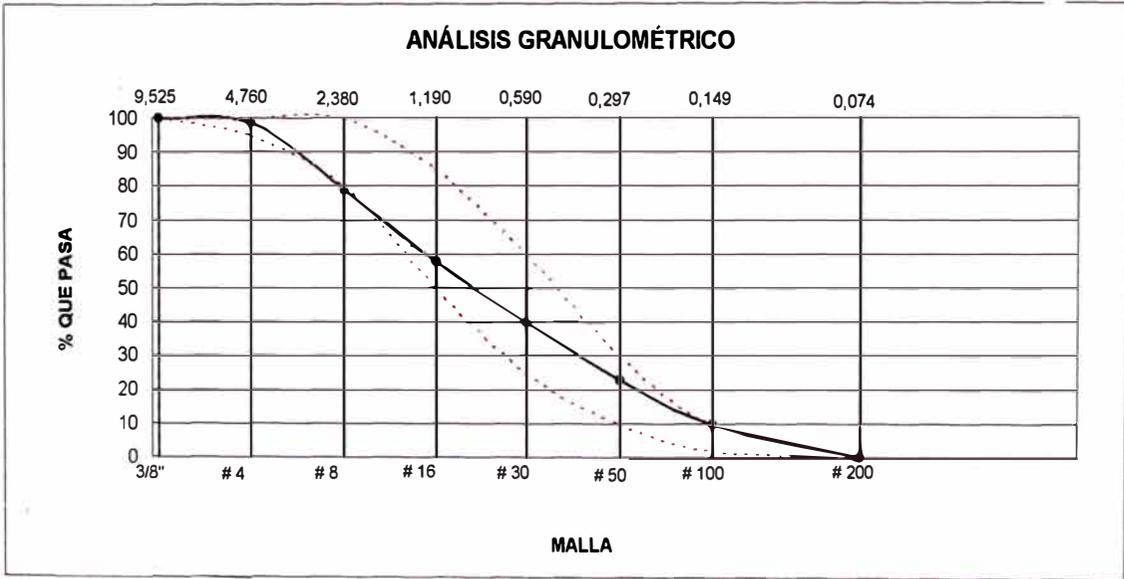
CUADRO N° 9.B.6

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

CANTERA: La Gloria
 MUESTRA: Arena Gruesa

AGREGADO FINO						
Malla	Peso Rete.	% Retiene	% Ret. Acu.	% Pasa	"C" ASTM	"C" ASTM
3/8"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.00	100.00
n° 4	7.67	1.5	1.5	98.5	95.00	100.00
n° 8	96.90	19.4	20.9	79.1	80.00	100.00
n° 16	107.30	21.5	42.4	57.6	50.00	85.00
n° 30	89.43	17.9	60.3	39.7	25.00	60.00
n° 50	83.77	16.8	77.0	23.0	10.00	30.00
n° 100	66.20	13.2	90.3	9.7	2.00	10.00
Fondo	48.73	9.7	100.0	0.0	0.00	0.00
% < Malla N° 200		4.47				

**Módulo de
 Fineza
 2.92**



CUADRO N° 9.B.7**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10 pie ³	gr.	20060	20080	20080
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	6900	6900	6900
Peso de la muestra suelta	gr.	13160	13180	13180
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00943	0.00943	0.00943
Peso Unitario Suelto	(Kg/m ³)	1395.55	1397.67	1397.67
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)		1396.96		

CUADRO N° 9.B.8**PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO**

	Unidad	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra + balde 1/10 pie ³	gr.	22170	22900	22800
Peso del balde 1/10 pie ³	gr.	6900	6900	6900
Peso de la muestra suelta	gr.	15270	16000	15900
Volumen del balde 1/10 pie ³	m ³	0.00943	0.00943	0.00943
Peso Unitario Compactado	(Kg/m ³)	1619.30	1696.71	1686.11
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)		1667.37		

Leyenda:

Agregado Grueso de la Cantera "LA GLORIA"

CUADRO N° 9.B.9

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Und	Muestras		
		M - 1	M - 2	M - 3
Peso de la muestra s.s.s.	gr	2099	1928	2337
Peso de la canastilla en el agua.	gr	1890	1890	1890
Peso de la muestra s.s.s. + Peso de la canastilla en el agua	gr	3237	3125	3387
Peso de la muestra s.s.s. en el agua	gr	1347	1235	1497
Volumen de la muestra	cm3	752	694	840
Peso de la muestra secada al horno.	gr	2083	1916	2321

Peso Específico	gr/cm3	2.77	2.76	2.76
Porcentaje de Absorción	%	0.77	0.63	0.69

Peso Específico : 2.77 gr/cm3
Porcentaje de Absorción : 0.69 %

Leyenda:

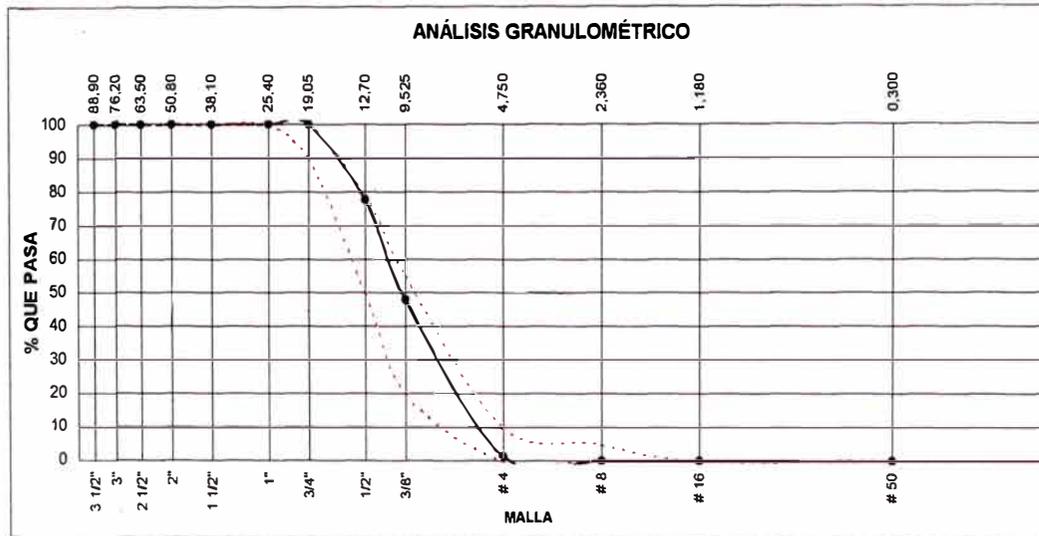
Agregado Grueso de la Cantera "LA GLORIA"

CUADRO N° 9.B.12

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

CANTERA: GLORIA
 MUESTRA: PIEDRA HUSO 67

AGREGADO GRUESO HUSO #						
Malla	Peso Rete.	% Retiene	% Ret. Acu.	% Pasa	"C" ASTM	"C" ASTM
3 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
2 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	0.00	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	0.00	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
1/2"	1114.33	22.3	22.3	77.7	50.0	79.0
3/8"	1484.77	29.7	52.0	48.0	20.0	55.0
# 4	2339.74	48.8	98.8	1.2	0.0	10.0
# 8	57.10	1.1	99.9	0.1	0.0	5.0
# 16	0.00	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
# 50	0.00	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo	4.07	0.1	100.0	0.0	0.0	0.0
% < Malla N° 200		0.51				



ANEXO C

ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

CUADRO 9.C.1

PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

MEZCLA		PESO DEL BALDE + MEZCLA (Kg.)	PESO DEL BALDE (Kg.)	PESO DE LA MEZCLA (Kg.)	VOLUMEN BALDE (m3)	PESO UNITARIO (Kg/m3)
a/mc	DISEÑO					
0.60	Patrón	43.48	9.1	34.38	0.014158	2428.42
	10% ceniza v.	43.41	9.1	34.31	0.014158	2423.12
	15% ceniza v.	43.33	9.1	34.23	0.014158	2417.82
	20% ceniza v.	43.26	9.1	34.16	0.014158	2412.51
	25% ceniza v.	43.18	9.1	34.08	0.014158	2407.21
0.65	Patrón	43.51	9.1	34.41	0.014158	2430.54
	10% ceniza v.	43.48	9.1	34.38	0.014158	2428.42
	15% ceniza v.	43.42	9.1	34.32	0.014158	2424.18
	20% ceniza v.	43.39	9.1	34.29	0.014158	2422.06
	25% ceniza v.	43.35	9.1	34.25	0.014158	2418.88
0.70	Patrón	43.56	9.1	34.46	0.014158	2433.72
	10% ceniza v.	43.48	9.1	34.38	0.014158	2428.42
	15% ceniza v.	43.41	9.1	34.31	0.014158	2423.12
	20% ceniza v.	43.33	9.1	34.23	0.014158	2417.82
	25% ceniza v.	43.26	9.1	34.16	0.014158	2412.51

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.C.2

FLUIDEZ Y CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO

MEZCLA		DIAMETRO PROMEDIO (cm.)	FLUIDEZ (%)	CONSISTENCIA (pulg.)
a/mc	DISEÑO			
0.60	Patrón	45.17	80.67	3 1/2
	10% ceniza v.	43.58	74.33	3 3/4
	15% ceniza v.	44.50	78.00	3 3/4
	20% ceniza v.	44.33	77.33	3 3/4
	25% ceniza v.	38.08	52.33	3 3/4
0.65	Patrón	48.33	93.33	3 1/2
	10% ceniza v.	46.08	84.33	3 3/4
	15% ceniza v.	43.50	74.00	3 3/4
	20% ceniza v.	41.17	64.67	3 3/4
	25% ceniza v.	41.67	66.67	3 3/4
0.70	Patrón	42.92	71.67	3 1/4
	10% ceniza v.	42.75	71.00	3 1/2
	15% ceniza v.	42.25	69.00	3 1/2
	20% ceniza v.	42.17	68.67	3 1/2
	25% ceniza v.	41.67	66.67	3 1/2

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.C.3

CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO

MEZCLA		PESO UNITARIO DISEÑO DE MEZCLA (Kg/m3)	PESO UNITARIO NOMINAL (Kg/m3)	CONTENIDO DE AIRE (%)
a/mc	DISEÑO			
0.60	Patrón	2345.74	2428.42	3.40
	10% ceniza v.	2333.47	2423.12	3.70
	15% ceniza v.	2327.33	2417.82	3.74
	20% ceniza v.	2321.20	2412.15	3.77
	25% ceniza v.	2315.06	2407.21	3.83
0.65	Patrón	2349.07	2430.54	3.35
	10% ceniza v.	2337.96	2428.42	3.73
	15% ceniza v.	2332.41	2424.18	3.79
	20% ceniza v.	2326.86	2422.06	3.93
	25% ceniza v.	2321.31	2418.88	4.03
0.70	Patrón	2349.90	2433.72	3.44
	10% ceniza v.	2339.70	2428.42	3.65
	15% ceniza v.	2334.60	2423.12	3.65
	20% ceniza v.	2329.50	2417.82	3.65
	25% ceniza v.	2324.41	2412.51	3.65

Leyenda:

- Cemento Sol Tipo I
- Arena de Cantera "La Gloria"
- Piedra de Cantera "La Gloria"
- Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.C.4

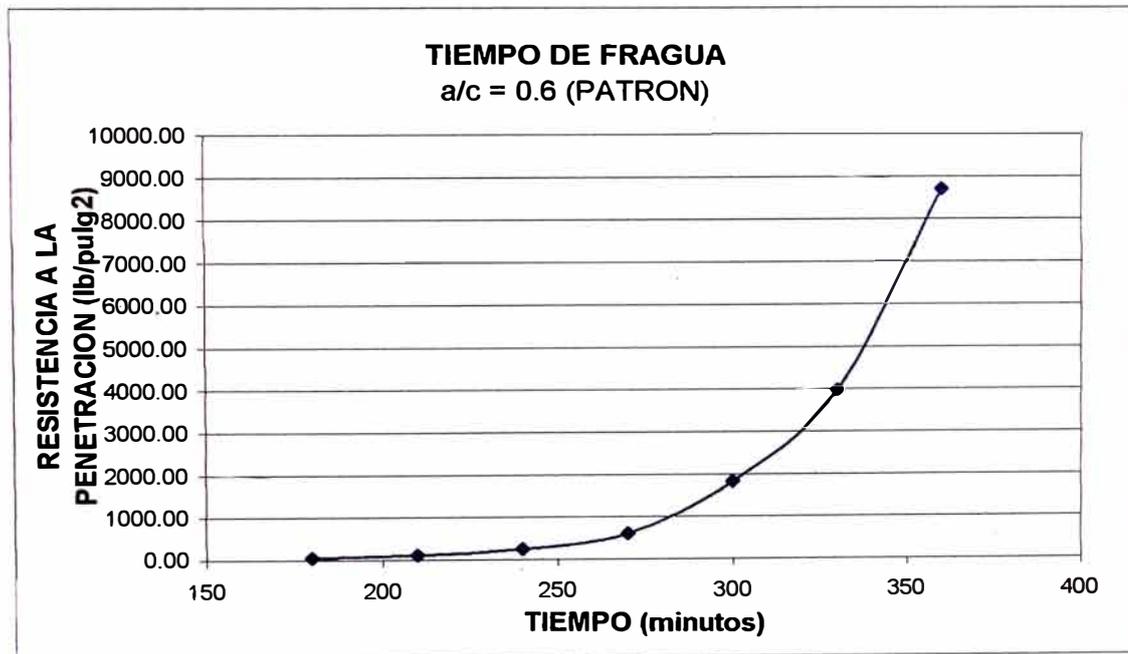
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.6 (PATRON)

Hora de Inicio: 8:30 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:30	180	50	50.30
1 1/8	0.9940	12:00	210	110	110.66
13/16	0.5185	12:30	240	125	241.08
9/16	0.2485	13:00	270	150	603.62
5/16	0.0767	13:30	300	140	1825.29
1/4	0.0491	14:00	330	195	3971.49
3/16	0.0276	14:30	360	240	8695.65

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:21 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 05:30 h:min



CUADRO 9.C.5

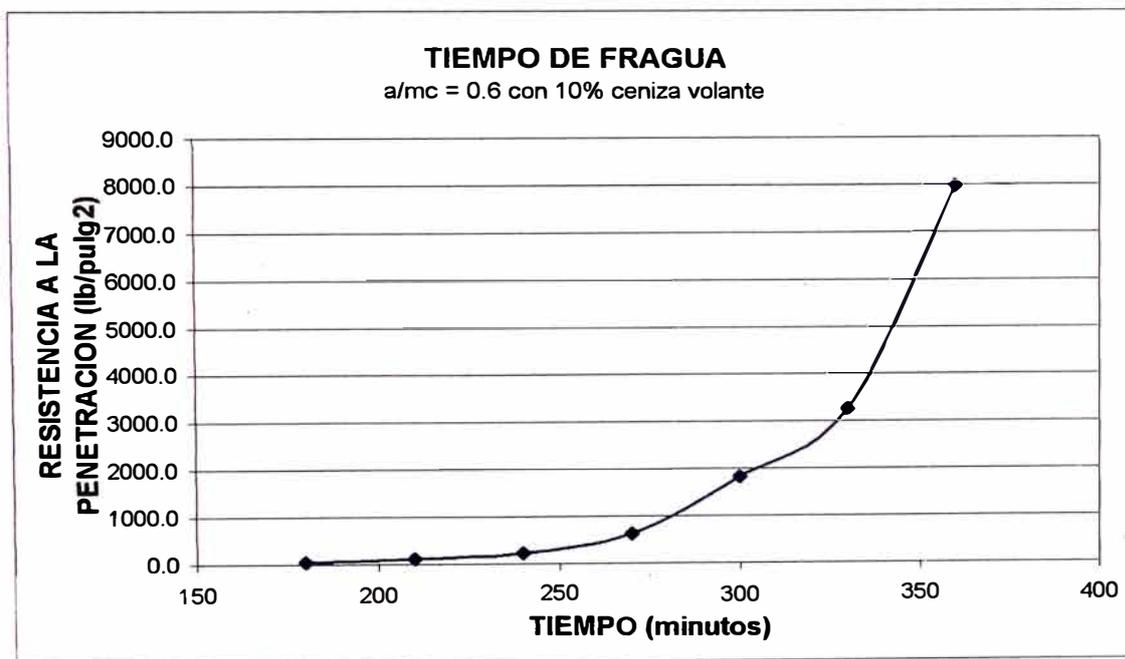
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.6 con 10% ceniza volante

Hora de Inicio: 8:45 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:45	180	45	45.27
1 1/8	0.9940	12:15	210	105	105.63
13/16	0.5185	12:45	240	115	221.79
9/16	0.2485	13:15	270	155	623.74
5/16	0.0767	13:45	300	140	1825.29
1/4	0.0491	14:15	330	160	3258.66
3/16	0.0276	14:45	360	220	7971.01

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:22 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 05:35 h:min



CUADRO 9.C.6

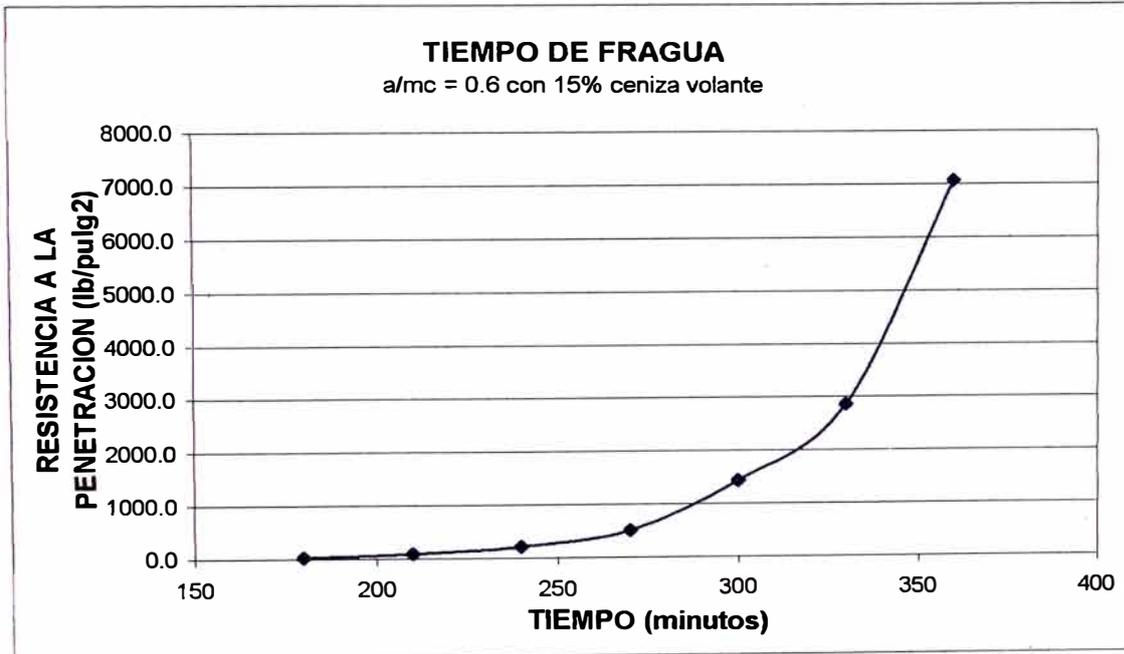
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.6 con 15% ceniza volante

Hora de Inicio: 9:00 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	12:00	180	30	30.18
1 1/8	0.9940	12:30	210	90	90.54
13/16	0.5185	13:00	240	110	212.15
9/16	0.2485	13:30	270	125	503.02
5/16	0.0767	14:00	300	110	1434.16
1/4	0.0491	14:30	330	140	2851.32
3/16	0.0276	15:00	360	195	7065.22

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:25 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 05:38 h:min



CUADRO 9.C.7

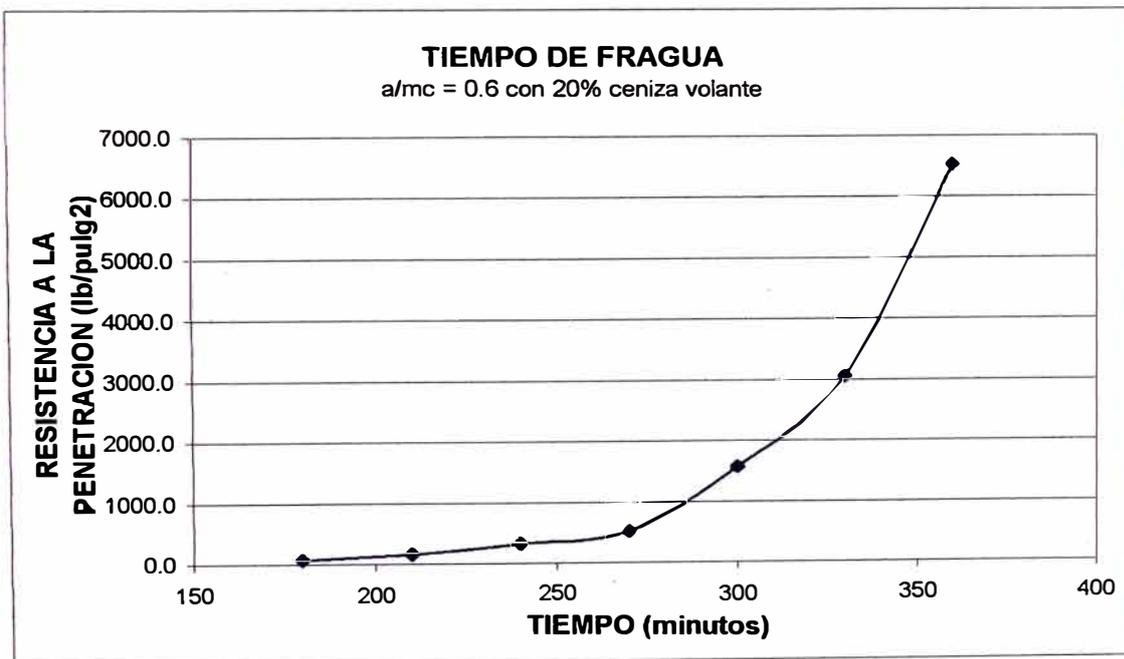
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.6 con 20% ceniza volante

Hora de Inicio: 09:10 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	12:10	180	60	60.36
1 1/8	0.9940	12:40	210	150	150.91
13/16	0.5185	13:10	240	160	308.58
9/16	0.2485	13:40	270	130	523.14
5/16	0.0767	14:10	300	120	1564.54
1/4	0.0491	14:40	330	150	3054.99
3/16	0.0276	15:10	360	180	6521.74

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:27 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 05:41 h:min



CUADRO 9.C.8

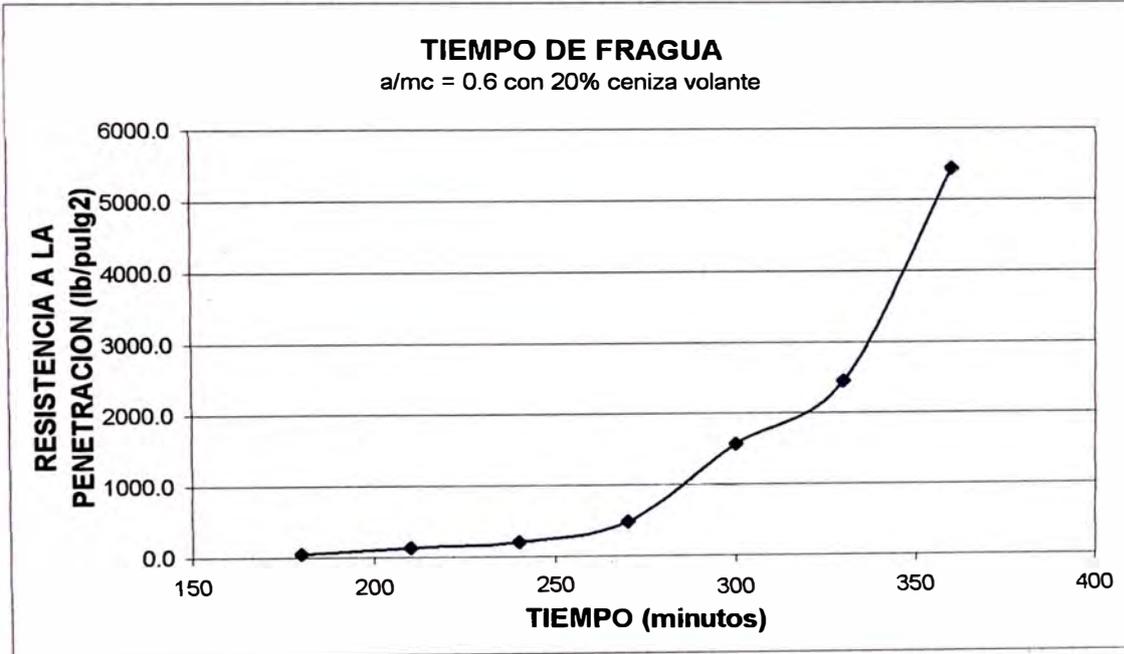
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.6 con 25% ceniza volante

Hora de Inicio: 09:20 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg2)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg2)
1 1/8	0.9940	12:20	180	45	45.27
1 1/8	0.9940	12:50	210	125	125.75
13/16	0.5185	13:20	240	105	202.51
9/16	0.2485	13:50	270	120	482.90
5/16	0.0767	14:20	300	120	1564.54
1/4	0.0491	14:50	330	120	2443.99
3/16	0.0276	15:20	360	150	5434.78

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg2) = 04:30 h:min

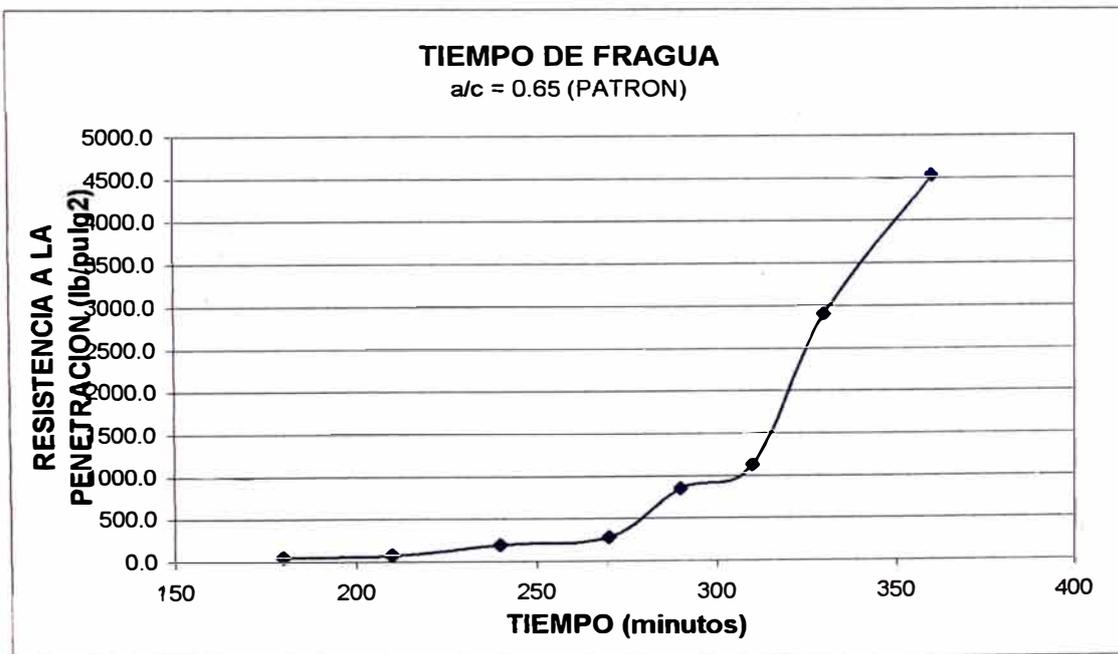
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg2) = 05:45 h:min



CUADRO 9.C.9**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA**
a/mc=0.65 (PATRON)

Hora de Inicio: 8:35 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:35	180	45	45.27
1 1/8	0.9940	12:05	210	70	70.42
13/16	0.5185	12:35	240	100	192.86
9/16	0.2485	13:05	270	70	281.69
5/16	0.0767	13:25	290	65	847.46
1/4	0.0491	13:45	310	55	1120.16
3/16	0.0276	14:05	330	80	2898.55
3/16	0.0276	14:35	360	125	4528.99

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:37 h:minTIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 05:49 h:min

CUADRO 9.C.10

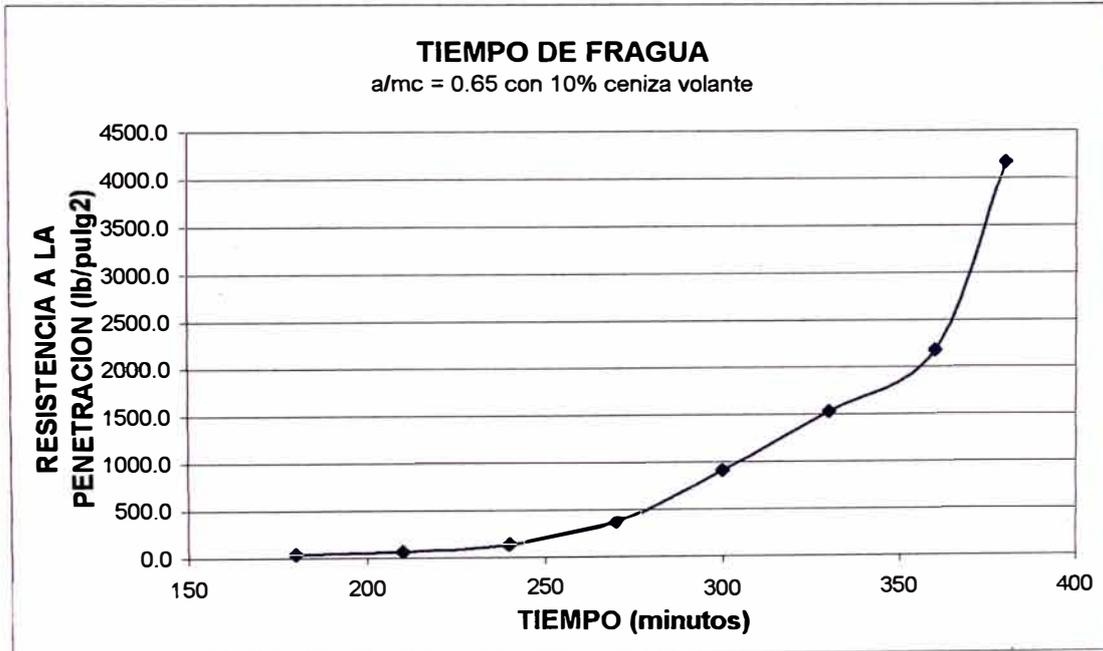
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.65 con 10% ceniza volante

Hora de Inicio: 8:45 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:45	180	35	35.21
1 1/8	0.9940	12:15	210	65	65.39
13/16	0.5185	12:45	240	70	135.00
9/16	0.2485	13:15	270	90	362.17
5/16	0.0767	13:35	300	70	912.65
1/4	0.0491	13:55	330	75	1527.49
3/16	0.0276	14:15	360	60	2173.91
3/16	0.0276	14:35	380	115	4166.67

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:38 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 05:56 h:min



CUADRO 9.C.11

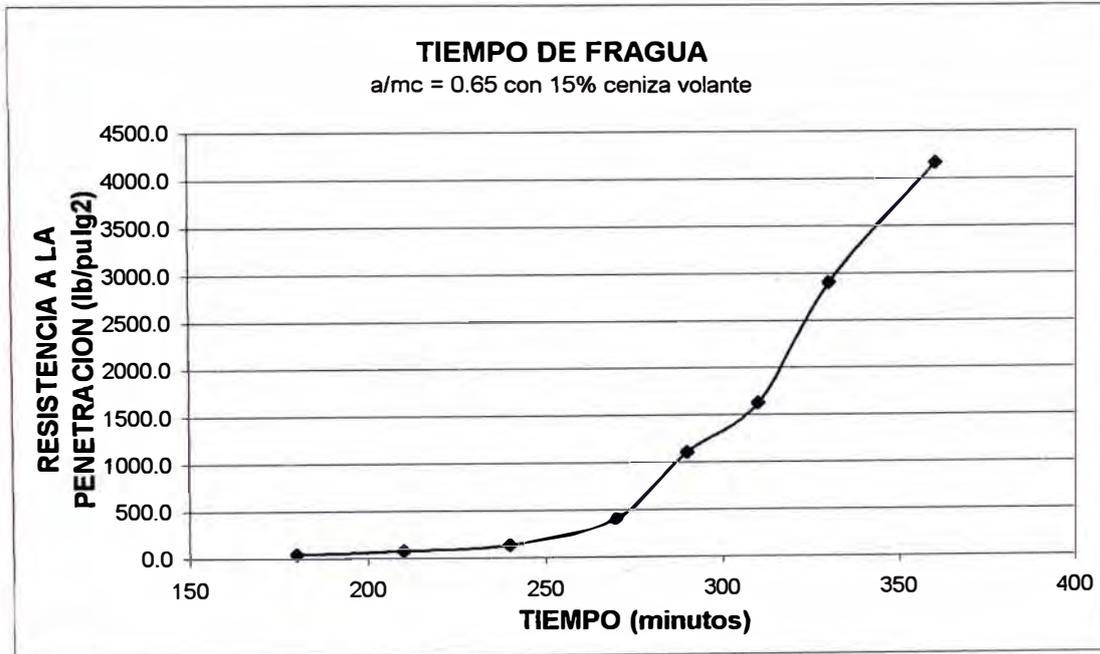
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.65 con 15% ceniza volante

Hora de Inicio: 8:55 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:55	180	40	40.24
1 1/8	0.9940	12:25	210	75	75.45
13/16	0.5185	12:55	240	70	135.00
9/16	0.2485	13:25	270	100	402.41
5/16	0.0767	13:45	290	85	1108.21
1/4	0.0491	14:05	310	80	1629.33
3/16	0.0276	14:25	330	80	2898.55
3/16	0.0276	14:55	360	115	4166.67

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:38 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:00 h:min



CUADRO 9.C.12

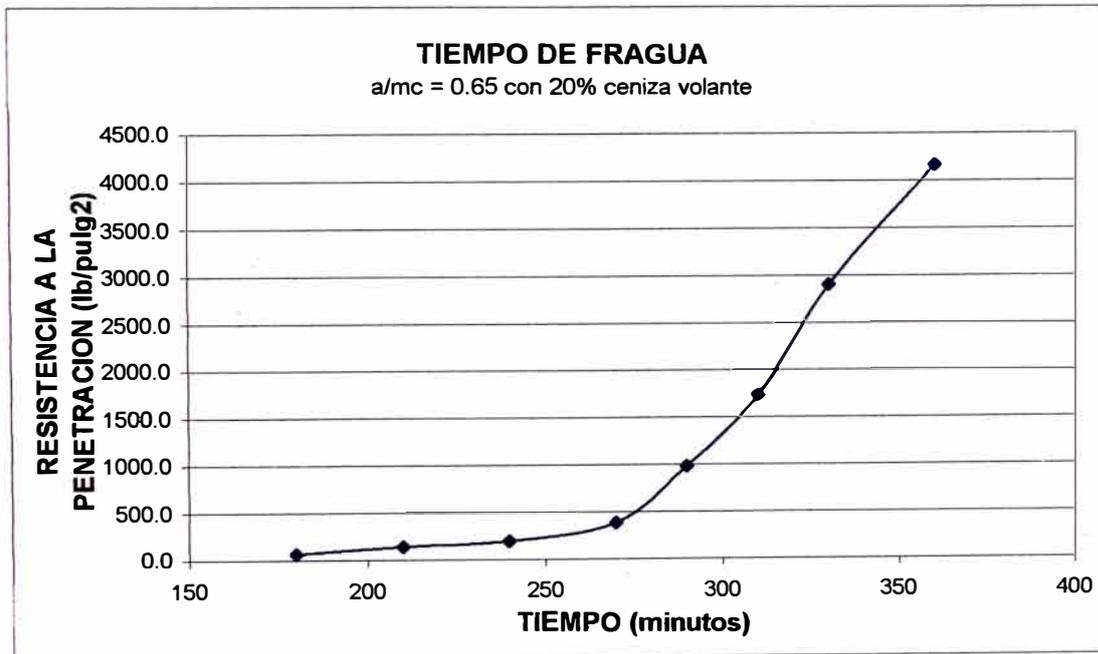
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.65 con 20% ceniza volante

Hora de Inicio: 09:05

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	12:05	180	60	60.36
1 1/8	0.9940	12:35	210	140	140.85
13/16	0.5185	13:05	240	100	192.86
9/16	0.2485	13:35	270	95	382.29
5/16	0.0767	13:55	290	75	977.84
1/4	0.0491	14:15	310	85	1731.16
3/16	0.0276	14:35	330	80	2898.55
3/16	0.0276	14:55	360	115	4166.67

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:39 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:05 h:min



CUADRO 9.C.13

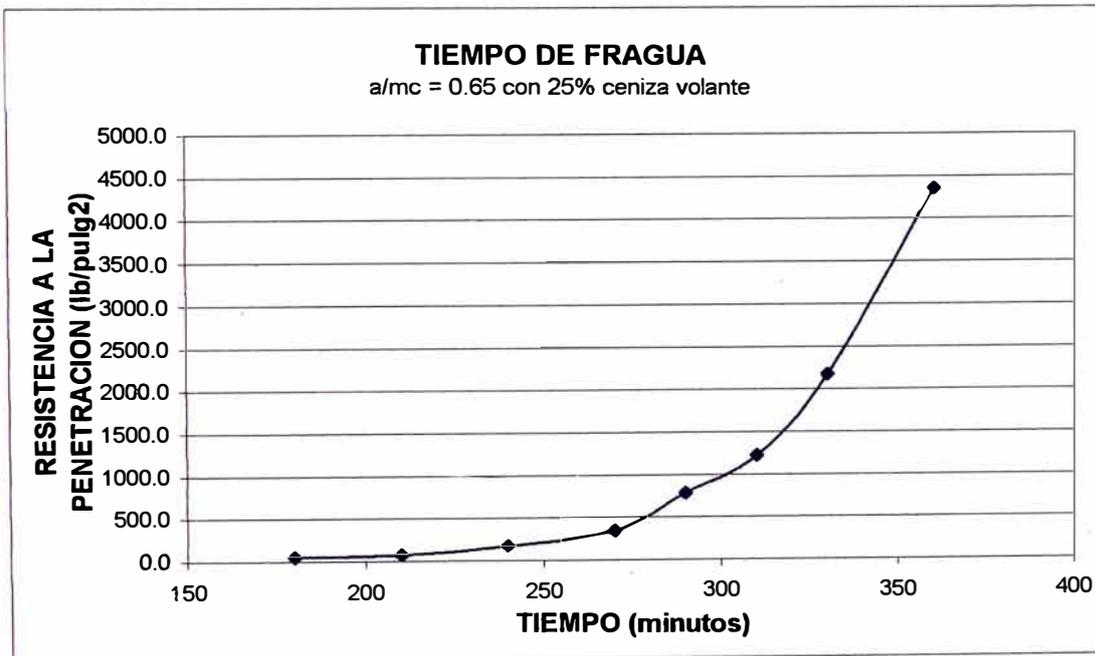
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.65 con 25% ceniza volante

Hora de Inicio: 09:15 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	12:15	180	45	45.27
1 1/8	0.9940	12:45	210	70	70.42
13/16	0.5185	13:15	240	90	173.58
9/16	0.2485	13:45	270	85	342.05
5/16	0.0767	14:05	290	60	782.27
1/4	0.0491	14:25	310	60	1222.00
3/16	0.0276	14:45	330	60	2173.91
3/16	0.0276	15:15	360	120	4347.83

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:39 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:07 h:min



CUADRO 9.C.14

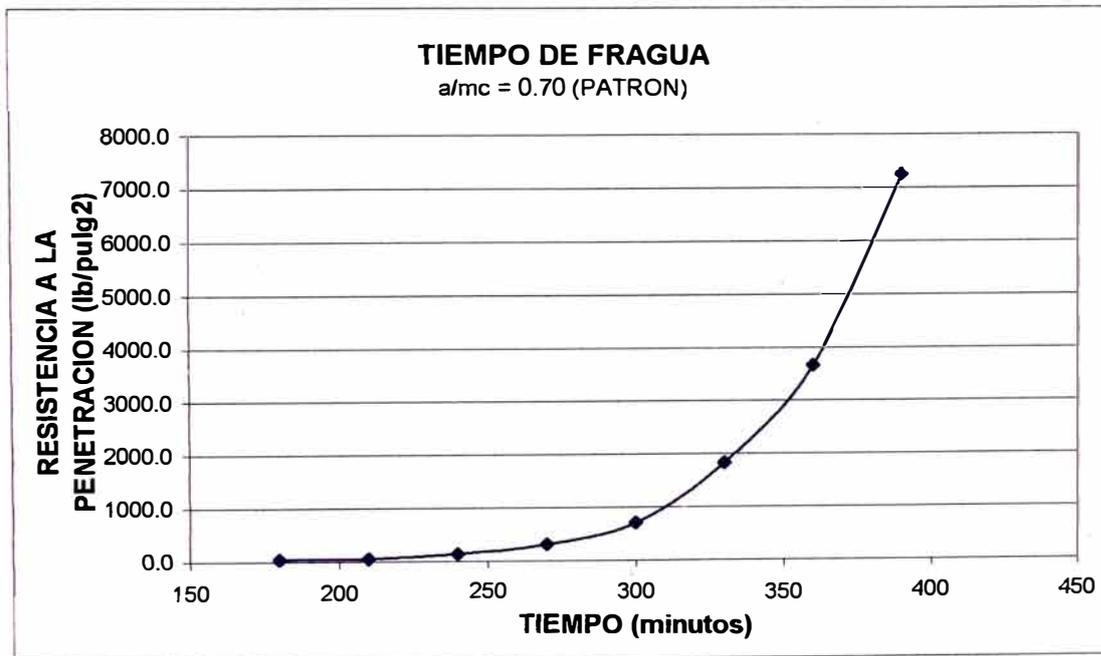
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.70 (PATRON)

Hora de Inicio: 08:15 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:15	180	35	35.21
1 1/8	0.9940	11:45	210	50	50.30
1 1/8	0.9940	12:15	240	130	130.78
13/16	0.5185	12:45	270	160	308.58
9/16	0.2485	13:15	300	175	704.23
5/16	0.0767	13:45	330	140	1825.29
1/4	0.0491	14:15	360	180	3665.99
3/16	0.0276	14:45	390	200	7246.38

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:44 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:04 h:min



CUADRO 9.C.15

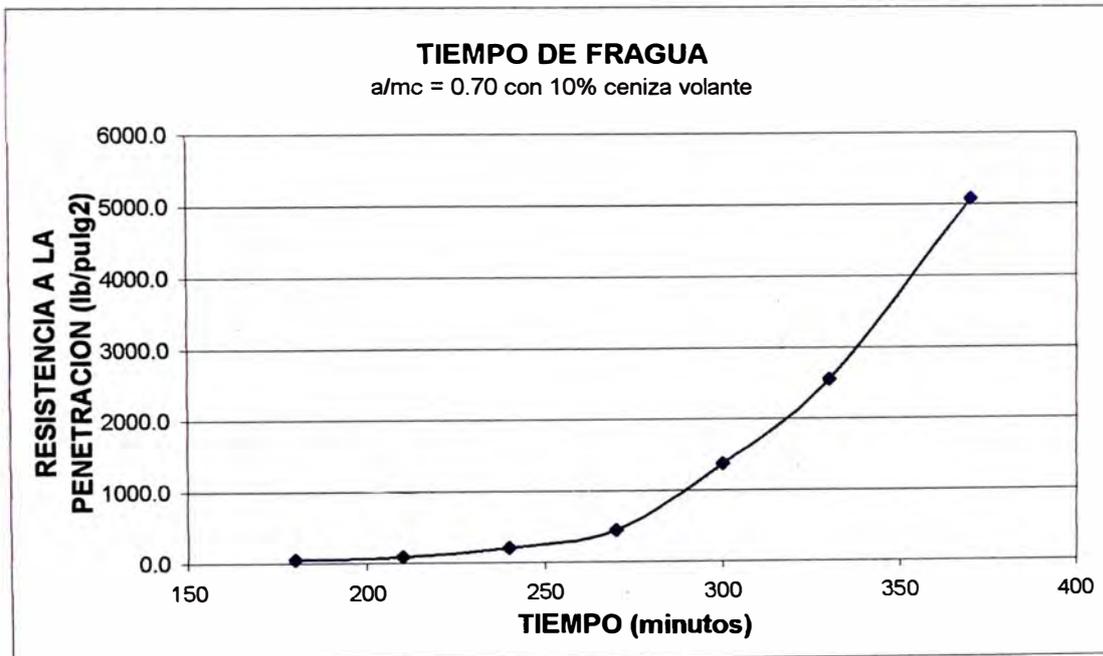
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.70 con 10% de ceniza volante

Hora de Inicio: 08:30 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:30	180	45	45.27
1 1/8	0.9940	12:00	210	85	85.51
13/16	0.5185	12:30	240	105	202.51
9/16	0.2485	13:00	270	110	442.66
5/16	0.0767	13:30	300	105	1368.97
1/4	0.0491	14:00	330	125	2545.82
3/16	0.0276	14:40	370	140	5072.46

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:45 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:04 h:min



CUADRO 9.C.16

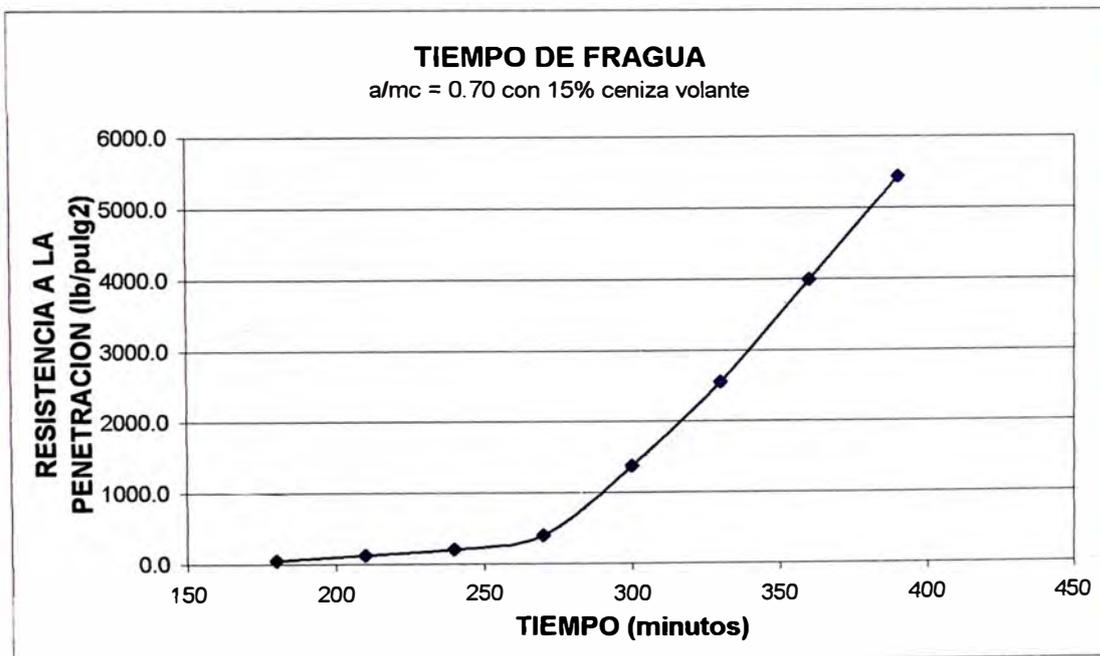
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.70 con 15% de ceniza volante

Hora de Inicio: 08:40 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:40	180	50	50.30
1 1/8	0.9940	12:10	210	120	120.72
13/16	0.5185	12:40	240	105	202.51
9/16	0.2485	13:10	270	100	402.41
5/16	0.0767	13:40	300	105	1368.97
1/4	0.0491	14:10	330	125	2545.82
3/16	0.0276	14:40	360	110	3985.51
3/16	0.0276	14:40	390	150	5434.78

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:47 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:06 h:min



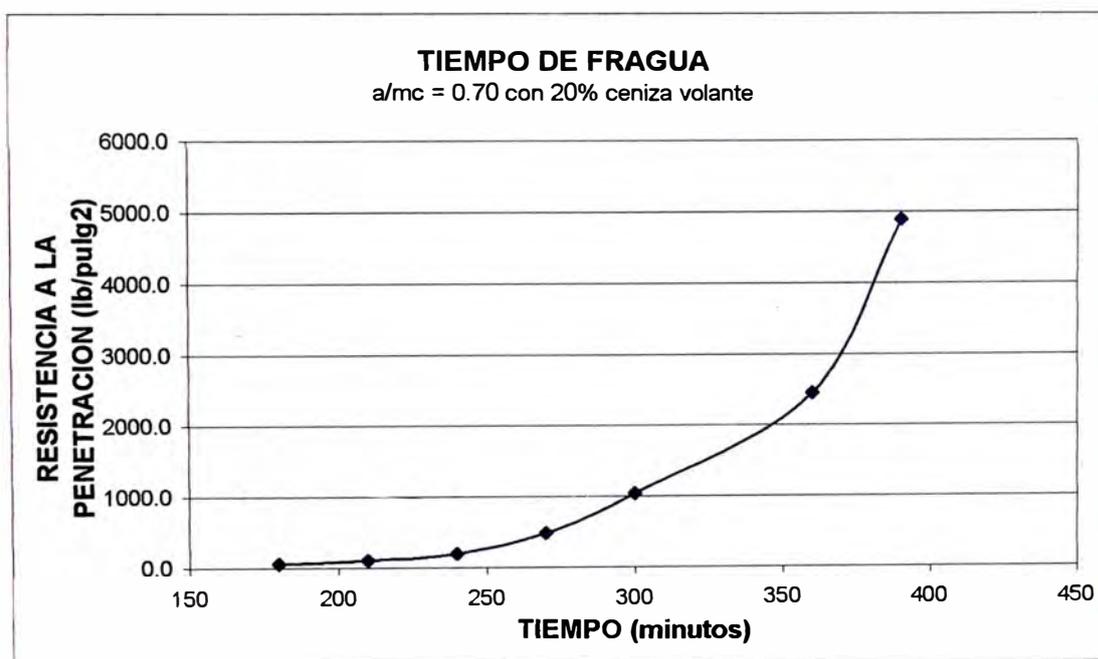
CUADRO 9.C.17

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA

a/mc=0.70 con 20% de ceniza volante

Hora de Inicio: 08:50 a.m.

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	11:50	180	55	55.33
1 1/8	0.9940	12:20	210	100	100.60
13/16	0.5185	12:50	240	100	192.86
9/16	0.2485	13:20	270	120	482.90
5/16	0.0767	13:50	300	80	1043.02
1/4	0.0491	14:50	360	120	2443.99
3/16	0.0276	15:20	390	135	4891.30

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:49 h:minTIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:10 h:min

CUADRO 9.C.18

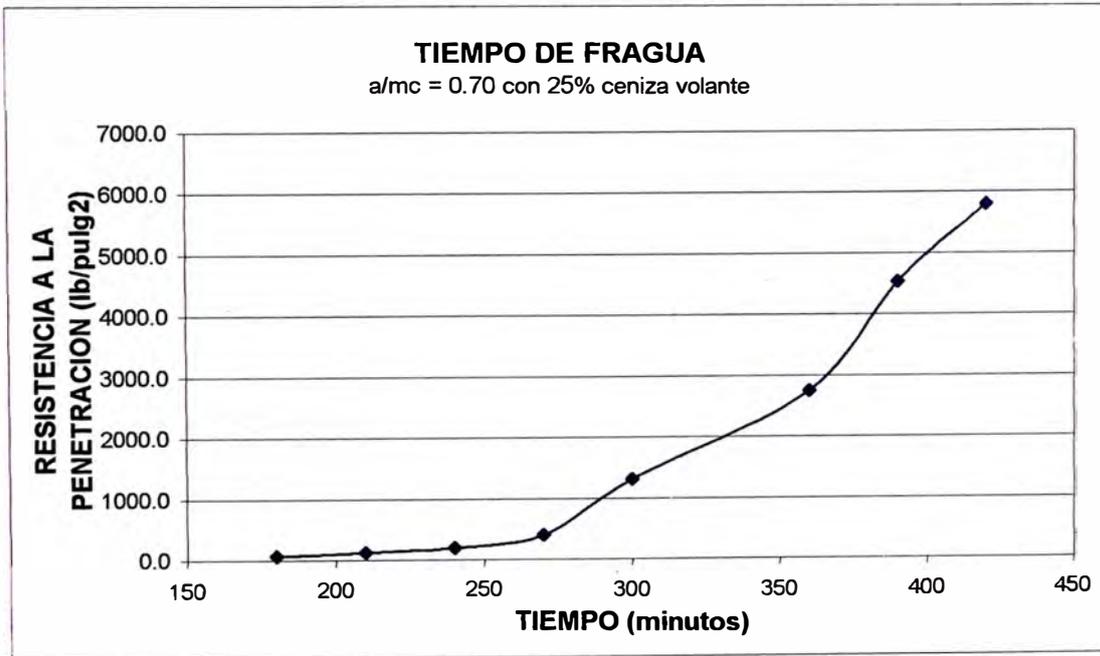
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA
a/mc=0.70 con 25% de ceniza volante

Hora de Inicio: 09:00

DIAM. AGUJA (pulg.)	AREA (pulg ²)	HORA (H:min)	TIEMPO TRANS. (min.)	CARGA (lb.)	PRESION (lb/pulg ²)
1 1/8	0.9940	12:00	180	60	60.36
1 1/8	0.9940	12:30	210	115	115.69
13/16	0.5185	13:00	240	100	192.86
9/16	0.2485	13:30	270	100	402.41
5/16	0.0767	14:00	300	100	1303.78
1/4	0.0491	14:30	360	135	2749.49
3/16	0.0276	15:00	390	125	4528.99
3/16	0.0276	15:30	420	160	5797.10

TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (500 lb/pulg²) = 04:50 h:min

TIEMPO DE FRAGUA FINAL (4000 lb/pulg²) = 06:12 h:min



CUADRO 9.C.19

ENSAYO DE EXUDACION

a/mc=0.60 (PATRON)

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
 Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.46 (w) **EXUDACION PROMEDIO 2.13**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
10:00	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
10:10	00:10	4.6	4.6	0.01711	0.00171	5.0	5.0	0.01709	0.001709
10:20	00:10	1.2	5.8	0.00446	0.00045	0.8	5.8	0.00274	0.000274
10:30	00:10	4.0	9.8	0.01488	0.00149	3.8	9.6	0.01299	0.001299
10:40	00:10	3.4	13.2	0.01265	0.00126	3.4	13.0	0.01162	0.001162
11:20	00:30	5.4	18.6	0.02009	0.00067	5.6	18.6	0.01915	0.000638
11:50	00:30	1.6	20.2	0.00595	0.00020	1.4	20.0	0.00479	0.000160
12:20	00:30	0.2	20.4	0.00074	0.00002	0.2	20.2	0.00068	0.000023
12:50	00:30	0.0	20.4	0.00000	0.00000	0.0	20.2	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	268.8	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.206	0.21
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.734	10.007
Peso del concreto (kg.) (S)	9.528	9.797
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	937.6	964.0
Volumen acumulado (ml.) (D)	20.4	20.2
% de EXUDACION = (D/C)*100	2.176	2.095

CUADRO 9.C.20

ENSAYO DE EXUDACION

a/mc=0.60 con 10% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
 Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.48 (w)

EXUDACION PROMEDIO 1.97

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
10:20	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
10:30	00:10	0.8	0.8	0.00271	0.00027	1.4	1.4	0.00479	0.000479
10:40	00:10	1.4	2.2	0.00474	0.00047	1.6	3.0	0.00547	0.000547
10:50	00:10	4.8	7.0	0.01624	0.00162	5.0	8.0	0.01709	0.001709
11:00	00:10	4.6	11.6	0.01556	0.00156	4.8	12.8	0.01641	0.001641
11:30	00:30	4.0	15.6	0.01353	0.00045	3.2	16.0	0.01094	0.000365
12:00	00:30	2.6	18.2	0.00880	0.00029	2.0	18.0	0.00684	0.000228
12:30	00:30	0.1	18.3	0.00034	0.00001	0.1	18.1	0.00034	0.000011
13:00	00:30	0.0	18.3	0.00000	0.00000	0.0	18.1	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	295.6	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.198	0.195
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.581	9.357
Peso del concreto (kg.) (S)	9.383	9.162
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	930.8	908.9
Volumen acumulado (ml.) (D)	18.3	18.1
% de EXUDACION = (D/C)*100	1.966	1.991

CUADRO 9.C.21

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.60 con 15% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.48 (w) **EXUDACION PROMEDIO 1.81**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
10:50	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
11:00	00:10	2.8	2.8	0.00967	0.00097	3.0	3.0	0.01036	0.001036
11:10	00:10	4.8	7.6	0.01658	0.00166	5.0	8.0	0.01727	0.001727
11:20	00:10	2.4	10.0	0.00829	0.00083	2.6	10.6	0.00898	0.000898
11:30	00:10	2.2	12.2	0.00760	0.00076	2.8	13.4	0.00967	0.000967
12:00	00:30	2.4	14.6	0.00829	0.00028	2.4	15.8	0.00829	0.000276
12:30	00:30	0.1	14.7	0.00035	0.00001	0.3	16.1	0.00104	0.000035
13:00	00:30	0.0	14.7	0.00000	0.00000	0.0	16.1	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	289.53	289.53
Peso del recipiente (kg.)	0.181	0.199
Peso del recipiente + concreto (kg.)	8.3	9.2
Peso del concreto (kg.) (S)	8.119	9.001
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	805.4	892.9
Volumen acumulado (ml.) (D)	14.7	16.1
% de EXUDACION = (D/C)*100	1.825	1.803

CUADRO 9.C.22

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.60 con 20% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.49 (w) **EXUDACION PROMEDIO 1.65**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
11:05	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
11:15	00:10	2.0	2.0	0.00720	0.00072	2.2	2.2	0.00784	0.000784
11:25	00:10	4.2	6.2	0.01513	0.00151	4.6	6.8	0.01640	0.001640
11:35	00:10	3.0	9.2	0.01081	0.00108	3.0	9.8	0.01070	0.001070
11:45	00:10	2.8	12.0	0.01009	0.00101	2.6	12.4	0.00927	0.000927
12:15	00:30	2.8	14.8	0.01009	0.00034	2.0	14.4	0.00713	0.000238
12:45	00:30	0.6	15.4	0.00216	0.00007	0.2	14.6	0.00071	0.000024
13:15	00:30	0.0	15.4	0.00000	0.00000	0.0	14.6	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	277.6	280.5
Peso del recipiente (kg.)	0.177	0.189
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.21	9.28
Peso del concreto (kg.) (S)	9.033	9.091
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	899.7	905.5
Volumen acumulado (ml.) (D)	15.4	14.6
% de EXUDACION = (D/C)*100	1.712	1.612

CUADRO 9.C.23

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.60 con 25% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.49 (w) **EXUDACION PROMEDIO 1.39**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
11:05	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
11:15	00:10	2.0	2.0	0.00728	0.00073	2.0	2.0	0.00720	0.000720
11:25	00:10	2.6	4.6	0.00947	0.00095	2.6	4.6	0.00937	0.000937
11:35	00:10	3.0	7.6	0.01092	0.00109	3.0	7.6	0.01081	0.001081
11:45	00:10	2.8	10.4	0.01020	0.00102	2.2	9.8	0.00793	0.000793
12:15	00:30	2.0	12.4	0.00728	0.00024	1.6	11.4	0.00576	0.000192
12:45	00:30	0.2	12.6	0.00073	0.00002	0.2	11.6	0.00072	0.000024
13:15	00:30	0.0	12.6	0.00000	0.00000	0.0	11.6	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	274.6	277.6
Peso del recipiente (kg.)	0.197	0.202
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.12	8.72
Peso del concreto (kg.) (S)	8.923	8.518
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	888.7	848.4
Volumen acumulado (ml.) (D)	12.6	11.6
% de EXUDACION = (D/C)*100	1.418	1.367

CUADRO 9.C.25

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.65 con 10% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.42 (w) **EXUDACION PROMEDIO 4.41**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
09:15	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
09:25	00:10	2.4	2.4	0.00812	0.00081	2.6	2.6	0.00889	0.000889
09:35	00:10	4.2	6.6	0.01421	0.00142	3.8	6.4	0.01299	0.001299
09:45	00:10	4.8	11.4	0.01624	0.00162	5.0	11.4	0.01709	0.001709
09:55	00:10	5.6	17.0	0.01894	0.00189	5.5	16.9	0.01880	0.001880
10:25	00:30	11.2	28.2	0.03789	0.00126	10.8	27.7	0.03692	0.001231
10:55	00:30	6.0	34.2	0.02030	0.00068	6.0	33.7	0.02051	0.000684
11:25	00:30	3.4	37.6	0.01150	0.00038	3.5	37.2	0.01197	0.000399
11:55	00:30	0.6	38.2	0.00203	0.00007	0.6	37.8	0.00205	0.000068
12:25	00:30	0.0	38.2	0.00000	0.00000	0.0	37.8	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	295.6	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.198	0.195
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.188	9.005
Peso del concreto (kg.) (S)	8.99	8.81
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	870.2	852.8
Volumen acumulado (ml.) (D)	38.2	37.8
% de EXUDACION = (D/C)*100	4.390	4.432

CUADRO 9.C.27

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.65 con 20% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.43 (w) **EXUDACION PROMEDIO 3.51**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
10:00	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
10:10	00:10	3.8	3.8	0.01286	0.00129	4.2	4.2	0.01436	0.001436
10:20	00:10	4.2	8.0	0.01421	0.00142	4.0	8.2	0.01368	0.001368
10:30	00:10	4.0	12.0	0.01353	0.00135	4.6	12.8	0.01573	0.001573
10:40	00:10	4.4	16.4	0.01488	0.00149	5.0	17.8	0.01709	0.001709
11:10	00:30	9.6	26.0	0.03248	0.00108	8.4	26.2	0.02872	0.000957
11:40	00:30	3.6	29.6	0.01218	0.00041	3.6	29.8	0.01231	0.000410
12:10	00:30	0.4	30.0	0.00135	0.00005	0.7	30.5	0.00239	0.000080
12:40	00:30	0.1	30.1	0.00034	0.00001	0.1	30.6	0.00034	0.000011
13:10	00:30	0.0	30.1	0.00000	0.00000	0.0	30.6	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	295.6	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.198	0.195
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.015	9.192
Peso del concreto (kg.) (S)	8.817	8.997
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	857.0	874.5
Volumen acumulado (ml.) (D)	30.1	30.6
% de EXUDACION = (D/C)*100	3.512	3.499

CUADRO 9.C.28

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.65 con 25% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.44 (w) **EXUDACION PROMEDIO 3.48**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
10:10	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
10:20	00:10	3.4	3.4	17.17172	1.71717	3.2	3.2	16.41026	1.641026
10:30	00:10	5.2	8.6	26.26263	2.62626	4.8	8.0	24.61538	2.461538
10:40	00:10	4.9	13.5	24.74747	2.47475	4.6	12.6	23.58974	2.358974
10:50	00:10	5.2	18.7	26.26263	2.62626	5.2	17.8	26.66667	2.666667
11:20	00:30	7.0	25.7	35.35354	1.17845	7.4	25.2	37.94872	1.264957
11:50	00:30	3.8	29.5	19.19192	0.63973	3.6	28.8	18.46154	0.615385
12:20	00:30	0.4	29.9	2.02020	0.06734	0.4	29.2	2.05128	0.068376
12:50	00:30	0.1	30.0	0.50505	0.01684	0.1	29.3	0.51282	0.017094
13:20	00:30	0.0	30.0	0.00000	0.00000	0.0	29.3	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	295.6	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.198	0.195
Peso del recipiente + concreto (kg.)	9.064	8.77
Peso del concreto (kg.) (S)	8.866	8.575
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	865.3	836.9
Volumen acumulado (ml.) (D)	30.0	29.3
% de EXUDACION = (D/C)*100	3.467	3.501

CUADRO 9.C.29

ENSAYO DE EXUDACION

a/mc=0.70 (PATRON)

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
 Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.39 (w) **EXUDACION PROMEDIO 4.33**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
08:50	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
09:00	00:10	4.0	4.0	0.01488	0.00149	3.8	3.8	0.01299	0.001299
09:10	00:10	5.8	9.8	0.02158	0.00216	6.2	10.0	0.02120	0.002120
09:20	00:10	6.8	16.6	0.02530	0.00253	6.6	16.6	0.02256	0.002256
09:30	00:10	7.0	23.6	0.02604	0.00260	6.4	23.0	0.02188	0.002188
10:00	00:30	10.8	34.4	0.04018	0.00134	9.2	32.2	0.03145	0.001048
10:30	00:30	2.4	36.8	0.00893	0.00030	2.6	34.8	0.00889	0.000296
11:00	00:30	0.1	36.9	0.00037	0.00001	1.0	35.8	0.00342	0.000114
11:30	00:30	0.0	36.9	0.00000	0.00000	0.0	35.8	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2) 268.8 292.5
 Peso del recipiente (kg.) 0.206 0.21
 Peso del recipiente + concreto (kg.) 9.116 8.846
 Peso del concreto (kg.) (S) 8.91 8.636
 Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)
C= (w/W)*S*1000 851.8 825.6
 Volumen acumulado (ml.) (D) 36.9 35.8
% de EXUDACION = (D/C)*100 **4.332** **4.336**

CUADRO 9.C.30

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.70 con 10% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.40 (w) **EXUDACION PROMEDIO 3.89**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
09:05	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
09:15	00:10	3.4	3.4	0.01265	0.00126	4.0	4.0	0.01368	0.001368
09:25	00:10	4.8	8.2	0.01786	0.00179	6.0	10.0	0.02051	0.002051
09:35	00:10	5.5	13.7	0.02046	0.00205	5.6	15.6	0.01915	0.001915
09:45	00:10	6.0	19.7	0.02232	0.00223	5.4	21.0	0.01846	0.001846
10:15	00:30	8.4	28.1	0.03125	0.00104	6.4	27.4	0.02188	0.000729
10:45	00:30	3.5	31.6	0.01302	0.00043	3.4	30.8	0.01162	0.000387
11:15	00:30	0.8	32.4	0.00298	0.00010	0.6	31.4	0.00205	0.000068
11:45	00:30	0.0	32.4	0.00000	0.00000	0.0	31.4	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	268.8	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.206	0.21
Peso del recipiente + concreto (kg.)	8.85	8.68
Peso del concreto (kg.) (S)	8.644	8.47
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	829.8	813.1
Volumen acumulado (ml.) (D)	32.4	31.4
% de EXUDACION = (D/C)*100	3.904	3.862

CUADRO 9.C.31

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.70 con 15% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.40 (w) **EXUDACION PROMEDIO 3.84**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
09:20	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
09:30	00:10	5.2	5.2	0.01935	0.00193	5.2	5.2	0.01778	0.001778
09:40	00:10	5.4	10.6	0.02009	0.00201	5.6	10.8	0.01915	0.001915
09:50	00:10	5.8	16.4	0.02158	0.00216	6.0	16.8	0.02051	0.002051
10:00	00:10	6.0	22.4	0.02232	0.00223	6.4	23.2	0.02188	0.002188
10:30	00:30	7.0	29.4	0.02604	0.00087	7.0	30.2	0.02393	0.000798
11:00	00:30	2.2	31.6	0.00818	0.00027	3.0	33.2	0.01026	0.000342
11:30	00:30	0.4	32.0	0.00149	0.00005	0.6	33.8	0.00205	0.000068
12:00	00:30	0.0	32.0	0.00000	0.00000	0.0	33.8	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2)	268.8	292.5
Peso del recipiente (kg.)	0.206	0.21
Peso del recipiente + concreto (kg.)	8.949	9.34
Peso del concreto (kg.) (S)	8.743	9.13
Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)		
C= (w/W)*S*1000	839.3	876.5
Volumen acumulado (ml.) (D)	32.0	33.8
% de EXUDACION = (D/C)*100	3.813	3.856

CUADRO 9.C.32

ENSAYO DE EXUDACION
a/mc=0.70 con 20% ceniza volante

Masa total de la Mezcla (kg.) 25.0 (W)
Masa neta de agua en la Mezcla (kg.) 2.41 (w) **EXUDACION PROMEDIO 3.82**

HORA DE ENSAYO h:min	TIEMPO PARCIAL (h:min) (T)	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T	VOLUMEN PARCIAL (ml.) (B)	VOLUMEN ACUMUL. (ml.) (D)	AGUA EXUDADO (ml/cm2) F=B/A	VELOCIDAD EXUDACION (cm/min) V=F/T
09:40	00:00	0	0.0	0.00000		0	0.0	0.00000	
09:50	00:10	5.0	5.0	0.01860	0.00186	5.2	5.2	0.01778	0.001778
10:00	00:10	5.4	10.4	0.02009	0.00201	5.0	10.2	0.01709	0.001709
10:10	00:10	5.0	15.4	0.01860	0.00186	5.4	15.6	0.01846	0.001846
10:20	00:10	5.0	20.4	0.01860	0.00186	5.4	21.0	0.01846	0.001846
10:50	00:30	6.9	27.3	0.02567	0.00086	6.0	27.0	0.02051	0.000684
11:20	00:30	3.4	30.7	0.01265	0.00042	3.0	30.0	0.01026	0.000342
11:50	00:30	0.2	30.9	0.00074	0.00002	0.6	30.6	0.00205	0.000068
12:20	00:30	0.0	30.9	0.00000	0.00000	0.0	30.6	0.00000	0.000000

Area del recipiente (cm2) 268.8 292.5
 Peso del recipiente (kg.) 0.206 0.21
 Peso del recipiente + concreto (kg.) 8.626 8.51
 Peso del concreto (kg.) (S) 8.42 8.3
 Peso del agua en el recipiente de ensayo (gr.)
 $C = (w/W) * S * 1000$ 811.7 800.1
 Volumen acumulado (ml.) (D) 30.9 30.6
 % de EXUDACION = (D/C)*100 **3.807 3.824**

ANEXO D

ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

CUADRO 9.D.1

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.60 (PATRON)

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.1	179.08	41200	230.07	232.68
	15.1	179.08	41800	233.42	
	14.9	174.37	40900	234.56	
28	14.9	174.37	54500	312.56	308.28
	15.0	176.71	54400	307.84	
	15.0	176.71	53800	304.45	
56	15.0	176.71	55000	311.24	313.20
	15.0	176.71	55300	312.93	
	14.9	174.37	55000	315.43	
90	15.0	176.71	55000	311.24	314.54
	14.9	174.37	55800	320.02	
	15.0	176.71	55200	312.37	
180	15.1	179.08	56500	315.50	316.20
	15.0	176.71	54500	308.41	
	15.1	179.08	58200	325.00	
365	14.9	174.37	53500	306.83	308.26
	15.2	181.46	54200	298.69	
	15.0	176.71	56400	319.16	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.2

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.60 con 10% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.0	176.71	40800	230.88	229.16
	14.9	174.37	39500	226.53	
	15.1	179.08	41200	230.07	
28	14.9	174.37	52700	302.28	307.15
	15.0	176.71	54700	309.64	
	15.0	176.71	54700	309.54	
56	15.0	176.71	58000	328.21	323.46
	15.1	179.08	57800	322.76	
	15.1	179.08	57200	319.41	
90	15.0	176.71	64400	364.43	367.72
	15.1	179.08	65000	362.97	
	15.0	176.71	66400	375.75	
180	15.2	181.46	71200	392.38	399.98
	14.9	174.37	73000	418.66	
	15.3	183.85	71500	388.90	
365	15.1	179.08	72400	404.29	408.65
	15.0	176.71	73100	413.66	
	15.2	181.46	74000	407.81	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.3

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.60 con 15% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.0	176.71	39800	225.22	229.16
	15.1	179.08	40100	223.92	
	14.9	174.37	41600	238.58	
28	14.8	172.03	48800	283.67	277.43
	15.0	176.71	48500	274.45	
	15.1	179.08	49100	274.18	
56	14.9	174.37	55400	317.72	314.80
	15.0	176.71	55000	311.24	
	14.9	174.37	55000	315.43	
90	15.0	176.71	65000	367.83	361.79
	15.0	176.71	62300	352.55	
	15.0	176.71	64500	365.00	
180	15.1	179.08	71200	397.59	402.55
	15.2	181.46	72900	401.75	
	15.0	176.71	72100	408.00	
365	14.9	174.37	72500	415.79	410.20
	15.0	176.71	70500	398.95	
	15.0	176.71	73500	415.93	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.4

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.60 con 20% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.0	176.71	38100	215.60	213.45
	14.9	174.37	37000	212.20	
	15.0	176.71	37500	212.21	
28	15.0	176.71	47400	268.23	265.36
	15.0	176.71	46800	264.83	
	15.1	179.08	47100	263.01	
56	15.0	176.71	55200	312.37	313.97
	14.9	174.37	55500	318.30	
	15.0	176.71	55000	311.24	
90	15.0	176.71	63000	356.51	356.16
	15.1	179.08	63500	354.59	
	15.1	179.08	64000	357.39	
180	15.1	179.08	71000	396.47	394.81
	15.1	179.08	70900	395.92	
	15.1	179.08	70200	392.01	
365	15.0	176.71	72500	410.27	415.65
	15.1	179.08	75100	419.37	
	15.0	176.71	73700	417.06	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.5

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.60 con 25% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.1	179.08	36900	206.05	207.92
	15.2	181.46	38100	209.97	
	14.9	174.37	36200	207.61	
28	15.0	176.71	42000	237.67	240.62
	15.0	176.71	43200	244.46	
	14.9	174.37	41800	239.73	
56	15.0	176.71	52000	294.26	291.05
	15.0	176.71	51000	288.60	
	15.0	176.71	51300	290.30	
90	15.0	176.71	62800	355.38	351.69
	15.1	179.08	63300	353.48	
	15.1	179.08	62000	346.22	
180	15.0	176.71	73100	413.66	405.13
	15.1	179.08	71400	398.71	
	15.1	179.08	72200	403.18	
365	15.2	181.46	78900	434.81	425.30
	15.1	179.08	76500	427.19	
	15.2	181.46	75100	413.87	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.6

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.65 (PATRON)**

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.1	179.08	39500	220.57	210.38
	15.1	179.08	37500	209.41	
	15.2	181.46	36500	201.15	
28	14.9	174.37	46100	264.39	259.59
	15.0	176.71	45800	259.18	
	14.9	174.37	44500	255.21	
56	15.0	176.71	48500	274.45	270.56
	15.1	179.08	50400	281.44	
	15.0	176.71	45200	255.78	
90	15.1	179.08	49100	274.18	277.76
	15.0	176.71	49200	278.42	
	15.0	176.71	49600	280.68	
180	15.0	176.71	48900	276.72	281.06
	15.0	176.71	49500	280.11	
	14.9	174.37	50000	286.75	
365	15.0	176.71	47900	271.06	280.45
	15.1	179.08	49300	275.30	
	14.9	174.37	51500	295.36	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.7

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.65 con 10% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.1	179.08	37800	211.08	206.97
	15.0	176.71	36700	207.68	
	15.0	176.71	35700	202.02	
28	15.0	176.71	47500	268.80	263.43
	15.1	179.08	47200	263.57	
	15.2	181.46	46800	257.91	
56	15.2	181.46	49200	271.14	274.01
	15.0	176.71	48800	276.15	
	15.1	179.08	49200	274.74	
90	15.0	176.71	52900	299.35	304.09
	15.0	176.71	57000	322.55	
	15.1	179.08	52000	290.38	
180	15.0	176.71	63900	361.60	353.95
	15.0	176.71	61700	349.15	
	15.0	176.71	62000	350.85	
365	15.0	176.71	65100	368.39	365.46
	15.2	181.46	67100	369.78	
	15.0	176.71	63300	358.21	

Legenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.8

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.65 con 15% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f _c (kg/cm ²)	f _c PROMEDIO
7	15.0	176.71	35800	202.59	201.19
	14.9	174.37	34500	197.86	
	15.0	176.71	35900	203.15	
28	15.0	176.71	45000	254.65	252.03
	15.1	179.08	45000	251.29	
	15.1	179.08	44800	250.17	
56	15.0	176.71	48100	272.19	270.99
	15.1	179.08	48300	269.71	
	15.0	176.71	47900	271.06	
90	15.0	176.71	53100	300.48	304.43
	15.0	176.71	55500	314.07	
	15.1	179.08	53500	298.75	
180	15.0	176.71	61300	346.89	346.64
	15.2	181.46	63400	349.39	
	14.9	174.37	59900	343.53	
365	15.0	176.71	66100	374.05	370.15
	14.9	174.37	63700	365.32	
	15.1	179.08	66400	370.79	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.9

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
 $a/mc = 0.65$ con 20% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.0	176.71	31200	176.56	174.19
	15.2	181.46	32100	176.90	
	14.9	174.37	29500	169.18	
28	15.1	179.08	43150	240.96	240.05
	15.2	181.46	42800	235.87	
	15.0	176.71	43000	243.33	
56	15.0	176.71	47200	267.10	267.91
	14.9	174.37	46900	268.97	
	15.0	176.71	47300	267.66	
90	15.0	176.71	53900	305.01	300.13
	14.9	174.37	52500	301.09	
	15.1	179.08	52700	294.28	
180	15.0	176.71	63500	359.34	352.66
	15.1	179.08	62300	347.89	
	14.9	174.37	61200	350.99	
365	15.0	176.71	65200	368.96	365.25
	15.0	176.71	64200	363.30	
	14.9	174.37	63400	363.60	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.10

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.65 con 25% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f _c (kg/cm ²)	f _c PROMEDIO
7	15.0	176.71	29600	167.50	165.49
	15.2	181.46	30100	165.88	
	15.1	179.08	29200	163.06	
28	15.0	176.71	40900	231.45	228.73
	15.1	179.08	40800	227.83	
	15.0	176.71	40100	226.92	
56	14.9	174.37	45800	262.67	258.26
	15.0	176.71	45000	254.65	
	15.0	176.71	45500	257.48	
90	15.1	179.08	53800	300.43	299.12
	15.1	179.08	52800	294.84	
	15.1	179.08	54100	302.10	
180	14.8	172.03	58000	337.14	332.45
	15.0	176.71	57200	323.69	
	15.1	179.08	60300	336.72	
365	15.1	179.08	66200	369.67	368.76
	15.0	176.71	65800	372.35	
	14.9	174.37	63500	364.18	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.11

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.70 (PATRON)

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f _c (kg/cm ²)	f _c PROMEDIO
7	15.1	179.08	35200	196.56	201.07
	15.2	181.46	36500	201.15	
	15.1	179.08	36800	205.50	
28	15.2	181.46	42800	235.87	236.88
	15.0	176.71	42300	239.37	
	15.0	176.71	41600	235.41	
56	15.0	176.71	43000	243.33	243.14
	15.0	176.71	43100	243.90	
	15.0	176.71	42800	242.20	
90	15.1	179.08	43500	242.91	245.27
	15.0	176.71	43200	244.46	
	15.0	176.71	43900	248.42	
180	15.0	176.71	45000	254.65	269.90
	15.2	181.46	49300	271.69	
	15.0	176.71	50100	283.51	
365	15.0	176.71	44200	250.12	255.60
	15.1	179.08	47400	264.69	
	15.0	176.71	44500	251.82	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.12

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
 $a/mc = 0.70$ con 10% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.0	176.71	28900	163.54	169.16
	15.1	179.08	31000	173.11	
	14.9	174.37	29800	170.90	
28	15.0	176.71	39800	225.22	223.86
	15.0	176.71	39900	225.79	
	15.1	179.08	39500	220.57	
56	15.1	179.08	44400	247.94	250.34
	15.0	176.71	45100	255.21	
	15.0	176.71	43800	247.86	
90	15.0	176.71	47200	267.10	265.49
	15.1	179.08	46200	257.99	
	15.1	179.08	48600	271.39	
180	15.0	176.71	54800	310.10	313.95
	15.0	176.71	55300	312.93	
	15.1	179.08	57100	318.85	
365	15.0	176.71	60100	340.10	331.23
	15.0	176.71	58800	332.74	
	14.9	174.37	56000	321.16	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.13

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.70 con 15% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f _c (kg/cm ²)	f _c PROMEDIO
7	15.0	176.71	29100	164.67	163.18
	15.2	181.46	30100	165.88	
	15.0	176.71	28100	159.01	
28	15.0	176.71	37200	210.51	210.50
	14.9	174.37	36800	211.05	
	15.0	176.71	37100	209.94	
56	15.0	176.71	43500	246.16	244.60
	15.2	181.46	43700	240.83	
	15.1	179.08	44200	246.82	
90	15.1	179.08	46300	258.55	265.12
	15.1	179.08	48300	269.71	
	15.0	176.71	47200	267.10	
180	15.0	176.71	56600	320.29	319.11
	15.1	179.08	57100	318.85	
	15.0	176.71	56200	318.03	
365	15.0	176.71	59500	336.70	335.86
	15.0	176.71	58900	333.31	
	15.2	181.46	61300	337.82	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.14

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.70 con 20% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	15.1	179.08	27600	154.12	151.02
	15.0	176.71	26800	151.66	
	15.0	176.71	26000	147.13	
28	15.0	176.71	35200	199.19	206.37
	15.0	176.71	37200	210.51	
	15.1	179.08	37500	209.41	
56	15.1	179.08	42000	234.53	235.90
	15.1	179.08	42200	235.65	
	15.2	181.46	43100	237.52	
90	15.0	176.71	47000	265.97	263.55
	15.1	179.08	47400	264.69	
	15.3	183.85	47800	259.99	
180	15.0	176.71	53100	300.48	303.63
	15.1	179.08	54500	304.34	
	14.9	174.37	53400	306.25	
365	15.0	176.71	58000	328.21	327.47
	15.0	176.71	58800	332.74	
	15.1	179.08	57600	321.65	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.15

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION (f_c)
a/mc = 0.70 con 25% ceniza volante

EDAD (Dias)	DIAMETRO (cm.)	AREA (cm ²)	CARGA MAX.	f_c (kg/cm ²)	f_c PROMEDIO
7	14.9	174.37	23400	134.20	134.84
	15.0	176.71	23500	132.98	
	15.0	176.71	24300	137.51	
28	15.2	181.46	31500	173.59	180.21
	15.0	176.71	32200	182.21	
	15.1	179.08	33100	184.84	
56	14.9	174.37	40400	231.70	230.78
	15.0	176.71	40400	228.62	
	15.0	176.71	41000	232.01	
90	15.1	179.08	44900	250.73	259.43
	14.9	174.37	46500	266.68	
	15.0	176.71	46100	260.87	
180	15.0	176.71	52600	297.66	295.89
	15.0	176.71	51400	290.86	
	15.0	176.71	52800	298.79	
365	14.9	174.37	59200	339.52	333.64
	15.1	179.08	58900	328.91	
	15.2	181.46	60300	332.31	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.16

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.60 (28 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.60 PATRON	15.1	30.2	21800	30.43	31.38
	15.1	30.0	23000	32.32	
0.60 con 10%c.v.	14.9	30.2	17500	24.76	25.14
	15.0	30.1	18100	25.52	
0.60 con 15%c.v.	15.0	30.1	17750	25.03	24.92
	15.1	30.0	17650	24.80	
0.60 con 20%c.v.	15.0	30.2	16200	22.77	22.83
	15.1	30.2	16400	22.89	
0.60 con 25%c.v.	15.1	30.2	16000	22.34	22.42
	14.9	30.0	15800	22.50	

Legenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.17

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.60 (56 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.60 PATRON	15.2	30.3	23200	32.07	32.44
	15.1	30.2	23500	32.81	
0.60 con 10%c.v.	15.0	30.2	19200	26.98	27.11
	15.1	30.1	19450	27.24	
0.60 con 15%c.v.	15.0	30.1	21100	29.75	28.35
	15.1	30.2	19300	26.94	
0.60 con 20%c.v.	15.0	30.0	20100	28.44	28.08
	15.1	30.1	19800	27.73	
0.60 con 25%c.v.	15.1	30.3	19100	26.58	27.22
	14.9	30.2	19700	27.87	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.18

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.60 (90 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.60 PATRON	15.1	30.2	24200	33.78	33.24
	15.1	30.3	23500	32.70	
0.60 con 10% c.v.	15.1	30.2	21300	29.74	29.73
	15.2	30.3	21500	29.72	
0.60 con 15% c.v.	15.1	29.9	22100	31.16	30.40
	15.2	30.1	21300	29.64	
0.60 con 20% c.v.	15.1	30.1	22500	31.52	30.40
	15.0	30.0	20700	29.28	
0.60 con 25% c.v.	14.9	30.0	22600	32.19	31.03
	15.1	30.2	21400	29.88	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I

Arena de Cantera "La Gloria"

Piedra de Cantera "La Gloria"

Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.19**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.65 (28 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.65 PATRON	15.1	30.0	16500	23.19	23.58
	15.0	30.1	17000	23.97	
0.65 con 10%c.v.	15.1	30.4	17100	23.72	23.50
	14.9	30.1	16400	23.28	
0.65 con 15%c.v.	14.9	30.2	16700	23.63	23.38
	15.0	30.1	16400	23.12	
0.65 con 20%c.v.	15.1	30.2	16000	22.34	22.38
	14.9	30.1	15800	22.43	
0.65 con 25%c.v.	15.2	30.1	15800	21.99	22.06
	15.0	30.1	15700	22.14	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.20

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.65 (56 días)

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.65 PATRON	15.1	30.2	18100	25.27	25.45
	15.1	30.1	18300	25.63	
0.65 con 10%c.v.	15.0	30.2	17400	24.45	24.59
	15.1	30.0	17600	24.73	
0.65 con 15%c.v.	15.1	30.0	18100	25.44	25.42
	14.9	30.1	17900	25.41	
0.65 con 20%c.v.	15.0	30.0	17300	24.47	24.37
	14.9	30.1	17100	24.27	
0.65 con 25%c.v.	14.9	30.0	17100	24.35	24.05
	15.1	30.0	16900	23.75	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.21

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.65 (90 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.65 PATRON	15.0	30.1	18000	25.38	25.23
	15.1	30.1	17900	25.07	
0.65 con 10%c.v.	15.1	30.0	18700	26.28	26.25
	15.2	30.2	18900	26.21	
0.65 con 15%c.v.	15.1	30.2	18600	25.97	26.15
	15.0	30.3	18800	26.33	
0.65 con 20%c.v.	14.9	30.2	19100	27.02	26.96
	15.1	30.1	19200	26.89	
0.65 con 25%c.v.	15.2	30.2	19500	27.04	26.90
	15.1	30.1	19100	26.75	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.22

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.70 (28 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.70 PATRON	15.1	30.0	17800	25.02	24.41
	15.1	30.1	17000	23.81	
0.70 con 10%c.v.	15.1	30.2	15350	21.43	21.43
	15.0	30.1	15200	21.43	
0.70 con 15%c.v.	15.2	30.2	14750	20.46	20.95
	14.9	30.1	15100	21.43	
0.70 con 20%c.v.	15.0	30.2	14550	20.45	20.23
	14.9	30.1	14100	20.01	
0.70 con 25%c.v.	15.0	30.0	13500	19.10	19.04
	15.1	30.2	13600	18.99	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.23

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.70 (56 días)

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.70 PATRON	15.0	30.0	17900	25.32	24.99
	15.1	30.1	17600	24.65	
0.70 con 10%c.v.	14.9	30.1	17400	24.70	25.10
	15.1	30.1	18200	25.49	
0.70 con 15%c.v.	15.0	29.9	16400	23.28	23.16
	15.1	30.2	16500	23.03	
0.70 con 20%c.v.	15.0	30.0	15600	22.07	22.10
	15.1	30.1	15800	22.13	
0.70 con 25%c.v.	15.0	30.0	15000	21.22	21.08
	15.1	30.0	14900	20.94	

Leyenda:

Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

CUADRO 9.D.24

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCION POR COMPRESION DIAMETRAL
a/mc = 0.70 (90 días)**

RELACION a/mc	DIMENSIONES		CARGA MAX.	RESISTENCIA A	ft PROMEDIO
	D (cm.)	L (cm.)			
0.70 PATRON	14.9	30.0	17200	24.50	24.94
	15.0	30.1	18000	25.38	
0.70 con 10%c.v.	15.1	30.1	18100	25.35	25.68
	15.0	30.2	18500	26.00	
0.70 con 15%c.v.	15.2	30.1	18300	25.46	25.44
	15.0	29.9	17900	25.41	
0.70 con 20%c.v.	15.0	30.1	17500	24.68	25.04
	15.1	30.2	18200	25.41	
0.70 con 25%c.v.	15.0	30.2	17400	24.45	24.68
	15.2	30.1	17900	24.91	

Leyenda:

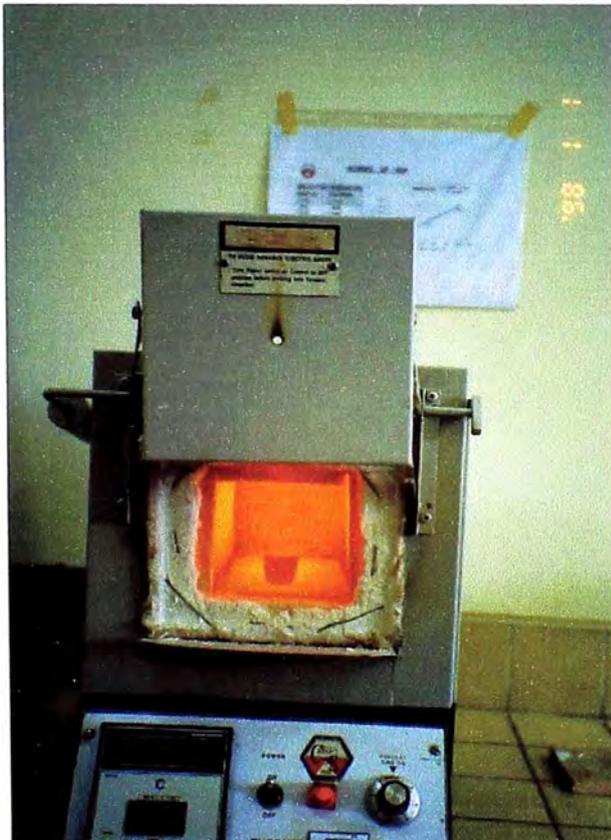
Cemento Sol Tipo I
 Arena de Cantera "La Gloria"
 Piedra de Cantera "La Gloria"
 Ceniza Volante "ENERSUR"

ANEXO E

FOTOGRAFIAS



FOTOGRAFIA N°1.- CENIZA VOLANTE TIPO F A LA IZQUIERDA Y CEMENTO PORTLAND SOL TIPO I A LA DERECHA



FOTOGRAFIA N°2 ENSAYO PERDIDA POR IGNICION



FOTOGRAFIA N°3 ENSAYO
EXPANSION AUTOCLAVE



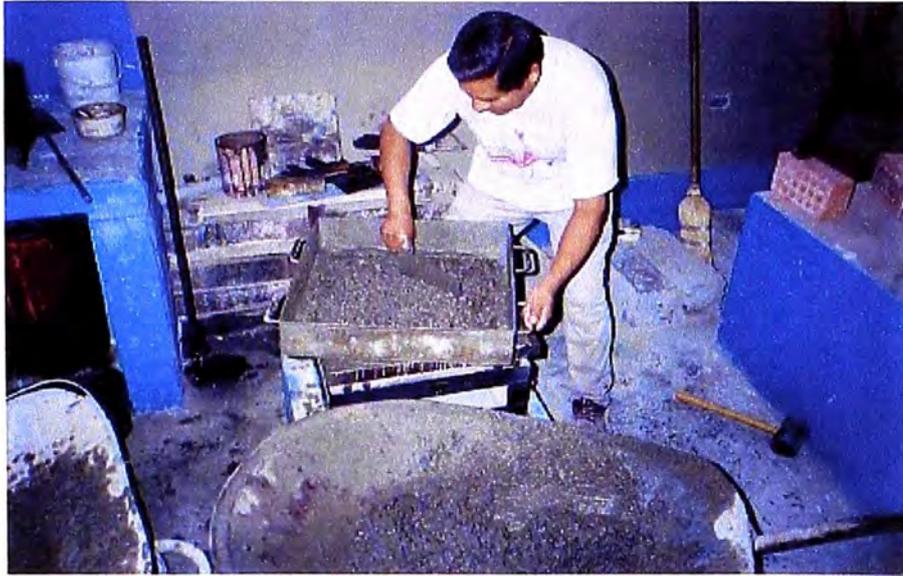
FOTOGRAFIA N°4 DE IZQ. A DER. CONCRETO PATRON, CON 10%, 15%, 20 % Y 25% DE CENIZA
VOLANTE



FOTOGRAFIA N°5 DETERMINACION DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON CENIZA VOLANTE.



FOTOGRAFIA N°6 DETERMINACION DE LA FLUIDEZ DEL CONCRETO CON CENIZA VOLANTE



FOTOGRAFIA N°7 TAMIZADO DEL CONCRETO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUA



FOTOGRAFIA N°8 MOLDES UTILIZADOS PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO CON CENIZA VOLANTE



FOTOGRAFIA N°9 CURADO DE LAS PROBETAS FABRICADAS PARA SER ENSAYADAS A COMPRESION AXIAL Y DIAMETRAL.