

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA
RESISTENCIA EN COMPRESIÓN EN
CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA DEBIDO
AL CURADO EN LABORATORIO Y BAJO
CONDICIONES DE OBRA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

IVAN MANUEL AMARO VICUÑA

ASESORES

Ing. Enrique Rivva López

Ing. Heddy Jiménez Yabar

LIMA – PERU

2002

INDICE

	PAG.
INDICE DE FOTOS	VII
INTRODUCCION	
ANTECEDENTES	1
IMPORTANCIA DE LA TESIS	2
OBJETIVO	3
PRESENTACIÓN	3
MATERIALES	4
PROCEDIMIENTO	5
LUGAR Y COSTO DE REALIZACION	6
CAPITULO I	
CONCEPTOS GENERALES	7
1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	7
1.2 ADITIVOS	7
1.2.1 DEFINICIÓN	7
1.2.2 RAZONES DE EMPLEO	8
1.2.3 PRECAUCIONES EN EL EMPLEO DE ADITIVOS	8
1.3 PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO	9
1.3.1 ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO	9
1.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO	10
1.3.2.1 TRABAJABILIDAD	10
1.3.2.2 SEGREGACIÓN	10
1.3.2.3 EXUDACIÓN	11
1.3.2.4 CONSISTENCIA	12
1.3.2.5 CONTRACCIÓN	12
1.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO	13

1.3.3.1	ELASTICIDAD	13
1.3.3.2	RESISTENCIA	13
1.3.3.3	EXTENSIBILIDAD	14
1.4	PUESTA EN OBRA	15
1.5	CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO	15
1.6	ÁREAS DE APLICACIÓN	15
CAPITULO II		
MATERIALES USADOS Y PROPIEDADES		19
2.1	CEMENTO	19
2.1.1	CEMENTO PORTLAND	19
	a) <i>Silicato Tricálcico</i>	19
	b) <i>Silicato Dicálcico</i>	19
	c) <i>Aluminato Tricálcico</i>	19
	d) <i>Ferroaluminato Tetracálcico</i>	19
2.1.2	CEMENTO PORTLAND TIPO V	22
2.1.3	ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO	22
2.1.4	VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL CEMENTO PORTLAND ANDINO TIPO V DESPUES DE 3 MESES DE ALMACENAMIENTO	23
2.1.5	CERTIFICADO DE CALIDAD DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO ANDINO PORTLAND TIPO V	24
2.2	AGREGADO FINO	26
2.2.1	CONCEPTOS GENERALES	26
2.2.2	CANTERA	26
2.2.3	PROPIEDADES FISICAS	27
	2.2.3.1 GRANULOMETRIA	27
	2.2.3.2 MÓDULO DE FINEZA	27
	2.2.3.3 IMPUREZAS ORGANICAS	28
	2.2.3.4 PESO UNITARIO SUELTO	28
	2.2.3.5 PESO UNITARIO COMPACTADO	29

2.2.3.6	MATERIAL QUE PASA LA MALLA No 200	29
2.2.3.7	PESO ESPECÍFICO	30
2.2.3.8	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	31
2.2.3.9	CONTENIDO DE HUMEDAD	31
2.3	AGREGADO GRUESO	32
2.3.1	CONCEPTOS GENERALES	32
2.3.2	CANTERA	32
2.3.3	PROPIEDADES FÍSICAS	32
2.3.3.1	GRANULOMETRIA	32
2.3.3.2	MÓDULO DE FINEZA	33
2.3.3.3	PESO UNITARIO SUELTO	33
2.3.3.4	PESO UNITARIO COMPACTADO	34
2.3.3.5	PESO ESPECÍFICO	35
2.3.3.6	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	35
2.3.3.7	CONTENIDO DE HUMEDAD	36
2.3.3.8	TAMAÑO MÁXIMO	36
2.4	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	37
2.4.1	RHEOBUILD 1000	37
2.4.1.1	DESCRIPCIÓN	37
2.4.1.2	CARACTERISTICAS Y BENEFICIOS	38
2.4.1.2.1	En el concreto plástico	38
2.4.1.2.2	En el concreto endurecido	38
2.4.1.3	LOS BENEFICIOS	38
2.4.1.4	USOS RECOMENDADOS	39
2.4.1.5	DOSIFICACION	40
2.4.1.6	MODO DE EMPLEO	41
2.4.1.7	TIEMPO DE COLOCACION	41
2.4.1.8	VELOCIDAD DE FRAGUADO	41
2.4.1.9	PRECAUCIÓN	42
2.4.2	COMPORTAMIENTO DEL ADITIVO RHEOBUILD 1000 CON EL CEMENTO PORTLAND TIPO V	42

2.4.2.1	CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000	43
2.4.2.2	EXPANSIÓN AUTOCLAVE DEL CEMENTO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000	46
2.4.2.3	TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000	47
2.4.2.4	ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTERO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000	48
2.5	AGUA	53
2.5.1	CONCEPTOS GENERALES	53
2.5.2	AGUA UTILIZADA	54
CAPITULO III		
DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA		
3.1	CRITERIOS DE DISEÑO	68
3.2	PROPORCIONES DE LOS MATERIALES	69
3.3	DISEÑO DE MEZCLA	71
CAPITULO IV		
PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO		
4.1	MEZCLADO DEL CONCRETO	79
4.2	ENSAYO DE CONSISTENCIA	79
4.3	ENSAYO DE FLUIDEZ	80
4.4	ENSAYO DE EXUDACIÓN	81
4.5	ENSAYO DE PESO UNITARIO	82
4.6	ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO	85
4.7	ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE	88

CAPITULO V

METODOLOGIAS DE CURADO DEL CONCRETO 96

5.1 CURADO EN LABORATORIO 96

5.2 CURADO BAJO CONDICIONES DE OBRA 96

5.2.1 CURADO CON AGUA POR ASPERSIÓN 97

5.2.2 CURADO CON AGUA Y YUTE 98

5.2.3 CURADO CON CURADOR QUÍMICO MASTERKURE 98

5.2.4 CURADO POR EL MEDIO AMBIENTE 99

CAPITULO VI

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO 105

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 105

6.2 MODULO ELÁSTICO 135

CAPITULO VII

ANALISIS DE COSTOS DEL CURADO 138

7.1 COSTO DE FABRICACIÓN DE CONCRETO $a/c = 0.321$ 138

7.2 COSTO DE CURADO DE CONCRETO EN LABORATORIO Y
CONDICIONES DE OBRA $a/c = 0.35$ 139

CAPITULO VIII

CUADROS RESUMEN DE RESULTADOS Y GRAFICOS 142

8.1 CUADROS RESUMEN DE RESULTADOS Y GRAFICOS 142

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 170

RESUMEN GENERAL 170

CONCLUSIONES 183

RECOMENDACIONES 184

BIBLIOGRAFÍA	185
ANEXOS	188
CERTIFICADO DE CALIDAD CEMENTO PORTLAND TIPO I – ANDINO	189
CERTIFICADO DE CALIDAD CEMENTO PORTLAND TIPO II – ANDINO	190
CERTIFICADO DE CALIDAD CEMENTO PORTLAND TIPO V – ANDINO	191
CARACTERISTICAS FISICAS Y GRANULOMETRICAS DE ARENA	192
CARACTERISTICAS FISICAS Y GRANULOMETRICAS DE LA PIEDRA	193
RHEOBUILD 1000	194
MASTERKURE	196

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Existe en nuestro medio poca información disponible sobre estudios de curado para concretos de alta resistencia, tanto a nivel bibliográficamente como también experimentales por parte de tesis; sin embargo se han elaborado estudios sobre concreto de alta resistencia con supeplastificantes como las tesis de: Patricia Morales Alfaro [12], Richard Reymundo Gamarra [14], Rafael Tello Rodríguez [18], entre otros. En el área del curado del concreto se puede mencionar la tesis de Elizabeth Patricia Soto Barra [15].

La calidad del concreto como producto final, además de tomar en cuenta ciertas consideraciones de diseño, calidad del material a usar, etc. dependerá también de un buen curado el cual promueve la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto, dichos procedimientos de curado incluyen el control de temperatura y los movimientos de la humedad desde y hacia el concreto, en consecuencia son un aspecto importante a considerar para garantizar la calidad del concreto a diseñar.

Debido a que las condiciones de curado en obra y laboratorio son diferentes ya sea debido al inadecuado método de curado, falta de un control riguroso, ambiente impropio, exigencia debido al plazo de entrega de obra, tiempo de curado, etc., en consecuencia afectarán no solo la resistencia a la tensión y a la compresión, sino también la durabilidad y obtendremos resultados diferentes para cada caso; por ello es necesario determinar una correlación entre estos valores para saber, en concretos por encima de los 500 Kg/cm^2 , que valor de $f'c$ se tiene realmente en obra en comparación con lo obtenido del laboratorio.

Según los estudios realizados por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, [19] se menciona que,“ En los resultados de laboratorio se han demostrado los

efectos adversos de las altas temperaturas y del curado insuficiente en la resistencia del concreto (Bloem 1954). Las probetas moldeados y curados al aire a 23° C con 60% de humedad relativa y a 38° C con 25% de humedad relativa desarrollaron resistencias de solamente 73 y 62%, respectivamente, del valor obtenido con probetas estándar curadas a 23° C durante 28 días".

De acuerdo con H. Rüschi, [3] "para completar la hidratación de una cantidad dada de cemento se requiere químicamente una cantidad de agua con peso igual a aproximadamente el 25 por ciento del cemento, es decir, una *relación agua cemento de 0.25*. Sin embargo, durante el proceso de hidratación debe estar presente una cantidad adicional de agua para proporcionarle movilidad a agua misma dentro de la pasta de cemento, de manera que ésta puede alcanzar las partículas de cemento y proporcione la manejabilidad necesaria en la mezcla. Para concretos normales la relación agua-cemento varía por lo general en el intervalo 0.40 a 0.60, aunque para los concretos de alta resistencia se han utilizado relaciones tan bajas como 0.25. En este caso, la manejabilidad necesaria se obtiene mediante el uso de aditivos".

IMPORTANCIA DE LA TESIS

Si bien es cierto para concretos normales se recomienda que el curado por lo menos es de los 7 primeros días después de su colocación, la cual garantiza que estamos al orden de un 70% de la resistencia especificada, los concretos de alta resistencia fabricados empleando el aditivo superplastificante Rheobuild 1000, no han sido objeto de estudio en laboratorios de nuestro medio, en consecuencia no hay información acerca del comportamiento del concreto fabricado con este aditivo tanto en estado fresco como en estado endurecido, recomendaciones del número de días de curado, tipo de curado más económico y eficiente en nuestro medio, etc ; además la importancia de esta investigación es determinar que relación de resistencia a la compresión existe entre un concreto de alta resistencia curado en laboratorio y el mismo curado bajo condiciones de obra utilizando el aditivo mencionado, un aditivo superplastificante Rheobuild 1000.

OBJETIVO

El objetivo principal de la presente Tesis es la determinación de coeficientes que relacionen, con materiales usuales y condiciones ambientales de la ciudad de Lima, la resistencia a la compresión de concreto, curado bajo condiciones de laboratorio a edades no menores de 28 días, con la resistencia a la compresión de elementos estructurales curados bajo condiciones de obra. En ambos casos el curado fue por procedimiento húmedo de probetas cilíndricas estándar NTP 339.033. Al no contarse en el laboratorio con disponibilidad de equipo no se utilizó testigos extraídos directamente de elementos estructurales previstos para esta investigación.

PRESENTACIÓN

El concreto es un material en el que constantemente se descubren nuevas propiedades y posibilidades de utilización y se mejora su calidad y comportamiento bajo condiciones de servicio. En la actualidad buena parte de las investigaciones están orientadas a incrementar su resistencia y mejorar su durabilidad, habiéndose logrado en ambos casos resistencias mayores que las deseadas y durabilidad acorde con las condiciones de trabajo a las que va a estar sometida la estructura. El Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería participa a través de las Tesis en estos trabajos de investigación.

Los concretos normales usados en el Perú tienen valores de resistencia a la compresión a los 28 días que varían entre los 210 – 350 kg/cm². El concepto de concretos de alta resistencia se emplea para valores que sobrepasan los 500 kg/cm² para mezclas cuya trabajabilidad, medida indirectamente en el Cono de Abrams, está en el orden de 2° de asentamiento o menores.

El estudio se justifica en buscar, empleando aditivos superplastificantes, una buena relación resistencia/costo, que permitiría obtener estructuras más esbeltas en las que se reduce el peso propio; cimientos con menores cargas; estructuras más altas;

luces mayores; mayor durabilidad; mayor rapidez de construcción. El problema costo corresponde a un análisis que varía para cada país en función del costo de los materiales y de la preparación, puesta en obra y curado del concreto.

En los trabajos efectuados en el LEM se ha logrado obtener valores mayores de 500 kg/cm² para concretos con superplastificantes; y mayores de 1000 kg/cm² para concretos preparados empleando adicionalmente microsílices. En ambos casos sin rotura frágil y carencia de deformaciones plásticas.

En el Perú, actualmente, se desarrollan trabajos dirigidos a obtener resistencias superiores con los materiales propios de la ciudad de Lima. Aún se desconoce la confiabilidad de estos resultados como representativos de los valores reales de la resistencia a la compresión en las estructuras, desconociéndose por lo tanto los coeficientes a aplicar para correlacionar la resistencia de las probetas representativas del concreto curado bajo condiciones de laboratorio y vaciado en obra con la del concreto curado bajo condiciones de obra, cuando se superan las resistencias tradicionales.

Los parámetros a considerar durante la realización de las probetas de concreto, para ser ensayadas en el laboratorio, serán el tiempo de curado en agua a 23 C de temperatura, y bajo las condiciones de obra considerado el curado por aspersión; por recubrimiento con yute; y por exposición de estas a la intemperie en forma complementaria, pero no determinante, el curado aplicando curador químico.

MATERIALES

Cemento

Se utilizó cemento Pórtland ASTM Tipo V, químicamente compatible, según los fabricantes, con el aditivo superplastificante a ser empleado, y que no ha sido objeto de ensayos, en combinación, en laboratorios de nuestro medio.

Agregados

Considerando en papel que desempeña el agregado en la definición de las propiedades del concreto fresco y endurecido, se tuvo especial cuidado en la elección del mismo.

El agregado fino seleccionado está conformado por arena aluvial y coluvial de la Cantera de Jicamarca muy limpia y escasa en finos. Se eligió un módulo de fineza cercano a 3.2 por ser el más adecuado. Dada la sensibilidad de la mezcla al tamaño máximo del agregado, éste no superó la $\frac{1}{2}$ " (12.7mm). El agregado fue triturado a partir de canto rodado, de perfil angular, textura rugosa muy limpio y de buena calidad.

Aditivos

Los superplastificantes son aditivos que permiten la reducción de la relación agua-cemento y tienen, además, un efecto dispersante en las partículas de cemento, lo cual permite una mayor hidratación.

Se empleó un aditivo marca Rheobuild 1000, fabricado por Master Builders Technologies, no investigado a la fecha en el Laboratorio. La dosis de aditivo empleada y la forma de utilizarla fueron en principio las recomendadas por el fabricante, buscándose cohesión en la pasta e incremento de la fluidez.

Agua

El agua empleada en la mezcla, así como la del curado, fue la utilizada como potable en el servicio que abastece al Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI.

PROCEDIMIENTO

- Se efectuó el estudio y análisis de la documentación existente.
- Se estableció, en base del estudio bibliográfico, el plan de ensayo definitivo.
- Se seleccionó los materiales más idóneos.
- Se seleccionó la relación porcentual óptima de los agregados.

- Se definió los porcentajes de aditivo necesarios para la obtención de las resistencias requeridas.
- Se diseñó mezclas para la obtención de resistencias mayores de:

$$f'c_1 = 50 \text{ Mpa}$$

$$f'c_2 = 60 \text{ Mpa}$$

Por cada resistencia se vacearon los cilindros necesarios para curado en laboratorio y bajo condiciones de obra, para roturas a edades de 3, 7, 14, 28 y 42 días.

Se efectuó el estudio comparativo de los resultados.

- Se efectuó el análisis de los resultados y se determinó las conclusiones finales.

LUGAR Y COSTOS DE REALIZACIÓN:

Todo el trabajo práctico de investigación fue desarrollado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los costos de ejecución del proyecto fueron cubiertos por el Tesista. Se solicitó ayuda del personal técnico del LEM.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se obtuvo, para concretos de alta resistencia, coeficientes que relacionan los valores obtenidos de probetas ensayadas a compresión, curadas bajo condiciones de laboratorio según las normas y curadas bajo condiciones de obra, y se clasificó conocimientos y/o parámetros a tomar en cuenta para tener en obra un concreto de la calidad diseñada.

Se verificó las dosificaciones propuestas por los fabricantes y las ventajas que se pueden obtener en el concreto fresco y endurecido.

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El uso del concreto de alta resistencia se va incrementando día a día, ya que su desarrollo ha sido gradual por muchos años. A medida que este ha continuado, la definición de concreto de alta resistencia ha cambiado. En la década de los años 50 el concreto con una resistencia en compresión de 350 kg/cm² fue considerado de alta resistencia.

En la década de los años 60 concretos con resistencia en compresión de 420 kg/cm² a 525 kg/cm² fueron usados comercialmente. Al comienzo de los años 70 concretos de 630 kg/cm² estaban siendo producidos. Hasta la fecha en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería se han fabricado concretos de alta resistencia a compresión de 1200 kg/cm² a los 120 días utilizando aditivos superplastificantes y microsílíce.

1.2 ADITIVOS

1.2.1 DEFINICIÓN

Según el Comité 116R del American Concrete Institute y la Norma ASTM C 125, define al aditivo como “ un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado”. Estos aditivos son utilizados en el mortero o concreto para modificar una o algunas de sus propiedades, con la finalidad de que sean más adecuados al trabajo que se esta realizando, facilitar su colocación, reducir costos de operación,

etc. En el desarrollo de la tesis se utilizó el aditivo reductor de agua de alto rango Rheobuild 1000, para fabricar concreto de alta resistencia.

Los superplastificantes son aditivos que permiten la reducción de la relación agua-cemento, reduciendo significativamente el contenido de agua del concreto en valores del orden del 30% y tienen, además, un efecto dispersante en las partículas de cemento, lo cual permite una mayor hidratación.

Para el desarrollo de la tesis, se fabricó concreto con un aditivo, cuya marca es Rheobuild 1000, fabricado por Master Builders Technologies, que es un aditivo para producir concreto rheoplástico, el cual no ha sido investigado a la fecha en el Laboratorio.

1.2.2 RAZONES DE EMPLEO

Las razones principales del empleo de aditivos superplastificantes son producir concretos con relación agua-cemento (a/c) muy baja, incremento de la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua o disminuir la cantidad de agua sin modificar la trabajabilidad, para producir concretos autocompactantes, autonivelados, concretos fluidos. El objetivo es incrementar la trabajabilidad sin causar la segregación, permitiendo colocar el concreto en secciones con alto contenido de acero de refuerzo. Entre otras aplicaciones adicionales tenemos: colocación en áreas de poca accesibilidad, facilidad de colocación en áreas de paneles, pisos, cimentación de placas, puentes, pavimentos, cubiertas de techos, losas, etc.; bombeo satisfactorio del concreto, producción de concretos de alta resistencia.

1.2.3 PRECAUCIONES EN EL EMPLEO DE ADITIVOS

Los aditivos a utilizar están sujetos a lo indicado en las especificaciones del proyecto o a la aprobación previa de la Supervisión, además

deberán cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.086 o las ASTM C – 494 para aditivos.

Los aditivos deberán utilizarse solamente después de evaluar sus efectos bajo condiciones similares a las de obra, en mezclas preparadas con los materiales a ser usados. Por otro lado el tipo y marca de aditivo elegido se mantendrá durante todo el proyecto.

1.3 PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO

1.3.1 ESTRUCTURA INTERNA DEL CONCRETO

La estructura interna del concreto endurecido, consiste en el aglomerante o estructura básica, constituida por la pasta de cemento, agua y poros, que aglutina a los agregados grueso y fino, estableciendo un comportamiento resistente debido a la gran capacidad de la pasta para adherirse a los agregados y soportar esfuerzos de compresión y tracción.

De acuerdo a las propiedades típicas de los componentes del concreto, el agregado ocupa entre el 62% y 78%, el agua del 15% a 22%, el cemento de 7% a 15% y el aire de 1% a 3%. En consecuencia podemos afirmar que la estructura del concreto no es homogénea, es decir no es isotrópica, por que sus propiedades varían en diferentes direcciones.

Asimismo en la estructura del concreto en estado endurecido existe la presencia de porosidad, la cual se forma debido a que el agua que intervino en la mezcla en estado fresco como lubricante, se evapora o es utilizada para la hidratación del cemento, estos poros o vacíos, son los que al mismo tiempo que modifican la resistencia disminuyéndola, condicionan el comportamiento posterior del concreto para absorber líquidos y su permeabilidad a través de él.

1.3.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

1.3.2.1 TRABAJABILIDAD

La trabajabilidad se define como, a la facilidad con la cual una cantidad determinada de materiales puede ser mezclada para formar el concreto; y este puede ser, para condiciones dadas de obra, manipulado, transportado y colocado con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad.

La trabajabilidad del concreto esta determinada, entre otros factores, por las características, granulometría, y proporción de los agregados fino y grueso, por cuanto dichos factores regulan la cantidad de agua necesaria para producir un concreto trabajable.

Desde hace muchos años el método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido mediante el "Slump", o asentamiento, con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debemos saber que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, ya que podemos obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

1.3.2.2 SEGREGACIÓN

La segregación es definida como la descomposición mecánica del concreto en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero, en consecuencia su distribución ya no es uniforme.

Hay dos formas de segregación. En la primera, las partículas más gruesas tienden a separarse, ya que, en comparación con las finas, se desplazan más en una pendiente o se asientan; la segunda forma, que se da principalmente en mezclas más húmedas, es la separación de la lechada.

La causa principal de segregación en el concreto es la diferencia en el tamaño de partículas (en ocasiones el empleo de agregado grueso cuya gravedad específica difiere apreciablemente de la que tiene el agregado fino y el empleo de agregado grueso cuyo tamaño máximo es grande en relación con las dimensiones del elemento estructural). Estas diferencias pueden controlarse con una gradación adecuada y con un manejo cuidadoso. Asimismo con un método correcto de manejo, transporte y colocación del concreto, la probabilidad de segregación se reduce en gran medida.

1.3.2.3 EXUDACIÓN

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto, debido a la sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. Este proceso se inicia después que el concreto ha sido colocado y consolidado en los encofrados y continua hasta que se inicia el fraguado de la mezcla; y termina cuando la pasta ha endurecido lo suficiente.

La tendencia a la exudación depende del contenido de agua de la mezcla pero también está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de éste y mayor es el porcentaje de material menor que la malla No. 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

1.3.2.4 CONSISTENCIA

Es una propiedad del concreto fresco que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; es decir que cuanto mas húmeda es la mezcla mayor será la facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación.

Debemos tener bien en claro que la consistencia está relacionado pero no es sinónimo de trabajabilidad. La consistencia de una mezcla es función de su contenido de agua y de la granulometría, y las características físicas del agregado, son las que determinan la cantidad de agua necesaria para alcanzar la consistencia deseada. Por ello para un mismo contenido de pasta, el empleo de agregados de perfil esférico tiende a disminuir la consistencia.

En nuestro medio usualmente la consistencia de una mezcla se define por el grado de asentamiento de la misma, correspondiendo los menores asentamientos a la mezclas más secas y los mayores a las consistencias fluidas.

1.3.2.5 CONTRACCIÓN

La contracción es una de las propiedades mas importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia el concreto. Esto es debido a que la pasta de cemento se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible. Asi mismo existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla. Este proceso no es irreversible, ya que si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida.

En consecuencia esta propiedad es muy importante en relación con los cambios volumétricos en el concreto, como sabemos que el concreto de todas maneras se contrae, por ello si no tomamos las medidas adecuadas indefectiblemente se fisura, y en muchos casos esta fisuración es inevitable por lo que sólo nos queda preverla y orientarla.

1.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

1.3.3.1 ELASTICIDAD

Es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. Como sabemos el concreto no es un material elástico, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama Esfuerzo vs Deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “Módulo de Elasticidad Estático” del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un porcentaje de la tensión última.

Los módulos de Elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 kg/cm² y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y por ende la relación agua/cemento (a/c); por otro lado, el módulo de elasticidad aumenta más rápidamente que la resistencia. Conceptualmente, las mezclas mas ricas tienen Módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

1.3.3.2 RESISTENCIA

Abrams en 1918, indicó que en un conjunto dado de materiales y condiciones de trabajo, el factor determinante de la resistencia era la relación agua – cemento de diseño, en la que se excluye el agua absorbida por el agregado.

El norteamericano Gilkey y Walker posteriormente demostraron que la resistencia del concreto es función de cuatro factores:

- Relación agua – cemento.
- Relación cemento – agregado.
- Granulometría, perfil, textura superficial, resistencia y dureza del agregado.
- Tamaño máximo del agregado.

Este concepto se ha complementado por Powers con las teorías sobre grado de hidratación, relación gel – espacio y resistencia por adherencia pasta – agregado.

Esta propiedad de resistencia es la más importante del concreto en estado endurecido, ya que el concreto tiene la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción o tensión.

Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 kg/cm², habiéndose logrado optimizaciones de diseño sin aditivos que han permitido obtener resistencias del orden de 600 kg/cm². El empleo de las llamadas microsiles, constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permite obtener resistencias en compresión superiores a los 1,200 kg/cm².

1.3.3.3 EXTENSIBILIDAD

La propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse se conoce como extensibilidad. Esta se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones. La extensibilidad depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico (parcialmente recuperable), constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

1.4 PUESTA EN OBRA

El concreto puede ser transportado por diversos equipos y métodos, todos ellos deben prevenir la segregación y pérdida de materiales garantizando una calidad del concreto. Por otro lado, cuando se coloca el concreto deberá preverse capacidad de colocación, mezclado, y transporte, de manera que este pueda mantenerse plástico y evitar la segregación durante la colocación del mismo.

Inmediatamente después de colocado el concreto, éste deberá ser consolidado hasta alcanzar la máxima densidad, lograr una masa uniforme y adecuada colocación en los encofrados, alrededor del refuerzo y elementos embebidos. Esta consolidación deberá iniciarse tan pronto el concreto sea colocado, es decir antes de que el concreto inicie el fraguado final.

1.5 CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

Para fabricar un buen concreto de calidad y económico es necesario hacer un buen control en la selección de los materiales y de las proporciones de la unidad cúbica de concreto; y de la supervisión de los procesos de puesta en obra y acabado. Para garantizar la calidad de los materiales usados y la del producto final que es el concreto en estado endurecido, es necesaria la realización de ensayos en todas la etapas de su fabricación desde la selección de material, dosificación de la mezcla, colocación del concreto, curado y puesta en servicio.

La calidad del concreto como producto final, además de tomar en cuenta ciertas consideraciones de diseño, calidad del material a usar, dependerá también de un buen curado el cual promueve la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto, dichos procedimientos de curado son el control de temperatura y los movimientos de la humedad desde y hacia el concreto, en consecuencia es un aspecto importante a considerar para garantizar la calidad del concreto a diseñar.

Un buen concreto radica en el como hacerlo, ya que un mal concreto al igual que uno de calidad es preparado con cemento, agregados y agua. En consecuencia se recomendaría hacer uso de manuales de procedimientos de control de calidad en las diversas etapas de fabricación del concreto, solo así se garantiza la fabricación de un buen concreto.

1.6 ÁREAS DE APLICACIÓN

Los concretos de alta resistencia, producidos con solo adiciones de aditivos reductores de agua de alto rango o combinados con microsílíce, son aplicados para la construcción de estructuras más esbeltas en las que se reduce el peso propio; en consecuencia se reducen la cantidad de acero y el área de las columnas; cimientos con menores cargas; estructuras más altas; luces mayores; mayor durabilidad; mayor rapidez de construcción, en consecuencia una buena relación beneficio/costo.

Estos beneficios compensan el mayor costo en el control de calidad y el mayor costo de los materiales. La utilización de concretos de alta resistencia en la construcción de puentes, losas, vigas, etc. es recomendable, siendo la ventaja más importante en losas al permitir la reducción de la carga muerta y una rápida remoción de los encofrados, tanto por el alto modulo de elasticidad como por el bajo escurrimiento plástico de este tipo de concreto.

Si bien es cierto que en nuestro medio se usan pilotes de concreto para la construcción de muelles, este es uno de los campos importantes de aplicación de concretos de alta resistencia fabricados con cemento Pórtland tipo V ya que estos estarán expuestos a aguas marinas y en muchos casos a la abrasión producida por la arena y piedras del mar. Asimismo el uso de concretos de alta resistencia es recomendado en zonas donde el concreto estará expuesto a suelos con alto contenido de sulfatos, en cimentaciones de maquinas, represas, muros de contención, aeropuertos, etc.

Por ello en nuestro medio en el sector construcción la competitividad y eficiencia también dependerá de quienes utilicen los recursos adecuadamente para producir concretos de alta resistencia, económicos y de calidad que satisfagan las necesidades del cliente.

Según el Capítulo 4 de los Requisitos de Construcción de la Norma E – 060, el concreto que va estar expuesto a la acción de soluciones que contienen sulfatos, deberá cumplir con los requisitos indicados en la Tabla siguiente.

TABLA 1.6.1

CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES DE SULFATOS

Exposición a Sulfatos	Sulfato soluble en agua, presente en el suelo como SO ₄ (*) %en peso	Sulfato en Agua p.p.m.	Cemento Tipo	Relación Agua/Cem. Máxima (*)
Despreciable	0.00 - 0.10	0 - 150	(****)	(****)
Moderado (**)	0.10 - 0.20	150 - 1500	II	0.50
Severo	0.20 - 2.00	1500 - 10000	V	0.45
Muy severo	Sobre 2.00	Sobre 10000	(***) V mas Puzolana	0.45

(*) Una relación a/c menor puede ser necesaria por razones de impermeabilidad.

(**) Agua de mar

- (***) Debe haberse comprobado que la puzolana es adecuada para mejorar la resistencia del concreto a la acción de los sulfatos, cuando ella es empleada en concretos que contienen cemento Pórtland tipo V.
- (****) Para este tipo de exposición no hay limitaciones.

CAPITULO II

MATERIALES USADOS Y PROPIEDADES

2.1 CEMENTO

2.1.1 CEMENTO PORTLAND

El clinker de cemento Portland es producto de la fusión (proceso de clinkerización) de partículas finamente molidas tales como Cal (CaO); Sílice (SiO₂); Alúmina (Al₂O₃) y Oxido de fierro (Fe₂O₃); y el producto obtenido de pulverización del clinker con la adición eventual de sulfato de calcio o yeso es el que conocemos como Cemento Portland. Después de la formación del clinker y la molienda final , se obtienen los compuestos tales como:

a) *Silicato Tricálcico* ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C3S}$)

El cual define la resistencia inicial en la primera semana y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.

b) *Silicato Dicálcico* ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C2S}$)

Tiene menor incidencia en el calor de hidratación y es el que define la resistencia a largo plazo.

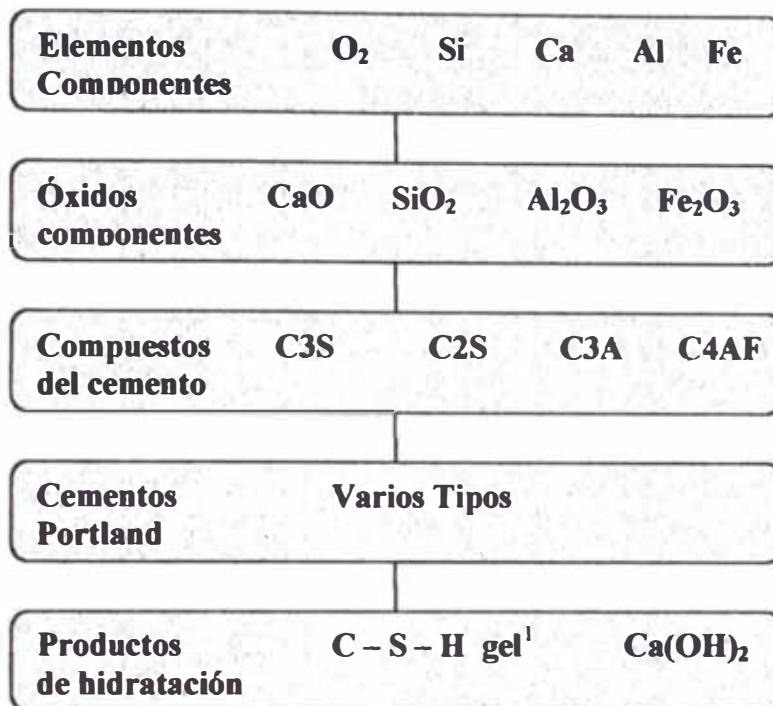
c) *Aluminato Tricálcico* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C3A}$)

Es el que condiciona el tiempo de fraguado violento actuando como catalizador, por ello es necesario añadir yeso de 3% al 6% en el proceso de fabricación, esto dependiendo el tipo de cemento a fabricar para controlar su tiempo de fraguado.

d) *Ferroaluminato Tetracálcico* ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C4AF}$)

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 2.1.1.1
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA FORMACIÓN E HIDRATACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.



Asimismo el C3A es el que condiciona la resistencia a los sulfatos ya que cuando reacciona con éstos produce Sulfoaluminatos que son expansivos y en consecuencia es perjudicial para el concreto. Todos estos compuestos son los que definen el comportamiento del cemento hidratado.

Al disminuir las proporciones de C3A y C3S, el calor de hidratación del cemento se reducirá, esto se puede apreciar en la Tabla 2.1.1.2. La finura del cemento afecta el índice de incremento de calor, pero no la cantidad total de calor liberada, que puede ser controlada por la cantidad de cemento (riqueza) en la mezcla del concreto.

¹ Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.

TABLA 2.1.1.2

FASES MINERALÓGICAS SEGÚN BOGUE

COMPUESTO	UND	CEMENTO PORTLAND TIPO I	CEMENTO PORTLAND TIPO II	CEMENTO PORTLAND TIPO V
SILICATO TRICÁLCICO (C3S)	%	56.39	48.55	54.75
SILICATO DICÁLCICO (C2S)	%	18.45	25.00	21.61
ALUMINATO TRICÁLCICO (C3A)	%	7.06	6.84	2.28
FERROALUMINATO TETRACÁLCICO (C4AF)	%	10.04	10.85	13.52

Estos datos fueron obtenidos del Certificado de Control de Calidad de la Producción de la segunda quincena de Noviembre, fecha en que se fabricó el cemento usado para el desarrollo de la presente investigación.

Por otro lado 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.

"En los cementos comerciales, los silicatos de calcio contienen pequeñas impurezas de algunos de los óxidos presentes en las escorias. Estas impurezas tienen un poderoso efecto en las propiedades de los silicatos hidratados. El C3S "impuro" se conoce como alita y el C2S "impuro" se conoce como belita." ²

² A. M. Neville y J. J. Brooks; "Tecnología del Concreto", Capítulo II, Pag. 17.

2.1.2 CEMENTO PORTLAND TIPO V

El cemento usado en el desarrollo de la tesis para la fabricación de concreto de alta resistencia fue Cemento Pórtland Tipo V, producido en la fabrica de Cemento Andino ubicada en Condorcocha, Distrito La Unión Leticia, Provincia de Tarma, Departamento de Junín en Perú. Este cemento esta sujeto a la norma técnica norteamericana ASTM C 150, la norma peruana NTP 334.009: 1997 y la norma NTE. E.060.89 que forma parte del Reglamento Nacional de Construcciones, el cual se comercializa en bolsas de papel (3 pliegos) de 42.5 Kg , de color azul.

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Construcciones, el cemento tipo V se utiliza en condiciones de exposición severa, en el orden de 1500 a 10000 p.p.m., de los sulfatos solubles en agua; en consecuencia el cemento Portland ASTM tipo V, es recomendado en todas las obras de concreto en las que se requiera una elevada resistencia a la acción de los sulfatos. Otras características importantes son que el cemento Andino tipo V proporciona bajo calor de hidratación y tiene muy bajo contenido de C3A.

2.1.3 ALMACENAMIENTO DEL CEMENTO

El comportamiento de un cemento en el concreto puede ser afectado por las condiciones bajo las cuales el cemento es almacenado y por su manejo durante la entrega. Todo cemento puede ser almacenado por tiempo indefinido siempre que él esté protegido de la humedad, incluida la del aire, este tipo de almacenamientos se dan por lo general en los silos grandes.

El tiempo de almacenamiento en sacos de papel de 2 y 3 pliegos es mucho más limitado, especialmente en climas húmedos o bajo condiciones de ambiente, el cemento puede llenarse de trozos endurecidos en cuatro o seis semanas. Por ello es necesario un buen almacenamiento del cemento, mientras no se usa todavía.

El almacenamiento del Cemento Andino Tipo V, que se usó para la elaboración de probetas de concreto de alta resistencia, se hizo llenando las bolsas de cemento en bolsas de polietileno y cerrándolos bien, de tal manera evitando que estos estén en contacto con el medio ambiente y el aire; luego estos fueron apilados sobre una plancha de madera y cartón en las instalaciones del laboratorio (LEM – UNI).

2.1.4 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DEL CEMENTO PORTLAND ANDINO TIPO V DESPUES DE 3 MESES DE ALMACENAMIENTO

Después de 3 meses de fabricación de este Cemento Andino Tipo V, se quiso verificar si todavía estaba en buenas condiciones para continuar realizando los ensayos restantes para el desarrollo de la Tesis o reemplazarlo; en consecuencia, en el Laboratorio de la Fabrica de Cemento Andino hicimos algunos ensayos físicos mas representativos de este cemento que se estaba usando. Los ensayos realizados en dicho laboratorio fueron los siguientes y sus valores se muestra en la tabla 2.1.4.1.

• Tiempo de Fraguado (VICAT)	ASTM C 191 - 99
• Expansión Autoclave	ASTM C 151 - 98a
• Consistencia Normal	ASTM C 187 - 98
• Resistencia a la compresión	ASTM C 109/c 109M - 99
• Superficie Específica (BLAINE)	ASTM C 150
• Retenido Malla 45 micras	ASTM C 150
• Retenido Malla 90 micras	ASTM C 150

Todos ensayos se hicieron según las Normas ASTM correspondientes; de estas pruebas físicas, podemos concluir que los valores hallados son los de un Cemento Portland Tipo V, en consecuencia dicho cemento se continuó utilizando para terminar todos los ensayos de concreto de alta resistencia descritos en la presente tesis.

TABLA 2.1.4.1

**ENSAYOS DE VERIFICACIÓN DEL CEMENTO EN EL LABORATORIO
DE LA FABRICA DE CEMENTO ANDINO**

ENSAYO	UND	CEMENTO TIPO V ALMACENADO 3 MESES
Superficie Especifica (BLAINE)	cm ² /gr	3238
Tiempo de Fraguado (VICAT)	Hr : min	INICIAL 2:35 FINAL 3:50
Expansión Autoclave	%	0.00
Consistencia Normal	a/c	0.23
Resistencia a la compresión	lb/pl ²	a 3 días 2200 a 7 días 3100 a 28 días 4000
Retenido Malla 45 micras	%	11.3
Retenido Malla 90 micras	%	1.6

**2.1.5 CERTIFICADO DE CALIDAD DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO
ANDINO PORTLAND TIPO V**

Para la fabricación de un buen concreto es necesario conocer bien el tipo de cemento a usar, por ello existen diversos ensayos exigidos por las normas vigentes que nos dan la calidad del este. Por ello la garantía de un producto de calidad se refleja en su Certificado de Calidad que la fabrica emita y así verificar si dicho producto cumplen con las características explícitas e implícitas para la satisfacción del cliente; tal es el caso del Certificado de Calidad de la fabricación del Cemento Andino Portland Tipo V proporcionado por el fabricante, el cual corresponde a la fecha de fabricación de éste que se utilizó para la fabricación de concreto de alta resistencia en el LEM – UNI para el desarrollo de la presente tesis.

CERTIFICADO DE CALIDAD

TIPO DE CEMENTO: Portland Tipo V Fecha:
 ESPECIFICACIÓN VIGENTE: ASTM C-150 2da. Quincena de noviembre de 2001

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

PRUEBAS FÍSICAS:			ANÁLISIS QUÍMICO:	% en peso	
1) Superficie específica (BLAINE)	cm ² /gr.	3330	1) Pérdida por Ignición.	1.24	%
			2) Residuo Insoluble	0.56	%
2) Tiempo de fraguado (VICAT)	Hr. min'		3) Dióxido de silicio (SiO ₂)	21.94	%
	INICIAL	2:48	4) Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	3.70	%
	FINAL	4:14	5) Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	4.45	%
3) Expansión Autoclave	%	0.00	6) Óxido de Calcio (CaO)	64.19	%
			7) Óxido de Magnesio (MgO)	2.00	%
4) Contenido de Aire, en volumen	%	3.2	8) Cal libre	0.79	%
			9) Trióxido de Azufre (SO ₃)	1.92	%
			10) Óxido de Sodio (Na ₂ O)	0.08	%
			11) Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.50	%
<i>FASES MINERALÓGICAS SEGÚN BOGUE</i>					
5) Resistencia a la compresión	(lb/pulg ²)		SILICATO TRICÁLCICO (C ₃ S)	54.75	%
	a 3 Dias	2350	SILICATO DICÁLCICO (C ₂ S)	21.61	%
	a 7 Dias	3250	ALUMINATO TRICÁLCICO (C ₃ A)	2.28	%
	a 28 Dias		FERROALUMINATO TETRACÁLCICO (C ₄ AF)	13.52	%
6) Densidad	(gr/cm ³)	3.15	<u>ALCALIS EQUIVALENTES</u>	0.41	%

Ing. Hernán La Jara S.

2.2 AGREGADO FINO

2.2.1 CONCEPTOS GENERALES

Los agregados para la elaboración de concreto son partículas inorgánicas, ya sea de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011-400.012. Estos materiales, el agregado fino y el grueso, son los que se encuentran embebidos en la pasta y que ocupan entre 62% y 78% de la unidad cúbica de concreto. El volumen que ocupan en una unidad cúbica de concreto dependerá del tipo de concreto a fabricar; los cuales pueden ser concretos de baja resistencia, normales, ligeros, pesados, de alta resistencia, etc.

2.2.2 CANTERA

Los agregados fino y grueso utilizadas fueron proporcionados por la Empresa UNICON, y son de procedencia de la Cantera de Jicamarca, situada a unos 3 Km. aproximadamente del inicio de la Autopista Ramiro Priale de Huachipa, hacia el Este por la vía a Jicamarca. Estos agregados son de origen aluvial y coluvial, cuya explotación se realiza a tajo abierto y su producción diaria es de 2800 a 3000 toneladas. Por otro lado presenta un área de explotación de 6 a 8 millones de metros cúbicos. Estos agregados son previamente pasados por una chancadora primaria y secundaria, luego de ser tamizados y separados, la arena es lavado previamente en su cantera antes de su uso y comercialización.

Los datos de los ensayos físicos y mecánicos del agregado fino y el grueso, se proporcionados por los laboratorios de UNICON; para corroborar estos resultados, los agregados se ensayaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM – UNI), cuyos resultados fueron tomados en cuenta para el diseño de concreto de alta resistencia fabricando con aditivo superplastificante.

2.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS

2.2.3.1 GRANULOMETRIA

NTP 400.012

Es la distribución por tamaños de las partículas de los agregados, este tiene efecto importante en el consumo de agua, trabajabilidad, y economía del concreto. Esta distribución del agregado fino tiene influencia notablemente sobre la trabajabilidad, siendo deseable que no menos del 15% de aquel pase el tamiz No 50 y para el porcentaje acumulativo que pasa el tamiz No 100 valores del 2% al 10%.

La Norma ASTM C 33 recomienda que no más del 45% del agregado fino sea retenido por dos tamaños consecutivos de los tamices No 100, No 50, No 30, No 16, No 8, No 4.

TABLA 2.2.3.1.1

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012)

Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado
1/4"	-	-	-	100.0
No 4	21.5	4.3	4.3	95.7
No 8	99.0	19.8	24.1	75.9
No 16	104.5	20.9	45.1	54.9
No 30	105.5	21.1	66.2	33.8
No 50	97.0	19.4	85.7	14.3
No 100	52.5	10.5	96.2	3.8
FONDO	19.0	3.8	100.0	

2.2.3.2 MÓDULO DE FINEZA

NTP 400.012

Es un indicador aproximado del tamaño medio de las partículas, el cual es obtenido de la granulometría del agregado, el cual se usa para controlar la uniformidad de estos.

El módulo de fineza se obtiene a través de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4" 3/8", No 4, No8, No 16, No 30, No 50 y No 100, dividida entre 100.

$$M.F. = \frac{(4.3 + 24.1 + 45.0 + 66.1 + 85.5 + 96.0)}{100}$$

$$M.F. = 3.21$$

2.2.3.3 IMPUREZAS ORGANICAS

NTP 400.013

Ensayo usado para la determinación cualitativa de compuestos orgánicos nocivos en agregados finos, el cual se hace con una solución de Hidróxido de sodio (3%), el cual al final del período de reposo de 24 horas, se comparó el líquido que sobrenada con el vidrio patrón, el cual resultó ser más claro, llegando a la conclusión que el agregado fino utilizado para el desarrollo de la tesis no presenta impurezas orgánicas.

2.2.3.4 PESO UNITARIO SUELTO

NTP 400.017

Proceso por el cual es llenado de manera continua el agregado fino sin ejercer presión en un recipiente de volumen conocido. Para este ensayo se utilizó un balde de 1/10 p3 de volumen.

TABLA 2.2.3.4.1

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra suelta + balde 1/10 p3.	Kg	7.731	7.711	7.706
B	Peso del balde 1/10 p3	Kg	2.772	2.772	2.772
C	Peso de la muestra suelta (A-B)	Kg	4.959	4.939	4.934
D	Volumen del balde 1/10 p3	m3	0.00283	0.00283	0.00283
Peso Unitario Suelto (C/D)		Kg/m3	1752.30	1745.23	1743.46

Peso Unitario Suelto : 1747 Kg/m3

2.2.3.5 PESO UNITARIO COMPACTADO

NTP 400.017

Proceso en el cual el agregado es llenado en tres capas y por cada una de ellas se ejerce presión en un recipiente de volumen conocido dependiendo del tamaño del agregado. Para este ensayo se utilizó un balde de 1/10 p3 de volumen.

Este ensayo es importante, por que a partir de los resultados obtenidos podemos clasificar el agregado en livianos, normales y pesados, al igual que calcular el contenido de vacíos. Del resultado obtenido podemos clasificar a este agregado como normal, ya que el PUC de este agregado lo califica como tal.

TABLA 2.2.3.5.1

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra compactada + balde 1/10 p3	Kg	8.257	8.236	8.176
B	Peso del balde 1/10 p3	Kg	2.772	2.772	2.772
C	Peso de la muestra compactada (A-B)	Kg	5.485	5.464	5.404
D	Volumen del balde 1/10 p3	m3	0.00283	0.00283	0.00283
Peso Unitario Compactada.(C/D)		Kg/m3	1938.16	1930.74	1909.54

Peso Unitario Compactado : 1926 Kg/m3

2.2.3.6 MATERIAL QUE PASA LA MALLA No 200

NTP 400.018

Con este ensayo se determina el porcentaje de material muy fino como el limo, arcilla, etc. existente en el agregado, ya que valores altos de estos disminuyen la resistencia del concreto. La fabricación de concretos de alta resistencia, implica trabajar con relaciones a/c bien bajas, por lo tanto el material debajo de malla No 200 no es recomendable que haya mas del 7 al 8% ya que la mayoría de estos son limos y arcillas, los cuales absorben agua y son expansivas.

TABLA 2.2.3.6.1

**MATERIAL QUE PASA LA MALLA No 200
(NTP 400.018)**

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso seco de la muestra	gr.	500.0	500.0	500.0
B	Peso seco de la muestra tamizada (Vía Húmeda)	gr.	478.0	479.0	476.5
Material que pasa la malla No 200 (A-B)/Ax100		%	4.40	4.20	4.70

Material que pasa la malla No 200 : 4.43 %

2.2.3.7 PESO ESPECÍFICO

NTP 400.022

Se expresa también como densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo. Por otro lado el peso específico también es un indicador de la calidad, por ello los que presentan valores bajos indica que es un material poroso, absorbente y débil, mientras que los valores altos indican que son de buena calidad, esto no siempre es seguro, por ello se recomienda que la calidad se verifique por otros ensayos.

TABLA 2.2.3.7.1

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.022)**

Item	Descripción	Und	MUESTRAS		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra s.s.s.	gr	500.0	500.0	500.0
B	Peso de la muestra s.s.s.+ Peso del balón 500 cc.	gr	674.0	674.0	674.0
C	Peso de la muestra s.s.s.+ Peso del balón + Peso del agua	gr	986.0	987.5	987.0
D	Peso del agua. (C-B)	gr	312.0	313.5	313.0
E	Volumen de agua (D/Peso específico del agua)	cm3	312.0	313.5	313.0
F	Volumen del balón.	cm3	500.0	500.0	500.0
G	Volumen de la muestra. (F-E)	cm3	188.0	186.5	187.0
H	Peso de la muestra secada al homo.	gr	496.5	496.5	496.5
Peso Especifico. (H/G)		gr/cm3	2.64	2.66	2.66
Porcentaje de Absorción. (A-H)/(H)*100		%	0.71	0.71	0.71

Peso Especifico 2.65 gr/cm3
Porcentaje de Absorción 0.71 %

2.2.3.8 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

NTP 400.022

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido en agua durante 24 horas y secada por el mismo periodo de tiempo.

$$\% \text{ Absorción} = 0.71\%$$

2.2.3.9 CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM C566

Es el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca. En consecuencia el contenido total de agua de un agregado húmedo es igual a la suma de la absorción y de la humedad superficial.

Este es un factor muy importante a considerar para el diseño de un buen concreto, ya que esta característica cambia con el clima y de una pila a otra, por ello se recomienda que el contenido de humedad debe medirse con frecuencia cada vez que se va a fabricar concreto para hacer los ajustes correspondientes a nuestro diseño, para mantener constante nuestra relación *a/c*.

TABLA 2.2.3.9.1

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM C566)

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra húmeda	gr	500.0	500.0	500.0
B	Peso de la muestra secada al horno	gr	482.0	484.0	482.5
C	Contenido de agua (A-B)	gr	18.0	16.0	17.5
Contenido de humedad (C/Bx100)		%	3.73	3.31	3.63

Contenido de Humedad : 3.56

2.3 AGREGADO GRUESO

2.3.1 CONCEPTOS GENERALES

El agregado grueso es el proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca y que cumple con los límites establecidos en la Norma Itintec 400.037.

Las propiedades físicas del agregado tales como: granulometría, tamaño máximo, perfil y textura superficial, absorción, peso específico, peso unitario, etc., pueden afectar las proporciones y el comportamiento de la mezcla en estado fresco y endurecido. Por otro lado existe una relación entre la capacidad de absorción y la trabajabilidad debido a que los agregados altamente porosos, al tomar más agua en la mezcla, tienden a aumentar su consistencia y disminuir su trabajabilidad.

2.3.2 CANTERA

Al igual que la arena tienen el mismo lugar de procedencia, de la Cantera de Jicamarca; a diferencia que los agregados finos, el agregado grueso es lavado fuera de la cantera; es por ello que el contenido de humedad de estos agregados es alto.

2.3.3 PROPIEDADES FÍSICAS

2.3.3.1 GRANULOMETRIA

NTP 400.012

La granulometría del agregado grueso se realizó de acuerdo a la norma mencionada, y se expresa en términos de los porcentajes retenidos en los tamices ASTM 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2"; y mayores. Si la granulometría del agregado se modifica disminuyendo la superficie específica, la consistencia de la mezcla tiende a disminuir.

TABLA 2.3.3.1.1

**GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.012)**

Tamiz	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado
3/4 "	-	-	-	100.0
1/2 "	616.5	15.4	15.4	84.6
3/8 "	957.0	23.9	39.3	60.7
1/4 "	1800.5	45.0	84.4	15.6
No 4	527.0	13.2	97.5	2.5
No 8	95.5	2.4	99.9	0.1
FONDO	3.0	0.1	100.0	
TOTAL	3999.5	100.0		

2.3.3.2 MÓDULO DE FINEZA

NTP 400.012

La determinación del módulo de fineza del agregado grueso es necesaria para la aplicación de algunos métodos de proporcionamiento de mezclas. Asimismo el módulo de fineza sirve como una medida del valor lubricante de un agregado, es decir que cuanto mayor es su módulo de fineza, menor será el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

El procedimiento para calcular el módulo de fineza es igual para todos los agregados ya sean finos o gruesos.

$$M.F. = \frac{(39.3 + 97.5 + 99.9 + 4 \cdot 100)}{100}$$

$$M.F. = 6.37$$

2.3.3.3 PESO UNITARIO SUELTO

NTP 400.017

El procedimiento es el seguido por la NTP mencionada, para la piedra usamos un balde de 1/3 p3, esto debido a que el tamaño máximo del agregado grueso es de 3/4".

TABLA 2.3.3.3.1

**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.017)**

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra suelta + balde 1/3 p3.	Kg	20.80	20.90	20.70
B	Peso del balde 1/3 p3	Kg	6.90	6.90	6.90
C	Peso de la muestra suelta (A-B)	Kg	13.90	14.00	13.80
D	Volumen del balde 1/3 p3	m3	0.00943	0.00943	0.00943
Peso Unitario Suelto (C/D)		Kg/m3	1474.02	1484.62	1463.41

Peso Unitario Suelto : 1474 Kg/m3

2.3.3.4 PESO UNITARIO COMPACTADO

NTP 400.017

El procedimiento de este ensayo es el mismo seguido para el agregado fino, a diferencia que se usó un balde de 1/3 p3 , debido al tamaño máximo del agregado grueso que es 3/4".

TABLA 2.3.3.4.1

**PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.017)**

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra compactada + balde 1/3 p3.	Kg	22.50	22.45	22.60
B	Peso del balde 1/3 p3	Kg	6.90	6.90	6.90
C	Peso de la muestra compactada (A-B)	Kg	15.60	15.55	15.70
D	Volumen del balde 1/3 p3	m3	0.00943	0.00943	0.00943
Peso Unitario Compactada.(C/D)		Kg/m3	1654.29	1648.99	1664.90

Peso Unitario Compactado : 1656 Kg/m3

2.3.3.5 PESO ESPECÍFICO

NTP 400.022

El valor del peso específico puede ser utilizado como una medida indirecta de la solidez o estabilidad de un agregado, es decir estos son directamente proporcionales, del mismo modo el peso específico del agregado influye en el peso unitario del concreto, esto tiene importancia dependiendo del tipo de obra que se puede desarrollar.

TABLA 2.3.3.5.1

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.022)

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra s.s.s.	gr	2000	2000	2000
B	Peso de la canastilla en el agua.	gr	1881	1881	1881
C	Peso de la muestra s.s.s. + Peso de la canastilla en el agua	gr	3151	3153	3148
D	Peso de la muestra s.s.s. en el agua (C-B).	gr	1270	1272	1267
E	Volumen de la muestra (A-D)	cm ³	730	728	733
F	Peso de la muestra secada al homo.	gr	1978	1978	1978

Peso Específico (F/E)	gr/cm ³	2.71	2.72	2.70
Porcentaje de Absorción (A-F)/F x 100	%	1.11	1.11	1.11

Peso Específico : 2.71 gr/cm³
Porcentaje de Absorción : 1.11 %

2.3.3.6 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

NTP 400.022

Se determina al igual que el agregado fino. La absorción real de agua debe deducirse del requerimiento total de agua de la mezcla, para obtener la relación efectiva de agua/cemento, que controla tanto la trabajabilidad como la resistencia del concreto.

% Absorción 1.11%

2.3.3.7 CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM C566

La exactitud para determinar el contenido de humedad dependerá de contar con una muestra representativa.

TABLA 2.3.3.7.1

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C566)

Item	Descripción	Und	Muestras		
			M - 1	M - 2	M - 3
A	Peso de la muestra húmeda	gr	1000.0	1000.0	1000.0
B	Peso de la muestra secada al horno	gr	986.5	988.5	987.0
C	Contenido de agua (A-B)	gr	13.5	11.5	13.0
Contenido de humedad (C/Bx100)		%	1.37	1.16	1.32

Contenido de Humedad : 1.28 %

2.3.3.8 TAMAÑO MÁXIMO

NTP 400.037

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

Tamaño Máximo = ¾ "

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

NTP 400.037

Corresponde al menor tamiz que produce el primer retenido.

Tamaño Máximo Nominal = ½ "

TABLA 2.3.3.7.2

RESUMEN PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

Propiedades Fisicas	Und	Arena	Piedra
Tamaño Máximo	Pulg		3/4"
Tamaño Máximo Nominal	Pulg		1/2"
Módulo de Finura		3.21	6.37
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1747	1474
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1947	1656
Peso Específico	gr/cm ³	2.65	2.71
Absorción	%	0.71	1.11
Contenido de Humedad	%	3.56	1.28
Material que pasa la malla No 200	%	4.43	
Impurezas Organicas		No presenta	

2.4 ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

2.4.1 RHEOBUILD 1000

2.4.1.1 DESCRIPCIÓN

Rheobuild 1000 es un aditivo de tercera generación y es un reductor de agua de alto rango y es parte de una línea completa de aditivos Rheobuild para producir concreto rheoplástico. El concreto rheoplástico fluye fácilmente, manteniendo una alta plasticidad por un período de tiempo inigualable por cualquier otro aditivo superplastificante. Aún así, conserva la baja relación agua/cemento de un concreto sin asentamiento y sin aditivo. Las características de retención de plasticidad del concreto rheoplástico permiten añadir Rheobuild 1000 en la planta de concreto. Este aditivo líquido, listo para usarse, cumple con las especificaciones de las normas ASTM C-494 para aditivos tipo A y F, es decir este aditivo cumple con las Normas de los aditivos reductores de agua (Tipo A) y los aditivos super reductores de agua (Tipo F)

2.4.1.2 CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

2.4.1.2.1 EN EL CONCRETO PLÁSTICO

Rheobuild 1000 ayuda a la producción de concreto con las siguientes características especiales:

- Rango de plasticidad de 200 a 280 mm.
Plasticidad mantenida durante un mayor tiempo
- Tiempo de fraguado controlado
- Cohesivo y sin segregación
- Mínima exudación

2.4.1.2.2 EN EL CONCRETO ENDURECIDO

A través de una mejor eficiencia en la hidratación del cemento, menor dependencia de la consolidación de energía y ajustes en las proporciones de la mezcla; el concreto producido con Rheobuild 1000 proporciona las siguientes características:

- Se producen mejores resistencias iniciales que con otro aditivos superplastificantes convencionales
- Mayor resistencia a la compresión
- Mayor módulo de elasticidad
- Baja permeabilidad y alta durabilidad
- Menores retracciones
- Confiabilidad en la integridad estructural del elemento terminado

2.4.1.3 LOS BENEFICIOS

Los beneficios económicos son a corto y largo plazo, y se aplican a todos los involucrados en la producción y uso del concreto. El uso del concreto rheoplástico ahorra tiempo en la obra y costo a través de una mayor productividad.

La alta resistencia lograda por el concreto rheoplástico permite usar métodos de construcción más rápidos. Finalmente, el concreto rheoplástico permite cambios en las especificaciones técnicas de ingeniería, ya que es factible aumentar los límites de caída libre del concreto fresco, los espesores de vaciados sucesivos y la temperatura del concreto, así como ajustes económicos en las mezclas.

2.4.1.4 USOS RECOMENDADOS

Rheobuild 1000 se recomienda en concretos donde se desean características de fraguado normal, alta plasticidad y desarrollo rápido de resistencias.

Como resultado de las características y beneficios anteriores, este aditivo mejora el desempeño del concreto pretensado, prefabricado y rheoplástico. Rheobuild 1000 es compatible con cementos Pórtland que cumplan las especificaciones ASTM, AASHTO.

Cuando se requiere de un concreto resistente a ciclos de hielo y deshielo, se recomienda el uso del Rheobuild 1000 y un aditivo inclusor de aire de MBT. El Rheobuild 1000 puede usarse como un aditivo único o como un componente de un sistema de aditivos de MBT. Sin embargo, cuando se use con otro aditivo, cada uno debe dosificarse por separado en la mezcla.

Este aditivo superplastificante no promueve la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, no daña al concreto presforzado, o el concreto vaciado en sistemas de losas y techos hechos de acero galvanizado. En el proceso de manufactura de este aditivo no se usa cloruros; en todas sus aplicaciones, contiene menos del límite máximo de iones de cloruro aceptados por los estándares de la industria.

2.4.1.5 DOSIFICACIÓN

Rheobuild 1000 normalmente se recomienda en un rango de 0.65 a 1.6 litros por cada 100 kg de material cementicio, o equivalente de 0.276 a 0.680 lt/bolsa de cemento de 42.5 kg, dependiendo su aplicación, de la aceleración de la obtención de resistencia requeridas y del incremento en el asentamiento deseado.

La dosificación arriba indicada se aplica a la mayoría de las mezclas de concreto con ingredientes comunes. Sin embargo, las variaciones de las condiciones de obra y de los ingredientes tales como microsíllica, pueden hacer necesarias algunas dosificaciones fuera del rango recomendado.

Desde un principio para el desarrollo de la tesis se pensó en la elaboración de un concreto de alta resistencia, económico, de buena calidad, autocompactante, con relaciones a/c bien bajas. Por ello se hicieron diseños preliminares con una relación a/c = 0.3, las cuales se fabricaron probetas con la mayor dosificación de aditivo Rheobuild 1000 de 0.680 lt/bolsa de cemento de 42.5 Kg y se logró obtener resistencias a la compresión altas, pero dicho concreto es estado fresco no reunía las características de un buen concreto como trabajabilidad, consistencia, segregación, etc., debido a que la relación a/c era bien baja, se hizo otro diseño con una relación a/c = 0.35.

Debido a que nuestro diseño de mezcla contemplaba una relación a/c = 0.35, era bien baja la cantidad de agua a utilizar, y se hicieron pruebas preliminares con las cantidades recomendadas por el fabricante. Se hizo el diseño utilizando la menor proporción de aditivo 0.276 lt/bolsa de cemento de 42.5 Kg., donde no se observó cambio significativo en el concreto es estado fresco con relación al concreto sin aditivo cuyo slump fue de 0", ya que se obtuvo un slump de 1", es decir se producía mucha segregación, no era trabajable, se presentaba muchas cangrejeras cuando se realizó el ensayo de consistencia.

Posteriormente se preparó el mismo diseño con la mayor cantidad de aditivo recomendado por el fabricante de 0.680 lt/bolsa de cemento de 42.5 Kg., la

cual tuvo un mejor resultado pero no era lo esperado, ya que se obtuvo un slump de 3" de asentamiento, el concreto en estado fresco no era trabajable, presentaba poca segregación, no tenía buena consistencia, difícil de acomodarse, difícil de manipularlo, es decir no reunía las características de un concreto que queríamos diseñar, por ello no se tomó esta proporción de aditivo.

En consecuencia se utilizó una proporción mayor de aditivo la cual fue de 0.765 lt/bolsa de cemento de 42.5 Kg., es decir un 12.5% mayor que el recomendado por el fabricante, esto para poder fabricar un buen concreto de buenas características tanto en estado fresco como endurecido, ya que con esta cantidad de aditivo Rheobuild 1000 para nuestro diseño se tuvo un slump de 6" medidos al cabo de 15 segundos de retirado el Cono de Abrams, este concreto es trabajable, no tiene segregación, es consistente, fácil de acomodarse, la cual podemos considerarlo un concreto autocompactante.

2.4.1.6 MODO DE EMPLEO

Ya que el Rheobuild 1000 incrementa la retención del asentamiento, esto permite que sea dosificado en la planta de concreto, a diferencia de otros aditivos reductores de agua que necesitan dosificarse en la obra.

2.4.1.7 TIEMPO DE COLOCACION

El concreto con Rheobuild 1000 puede mantener el estado rheoplástico (200 – 280 mm) hasta por dos horas. La duración exacta de la trabajabilidad depende no solo de la temperatura, sino también del tipo de cemento, la naturaleza de los agregados y el método de transporte del concreto. Se insiste que el concreto sea curado adecuadamente.

2.4.1.8 VELOCIDAD DE FRAGUADO

Rheobuild 1000 produce un tiempo de fraguado normal a través del rango de dosificación recomendado. El tiempo de fraguado depende de la composición

física y química de los ingredientes del concreto, su temperatura y las condiciones climáticas. Deben realizarse ensayos con los materiales locales para determinar la dosificación adecuada para el tiempo de fraguado y resistencia deseadas.

2.4.1.9 PRECAUCIÓN

Si el Rheobuild 1000 se congela, llévese a una temperatura de 7° C o más, y agítese hasta que esté completamente reconstituido. No use aire a presión para agitarlo.

2.4.2 COMPORTAMIENTO DEL ADITIVO RHEOBUILD 1000 CON EL CEMENTO PORTLAND TIPO V

Esta parte del desarrollo de la tesis no estaba considerada dentro del plan de tesis, pero se realizaron algunos ensayos para ver cual era la influencia del aditivo Rheobuild 1000 en la pasta y mortero fabricado con el Cemento Portland Tipo V que se estuvo utilizando para la fabricación de probetas para el desarrollo de la tesis; ya que dichos ensayos en pasta y mortero con aditivo superplastificante no se han desarrollado a la fecha en el LEM – UNI.

El desarrollo de estos ensayos, se hicieron en los Laboratorios de la Fabrica de Cemento Andino, ubicada en Condorcocha – Tarma – Junín, gracias a la invitación y al apoyo de los Ingenieros de Planta y Laboratorio Ing. Juan Carlos Lara, Ing. Hernán La Jara Santos, Ing. Jorge Aranda, de la mencionada fabrica, ya que el Tesista pudo viajar en varias oportunidades para realizar estos ensayos. Por otro lado estos ensayos de pasta y mortero con aditivo no están normados, por lo tanto los ensayos realizados se hicieron tomando como referencia las Normas ASTM correspondientes.

2.4.2.1 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000 ASTM C 187 - 98

Para hallar la consistencia normal del cemento hidráulico, seguimos el mismo procedimiento que para una pasta normal, a diferencia que a ésta le incorporamos aditivo Rheobuild 1000 de acuerdo a la dosificación que se esta usando para la fabricación de concreto de 0.765 lt por cada bolsa de cemento de 42.5 Kg. Para una consistencia normal en el laboratorio se utiliza 650 gr. de cemento y 150 ml. de agua, la cual hace una relación $a/c = 0.23$.

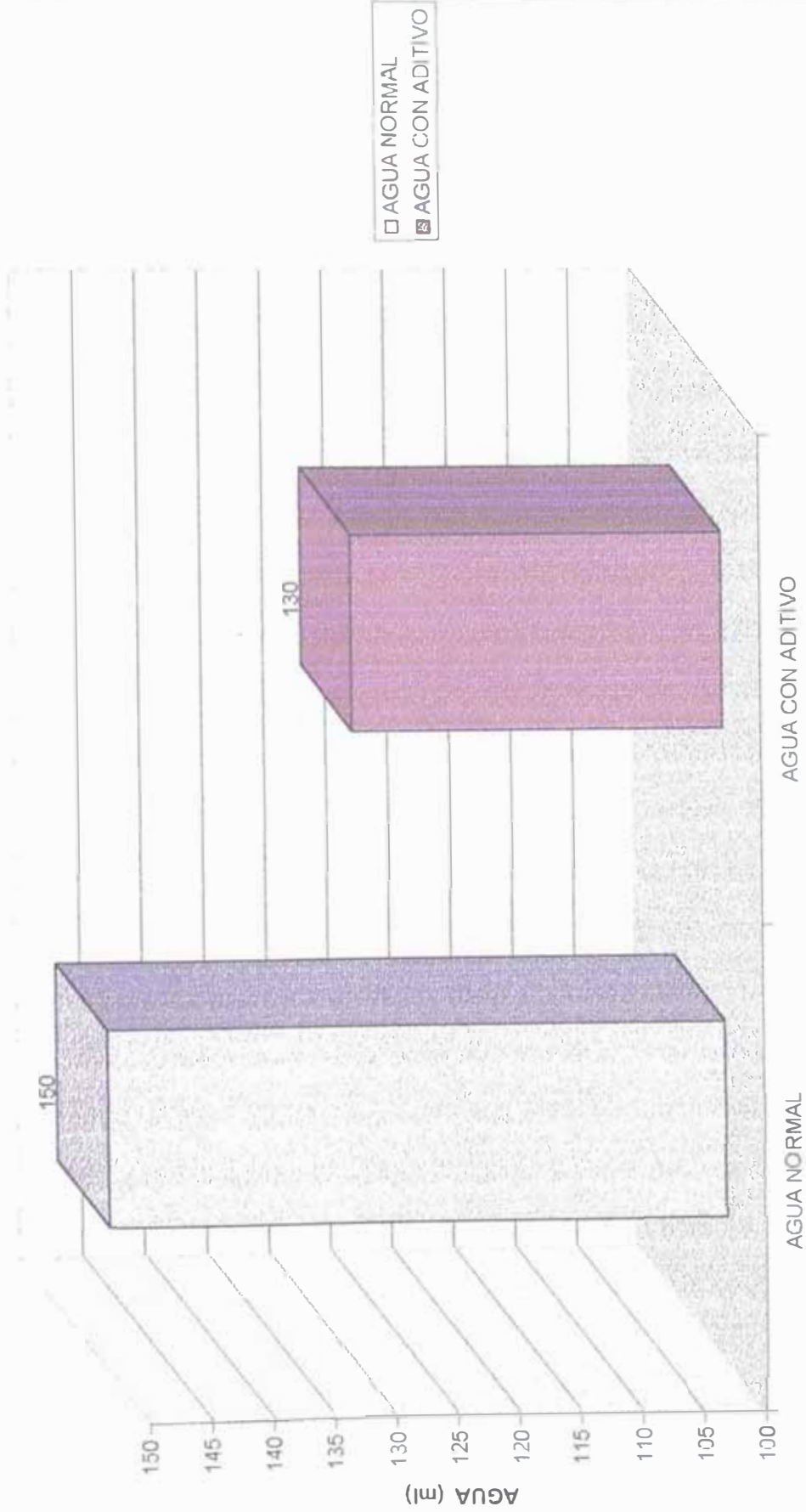
Para realizar el ensayo usando el aditivo, este se utilizó 11.7 ml y el resto agua, hasta encontrar la consistencia normal de la pasta. La consistencia normal de la pasta se determina con el Aparato de Vicat, cuando el embolo macizo de 10mm de diámetro y 50 mm de longitud penetre a la pasta preparada en el anillo cónico 10 ± 1 mm en 30 s después de soltar desde la superficie. Esto ocurrió para una dosificación de 11.7 ml de aditivo y 118.3 ml de agua, haciendo un total de 130 ml de liquido, la cual con el cemento hacen una relación $a/c = 0.2$, obteniendo una reducción de agua del 13.3 % en la pasta.

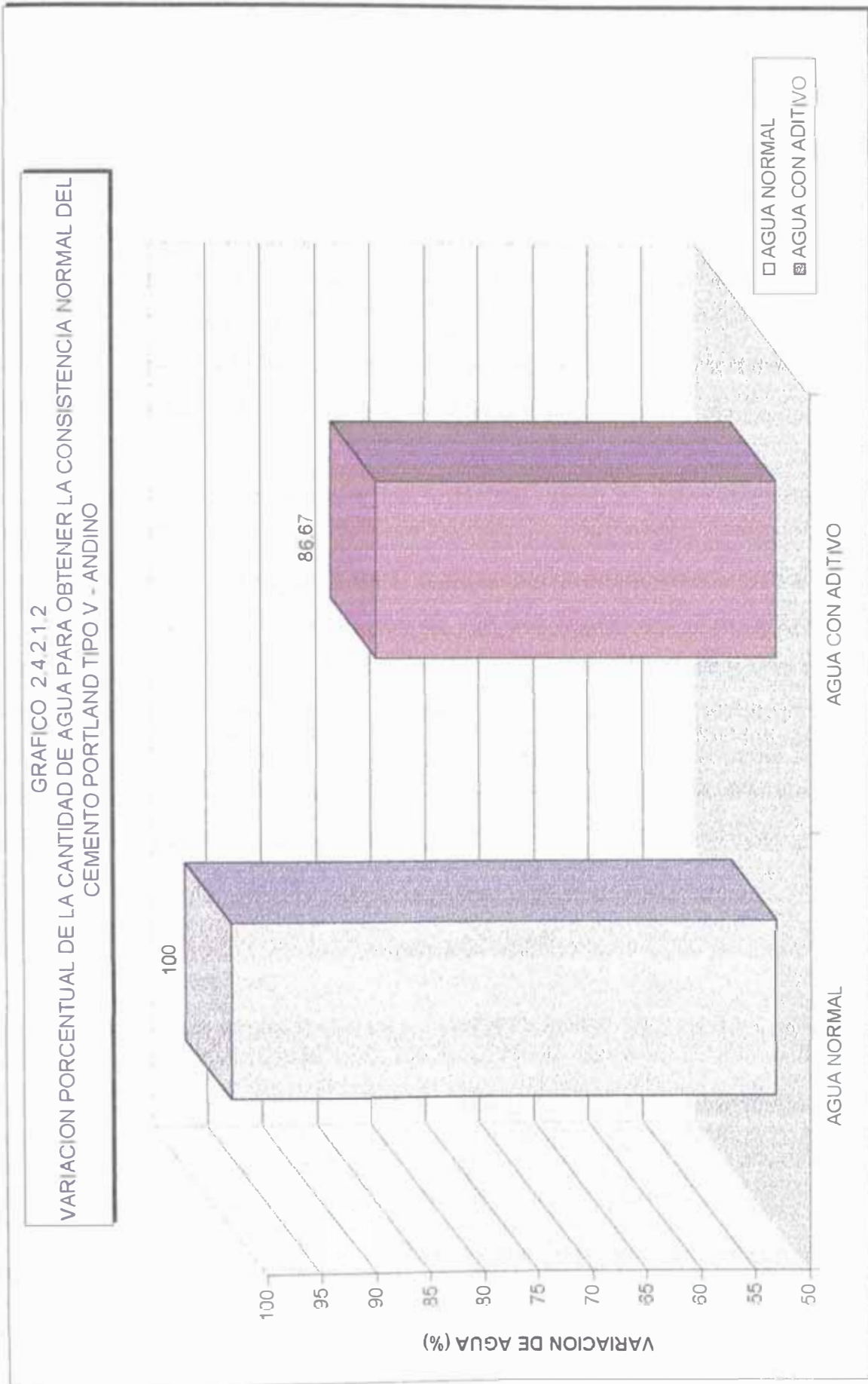
TABLA 2.4.2.1.1

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO V - ANDINO

MATERIALES	UND	CONSISTENCIA NORMAL	
		SIN ADITIVO	CON ADITIVO
Cemento	gr	650.0	650.0
Agua	ml	150.0	118.3
Aditivo	ml	0.0	11.7
Penetración Vicat	mm	10.0	10.5
a/c		0.23	0.20

GRAFICO 2.4.2.1.1
COMPARACION DE CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA OBTENER LA CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO V - ANDINO





2.4.2.2 EXPANSIÓN AUTOCLAVE DEL CEMENTO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000

ASTM C 151 – 98a

Para verificar la expansión autoclave para una pasta normal, se utilizó la misma dosificación de cemento y agua que el ensayo de consistencia, mientras que para el otro caso también se usó la misma dosificación de cemento, agua y aditivo y el procedimiento de preparación de la pasta se realizó de acuerdo a la Norma ASTM C 187. Luego de preparado el mortero colocamos este en dos moldes aproximadamente iguales para cada caso, apisonando el mortero sobre estos moldes que tienen una forma de pequeñas viguetas.

Terminado de preparar las muestras, estas se almacenan en la cámara de curado a 23°C y 98% de humedad por 20 horas; las cuales se retiran los moldes y estas son colocadas después en el Autoclave a una temperatura inicial de 20 a 28°C, luego se mantiene a una presión de 295 psi (2MPa) por el espacio de 3 horas, luego se baja la presión a 10 psi para 1 ½ hora final. Llegando a una temperatura final de 90°C, y esperar que la muestra descienda su temperatura a unos 23°C antes de realizar la toma de medida para ver si hubo o no expansión, ya que estas viguetas están provistos de unos terminales metálicos en los extremos que facilitarán la medición con el extensómetro.

TABLA 2.4.2.2.1

EXPANSIÓN AUTOCLAVE DEL CEMENTO PORTLAND TIPO V - ANDINO

MATERIALES	UND	CONSISTENCIA	
		NORMAL SIN ADITIVO	NORMAL CON ADITIVO
Cemento	gr	650.0	650.0
Aqua	ml	150.0	118.3
Aditivo	ml	0.0	11.7
Expansión Autoclave		0.00	0.00
a/c		0.23	0.20

2.4.2.3 TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000 ASTM C 191 – 99

Este ensayo se realizó para observar la influencia del aditivo Rheobuild 1000 en el tiempo de fraguado de la pasta de cemento. Para el ensayo se utilizó el Aparato de Vicat provisto de una aguja estándar de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud, la cual se introducía a la pasta cada cierto intervalo de tiempo. La pasta que se utilizó para este ensayo con aditivo era de la misma consistencia normal usada en los ensayos anteriores. Esta pasta fabricada con aditivo presentaba un color más claro que una pasta estándar o normal.

El Tiempo de Fraguado Inicial, se determina cuando la aguja de Vicat, penetre 25 mm, en la pasta, si no se pudiera medir exactamente cuando penetre esta profundidad, se procederá a interpolar con las medidas aledañas a esta; y el Tiempo de Fraguado Final se determina cuando la aguja de Vicat no se hunde o penetre en la pasta.

TABLA 2.4.2.3.1

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO V - ANDINO

MATERIALES	UND	CONSISTENCIA	
		NORMAL SIN ADITIVO	NORMAL CON ADITIVO
Cemento	gr	650.0	650.0
Agua	ml	150.0	118.3
Aditivo	ml	0.0	11.7

Tiempo de Fraguado		PASTA SIN ADITIVO	PASTA CON ADITIVO
Inicial	hr : min	02:48	01:12
Final	hr : min	04:14	03:35

2.4.2.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTERO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000 ASTM C 109/C 109M - 99

Para fabricar el mortero para ser ensayado a compresión se tomó como referencia la Norma mencionada; se fabricaron 9 cubos de mortero para cada caso, de 2" (50 mm) de lado, para ser ensayados a 3, 7 y 28 días. En total se hicieron 27 cubos de mortero; los primeros 9 de mortero normal según el ASTM C 109, los siguientes 9 con aditivo Rheobuild 1000 pero manteniendo la cantidad de líquido (agua + aditivo) indicada en la Norma, y los últimos 9 cubos se hicieron manteniendo la relación $a/c = 0.35$ que se utilizó para la fabricación de probetas de concreto para el estudio de la presente tesis.

En el segundo caso podemos observar que el aditivo Rheobuild 1000 está actuando como un superplastificante por que estamos manteniendo la cantidad de agua en la mezcla. Es por ello que cuando se realizó el ensayo de consistencia normal del mortero en la meza de flujo, se puede observar que la masa de mortero era plástica, bien fluida, ya que en menos de 20 sacudidas, en la meza de flujo no podía caber el mortero.

Mientras que en el tercer caso, el aditivo está trabajando como un reductor de agua ya que según la Norma ASTM C 109 indica la relación $a/c = 0.485$ para la fabricación de morteros normales; y para la realización de estos ensayos, reducimos el agua y trabajamos con una relación de $a/c = 0.35$. El comportamiento de esta mezcla en el ensayo de consistencia normal para morteros, se hizo dando 25 golpes la meza de flujo en un tiempo de 15 segundos; luego tomamos 4 lecturas del diámetro final de la expansión del mortero con el *calipers*, las cuales fueron 18, 18, 19 y 18; sumando estos cuatro valores obtendremos el porcentaje de incremento del diámetro, el cual es de 73% y así mismo observamos que este mortero es más plástico que un mortero normal.

Luego estos molde de forma cúbica, son hechos en 2 capas, cada uno con 32 golpes cuatro etapas con 8 golpes cada uno, los cuales siguen la secuencia

dada por la presente Norma. Después de terminar de completar las dos capas de estos moldes, son enrazados con una espátula de acero; terminado la elaboración de los cubos de mortero, estos se dejan en la cámara de curado la cual se encuentra a 23°C y 95% de humedad por 24 horas. Después son desencofrados y curados con agua a 23°C, hasta 2 horas antes de ser ensayadas.

Previo a realizar el ensayo a compresión de estos, los cubos de mortero son lavados y se toman sus dimensiones. El ensayo a compresión se hizo con la Maquina a Compresión Versa Tester con capacidad de 25000 lb del Laboratorio de la Fabrica de Cemento Andino.

TABLA 2.4.2.4.1

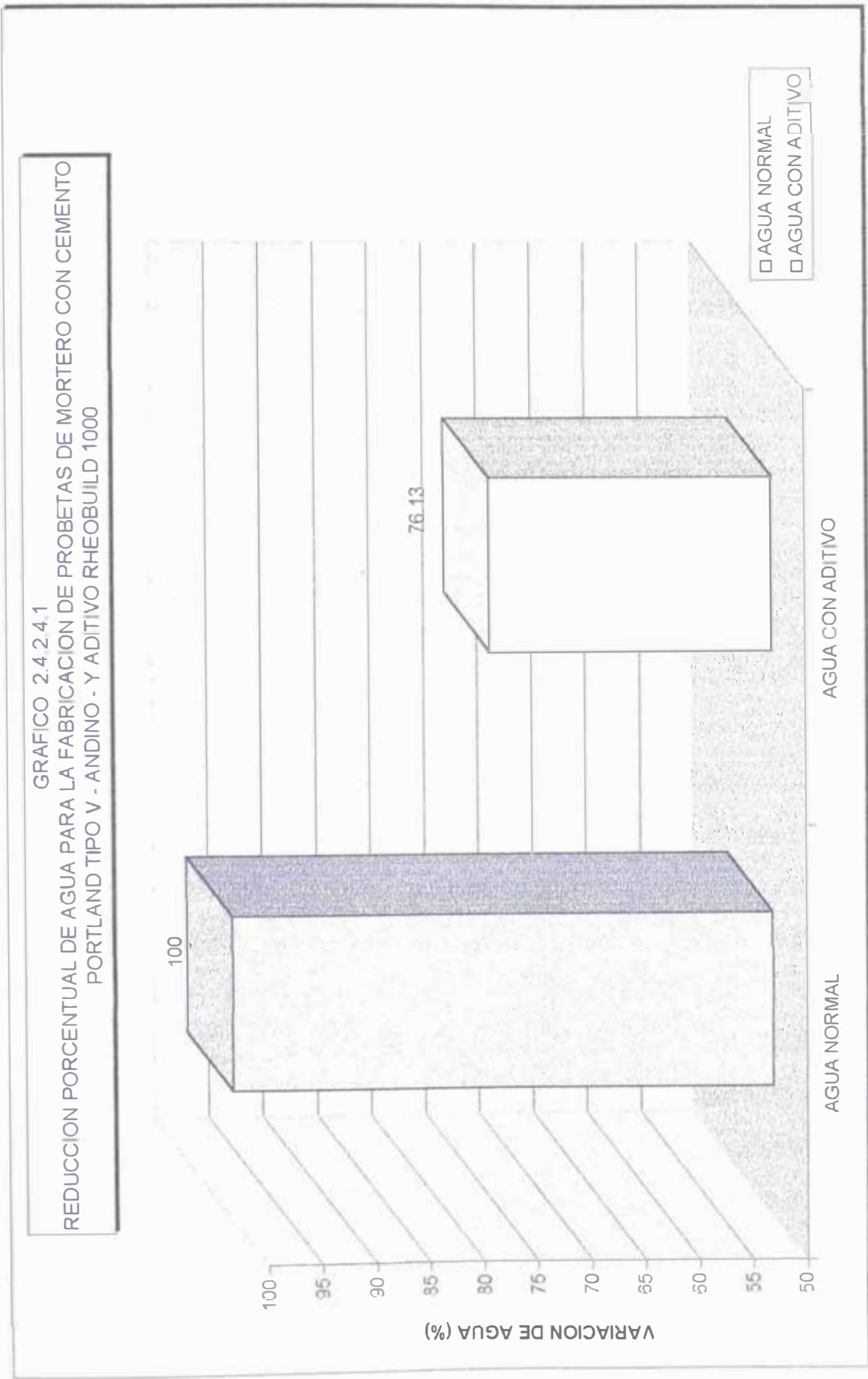
ENSAYO DE CONSISTENCIA Y ELABORACION DE CUBOS DE MORTERO PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN

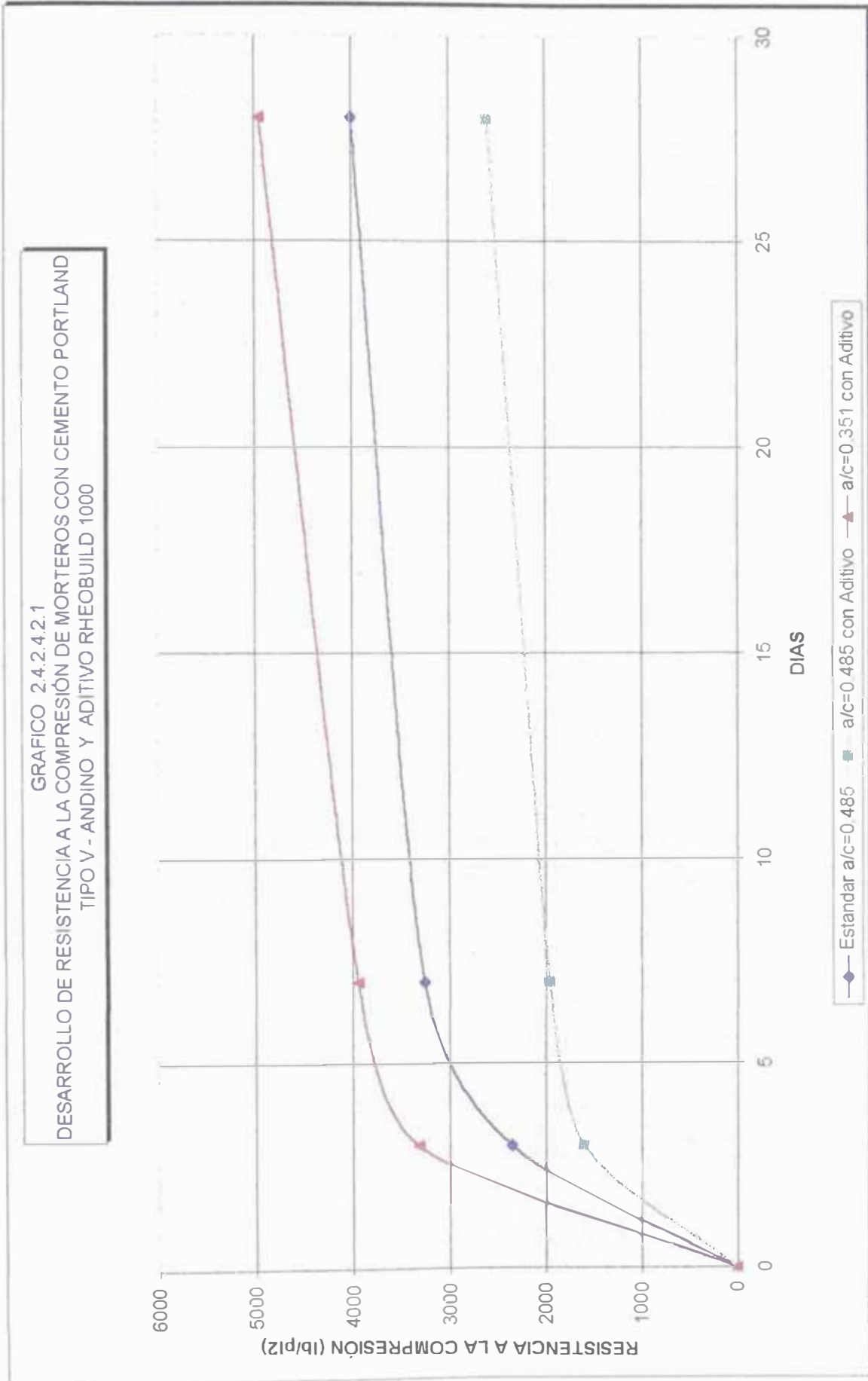
MATERIALES	UND	MORTERO NORMAL	MORTERO CON ADITIVO	MORTERO CON ADITIVO
Cemento	gr	740	740	740
Arena	gr	2035	2035	2035
Agua	ml	359	345.7	260
Aditivo Rheobuild	ml	0	13.3	13.3
a/c		0.485	0.485	0.35
Consistencia Normal	%	70	> 100	73

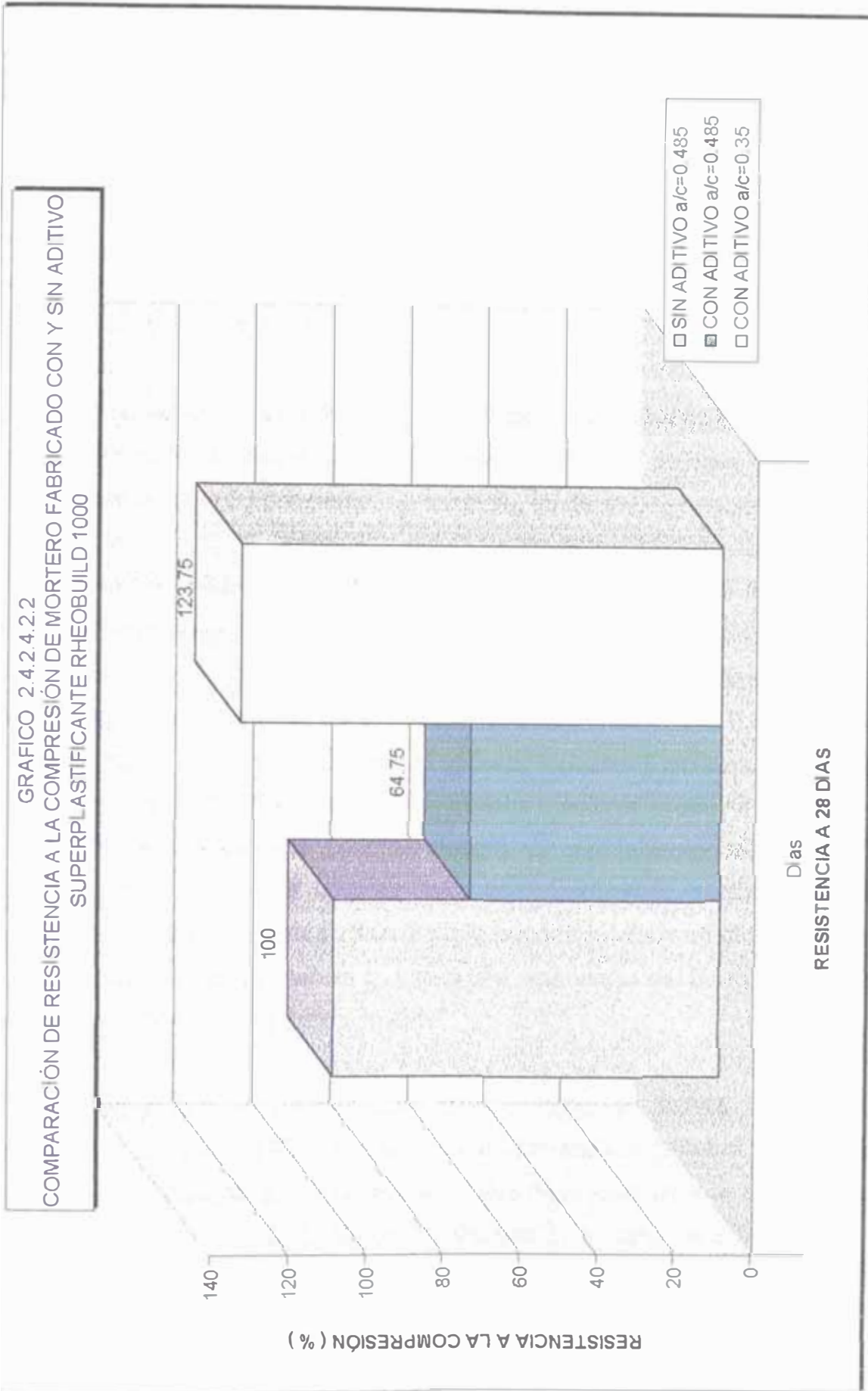
TABLA 2.4.2.4.2

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO ELABORADOS SIN ADITIVO Y CON ADITIVO RHEOBUILD 1000

Dias	RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)		
	Estandar	C/Aditivo	C/Aditivo
	Agua = 359 cc	Agua + Aditivo = 359 cc	Agua + Aditivo = 260 cc
3	2350	1600	3310
7	3250	1950	3940
28	4000	2590	4950







2.5 AGUA

2.5.1 CONCEPTOS GENERALES

La cantidad de agua que se utiliza en una mezcla es siempre mayor que la requerida por hidratación del cemento, esto debido a que la pasta tiene que ser trabajable; la cual se conoce como agua de consistencia normal y su valor esta en el orden del 28% del peso del cemento.

De acuerdo con H. Rüsçh, "para completar la hidratación de una cantidad dada de cemento se requiere químicamente una cantidad de agua con peso igual a aproximadamente el 25 por ciento del cemento, es decir, una relación agua cemento de 0.25. Sin embargo, durante el proceso de hidratación debe estar presente una cantidad adicional de agua para proporcionarle movilidad al agua misma dentro de la pasta de cemento, de manera que ésta puede alcanzar las partículas de cemento y proporcione la manejabilidad necesaria en la mezcla. Para concretos normales la relación agua-cemento varia por lo general en el intervalo 0.40 a 0.60, aunque para los concretos de alta resistencia se han utilizado relaciones tan bajas como 0.25. En este caso, la manejabilidad necesaria se obtiene mediante el uso de aditivos".

El agua para preparar concreto deberá ser razonablemente limpia y libre de sustancias dañinas para el concreto tales como colorantes, aceites y azúcares y también no deberá contener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en éste.

El agua que se utilizará para fabricar concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser de preferencia, potable. Si se va a usar un agua cuyas características químicas y lugar de procedencia se desconocen, se recomienda hacer un estudio de este y verificar si es apta para la producción de concreto.

La Norma NTP 339.088 establece como requisitos para agua de mezcla y curado.

TABLA 2.5.1.1

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	5.5 y 8

2.5.2 AGUA UTILIZADA

El agua empleada para la fabricación de concreto y para el curado, fueron las utilizadas del servicio de agua potable que abastece al Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM – UNI).



**FOTO No 1 VISTA PANORAMICA DE LA PLANTA DE CEMENTO ANDINO S.A.-
CONDORCOCHA – TARMA – JUNIN - PERU**



FOTO No 2 CEMENTO PORTLAND TIPO V – ANDINO, USADO PARA EL DESARROLLO DE LA TESIS



FOTO No 3 TAMIZADO DEL CEMENTO PORTLAND TIPO V - ANDINO



FOTO No 4 PESADO DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO BLAINE EN EL LABORATORIO DE LA FABRICA DE CEMENTO ANDINO



FOTO No 5 ENSAYO BLAINE DEL CEMENTO PORTLAND TIPO V - ANDINO



**FOTO No 6 PROCESO DE LAVADO DEL AGREGADO FINO
CANTERA JICAMARCA – PROPIEDAD DE UNICON**



**FOTO No 7 CHANCADORA SECUNDARIA Y ALMACENAMIENTO DEL AGREGADO GRUESO
CANTERA JICAMARCA – PROPIEDAD DE UNICON**



FOTO No 8 TAMIZADO DEL AGREGADO FINO

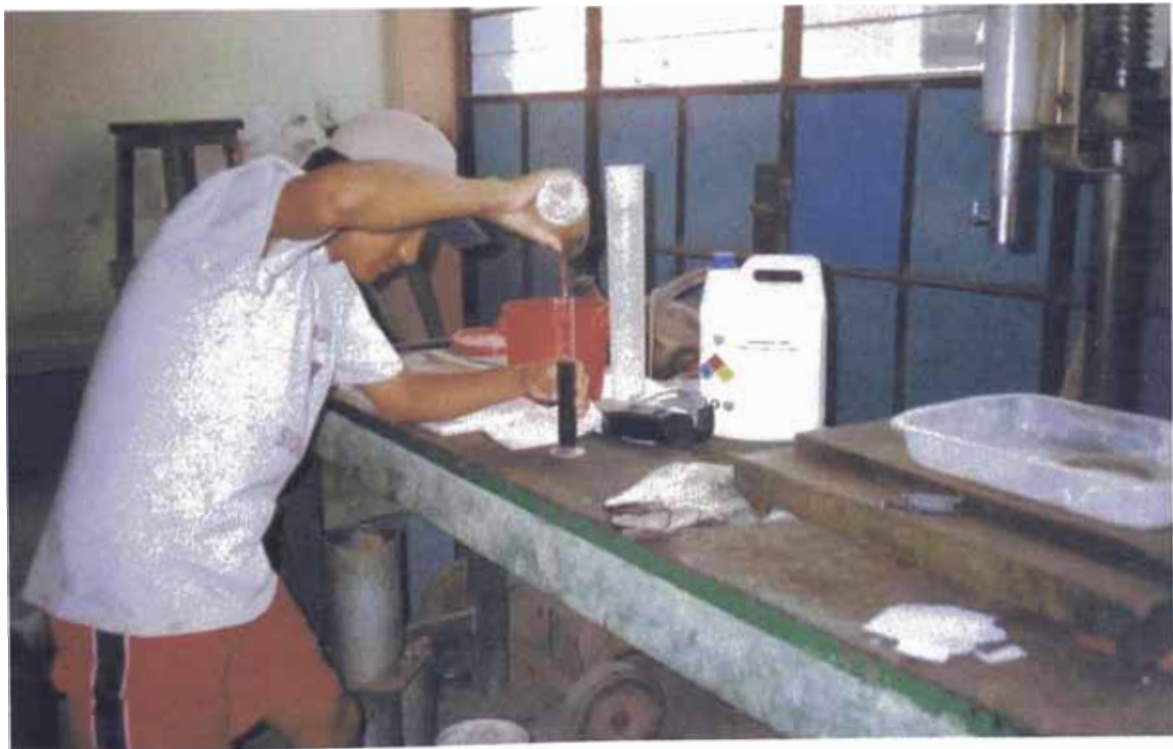


FOTO No 9 DOSIFICACION DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE RHEOBUILD 1000 PARA DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA



FOTO No 10 ENSAYO DE FLUIDEZ DEL MORTERO CON CEMENTO ANDINO TIPO V



FOTO No 11 TOMA DE MEDIDAS CON EL CALIPERS DEL ENSAYO DE FLUIDEZ



FOTO No 12 ENSAYO DE FLUIDEZ DE MORTERO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000



FOTO No 13 ELABORACION DE VIGAS PARA EL ENSAYO DE EXPANCIÓN AUTOCLAVE



FOTO No 14 ENSAYO DE EXPANSIÓN AUTOCLAVE



FOTO No 15 PREPARACION DE MORTERO CON CEMENTO PORTLAND TIPO V – ANDINO- Y ADITIVO RHEOBUILD 1000



FOTO No16 PREPARACION DE PROBETAS DE MORTERO CON CEMENTO PORTLAND TIPO V – ANDINO Y ADITIVO RHEOBUILD 1000

CAPITULO III

DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

3.1 CRITERIOS DE DISEÑO

No existe a la fecha un método de diseño oficial para la selección de las proporciones de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de los concretos de alta resistencia. El método de diseño del Comité 211 del ACI ha demostrado no ser el más conveniente y lo mismo ocurre con el de la British Standard, por ello se está trabajando con el procedimiento de aciertos y errores de diseños anteriores en tanto que gracias a la experiencia y los resultados de éstos se tiene ya los primeros esbozos de lo que en el futuro podría ser un Método Oficial de Diseño.

a) Cemento

La experiencia ha demostrado que si se trabaja con superplastificante, que es nuestro caso, la mejor alternativa es elegir un cemento de bajo contenido de alúmina a fin de favorecer la dispersión.

Por esta razón se escogió el Cemento Portland ASTM Tipo V con un porcentaje de C3A de 2.28%, el más bajo del mercado. Las características del cemento se indican en la parte correspondiente de ésta Tesis.

b) Agregado fino

La experiencia ha demostrado que en caso de mezclas con abundante fino, es mejor emplear agregado fino con partículas de grano más bien grueso, lavado y por lo tanto con poco polvo. Por estos motivos, que facilitan la trabajabilidad, se escogió un agregado con un módulo de fineza entre 3.0 y 3.2, limpio y de perfil adecuado. Los resultados obtenidos indican que la elección es correcta.

c) Agregado grueso

La experiencia indica que el agregado grueso debe ser de perfil angular, textura rugosa, duro, limpio, y de un tamaño máximo no mayor de $\frac{1}{2}$ ". Se escogió una piedra de origen aluvial y coluvial, triturada por chancado y con una resistencia mayor de 1600 kg/cm². Los resultados indican que la elección fue adecuada.

d) Agua

Se ha trabajado con agua potable del servicio del laboratorio de Ensayo de Materiales. Los requisitos del agua se indican en el Capítulo correspondiente.

e) Superplastificante

El superplastificante empleado fue el "Rheobuild 1000", disponible en el mercado y el único aún no ensayado bajo condiciones de laboratorio con un cemento de las características indicadas. El detalle de éste aditivo y las proporciones empleadas se encuentran en el Capítulo correspondiente.

3.2 PROPORCIONES DE LOS MATERIALES

En la selección de las proporciones de la unidad cúbica de concreto se ha en consideración la experiencia acumulada en diferentes países, Especialmente Estados Unidos, Inglaterra y Japón. El estudio de la misma ha permitido ir perfilando un procedimiento que, en el tiempo y con mayor experiencia teórica y práctica, permitirá llegar a un método peruano de diseño de mezclas para concretos de alta resistencia

La selección del contenido de cemento indica que éste no debería ser mayor a 500 á 550 kg / m³, a fin de no incrementar la demanda de agua. Se eligió 510 Kg. para el diseño de mezcla para el desarrollo de la presente Tesis.

La relación agua - cemento más baja recomendable es de 0.35, a fin de contar con una reserva de agua que facilite la mejor hidratación del cemento en forma de parte del agua de curado.

La proporción de aire se mantuvo en la indicada por la Tabla correspondiente del Comité ACI 211. Infortunadamente no se pudo comprobar por falta de equipo adecuado en el LEM.

Por el método de los volúmenes absolutos se calculó él que correspondía a la pasta y por diferencia se obtuvo el del agregado.

La experiencia en muchas obras de diversos países ha llegado a precisar un porcentaje 45 – 55 (Agregado fino – Agregado grueso) como el más adecuado para este tipo de concreto. A falta de un procedimiento oficial se utilizó este criterio.

El contenido de aditivo recomendado por el fabricante es de 0.6 a 1.6 lt por cada 100 Kg. de cemento, es decir de 0.276 a 0.680 lt/bolsa de cemento de 42.5 Kg. En nuestro caso y hechas las correcciones correspondiente se ha utilizado 1.8 lt. por cada 100 Kg. de cemento, es decir 0.765 lt por bolsa de cemento de 42.5 Kg. Este pequeño incremento, fruto de la realidad, permitió obtener asentamientos de 6" en el Cono de Abrams, transformando mezclas secas y segregables en mezclas fácilmente trabajables y con propiedades autocompactantes.

Es posible que haya métodos de selección de los materiales y proporciones más adecuados, sólo el tiempo lo dirá por que hasta la fecha ellos no se conocen.

3.3 DISEÑO DE MEZCLA

DISEÑO DE MEZCLA SLUMP 6"

CARACTERISTICA DE LA MEZCLA

a/c (seco)	=	0.35
Slump (asentamiento)	=	6"
Tamaño máximo nominal	=	½"
Cemento	=	510 kg
Agua de diseño	=	178.5 lt
Contenido de aire	=	1.5%

VOLUMEN ABSOLUTO DE LA PASTA

$$\text{Volumen Absoluto del Cemento} = \frac{510}{3150} = 0.1619 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Absoluto de Agua} = \frac{0.35 \times 510}{1000} = 0.1785 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Absoluto del Aire} = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Absoluto de la Pasta } \Sigma = 0.3554 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado} = 0.6446 \text{ m}^3$$

CONTENIDO DEL AGREGADO SECO

Se tomó como proporciones de los agregados la siguiente relación:

- Agregado Fino 45%

- Agregado Grueso 55%

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado Fino} = 0.45 \times 0.6446 = 0.2900 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado Piedra} = 0.55 \times 0.6446 = 0.3545 \text{ m}^3$$

En consecuencia los pesos de los agregados seco por metro cúbico de concreto son:

- Agregado Fino = 768 kg

- Agregado Grueso = 961 kg

PROPORCIONES DEL MATERIAL SECO (para 1 m³ de concreto)

Cemento = 510 kg

Agua = 178 lt

Agregado fino seco = 768 kg

Agregado grueso seco = 961 kg

PESO DEL AGREGADO HUMEDO (para 1 m³ de concreto)

Agregado fino húmedo = 768 x 1.0305 = 791 kg

Agregado grueso húmedo = 961 x 1.0065 = 967 kg

VALOR DEL AGUA EFECTIVA (para 1 m³ de concreto)

Humedad superficial del agregado fino = 3.05 - 0.71 = 2.34 %

Humedad superficial del agregado grueso = 0.65 - 1.11 = -0.46 %

$$\text{Aporte de agua del agregado fino} = 791 \times 0.0234 = 18.509 \text{ lt}$$

$$\text{Aporte de agua del agregado grueso} = 967 \times -0.046 = -4.448 \text{ lt}$$

$$\Sigma = 14.061 \text{ lt}$$

$$\text{Agua efectiva o corregida} = 178 - 14.061 = 163.93 \text{ lt}$$

PROPORCIONES DEL MATERIAL HUMEDO (1 m³ de concreto)

Cemento	=	510 kg
Agua	=	163.93 lt
Agregado fino húmedo	=	791 kg
Agregado grueso húmedo	=	967 kg

PROPORCIONES DEL MATERIAL HUMEDO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000 COMO PARTE DEL AGUA DE DISEÑO PARA $a/c = 0.321$ (1 m³ de concreto)

Cemento	=	510 kg
Agua	=	154.75 lt
Aditivo Rheobuild 1000	=	9.18 lt
Agregado fino húmedo	=	791 kg
Agregado grueso húmedo	=	967 kg

PROPORCIONES

RELACIONES EN PESO SECO

$$\frac{\text{Arena seca}}{\text{Cemento}} = \frac{768}{510} = 1.506$$

$$\frac{\text{Piedra seca}}{\text{Cemento}} = \frac{967}{510} = 1.884$$

$$1 : 1.506 : 1.884 / a/c = 0.35$$

RELACIONES EN PESO HUMEDO

$$\frac{\text{Arena humeda}}{\text{Cemento}} = \frac{791}{510} = 1.551$$

$$\frac{\text{Piedra humeda}}{\text{Cemento}} = \frac{967}{510} = 1.896$$

$$1 : 1.551 : 1.896 / a/c = 0.321$$

DISEÑO EN VOLUMEN PARA 1m³ DE CONCRETO a/c = 0.321 y Slump = 0"

Cemento	=	0.162 m ³
Agua	=	0.164 m ³
Agregado fino húmedo	=	0.298 m ³
Agregado grueso	=	0.357 m ³

DISEÑO EN VOLUMEN PARA 1m³ DE CONCRETO a/c = 0.321 y Slump = 6"

Cemento	=	0.162 m ³
Agua	=	0.155 m ³
Aditivo Rheobuild 1000	=	0.00918 m ³
Agregado fino húmedo	=	0.298 m ³
Agregado grueso	=	0.357 m ³

Ocupando la mayor parte del volumen del concreto el agregado fino y grueso en un 65.5%, el cemento ocupa el 16.2%, el agua un 15.5%, el aditivo 0.918% y el aire ocupando un total de 1.882%.

VALORES PARA UNA TANDA DE 66 kg - CONCRETO SIN ADITIVO (capacidad de la mezcladora)

$$1 : 1.551 : 1.896 / a/c = 0.321$$

Cemento	=	14.00 kg
Agua	=	4.49 lt
Agregado fino seco	=	21.71 kg
Agregado grueso seco	=	26.54 kg

VALORES PARA UNA TANDA DE 66 kg – CONCRETO CON ADITIVO (capacidad de la mezcladora)

$$1 : 1.551 : 1.896 / a/c = 0.321$$

Cemento	=	14.00 kg
Agua	=	4.24 lt
Aditivo Rheobuild 1000	=	0.252 lt
Agregado fino	=	21.71 kg
Agregado grueso	=	26.54 kg

La dosificación utilizada de aditivo Rheobuild 1000 es de 0.765 lt por cada bolsa de cemento de 42.5 kg.

Este diseño de concreto sin aditivo y con aditivo para un $a/c = 0.321$ en estado húmedo de los materiales se preparó en el LEM – UNI, con los cuales se fabricaron probetas cilíndricas de 4" de diámetro y 8" de alto utilizando moldes metálicos proporcionados por el Laboratorio. Se hicieron probetas de estas dimensiones por que estábamos trabajando con un concreto de alta resistencia y la Máquina para realizar los ensayos a compresión presentaba algunas limitaciones; es por ello que no se fabricaron probetas estándar de 6" x 12".

Las probetas de concreto se hicieron en estos moldes metálicos de 4" x 8", previamente limpiados con petróleo para facilitar el desencofrado de estas. El procedimiento seguido para la elaboración de estas probetas fue igual que para un concreto normal ya que la Norma NTP no estipula la elaboración de probetas de concretos de alta resistencia y/o de concretos autocompactantes.

La fabricación de probetas de concreto se hizo en tres capas, donde por cada una de estas capas se dio 25 golpes (chuceado) en forma helicoidal con una varilla o barra compactadota de 16 mm (5/8 pulgadas) de diámetro, de aproximadamente 60 cm. de longitud y terminado en punta semiesférica; y finalizado cada capa golpeando ligeramente a los costados de los moldes antes de continuar con la otra capa. Terminada las tres capas, se enraza la probeta y colocamos su descripción o datos de la probeta como fecha, relación a/c, propietario, slump, etc. Después de que la probeta está fraguada, se desencofró y luego éstas fueron llevadas a su respectiva zona de curado, cual fuese el caso.

Se fabricaron en total más de 600 probetas de concreto de alta resistencia, los cuales correspondían para los estudios preliminares y definitivos, de la presente Tesis de investigación.

GRAFICO 3.3.1
MATERIALES DE DISEÑO EN PORCENTAJE POR METRO CUBICO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA SIN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE RHEOBUILD 1000

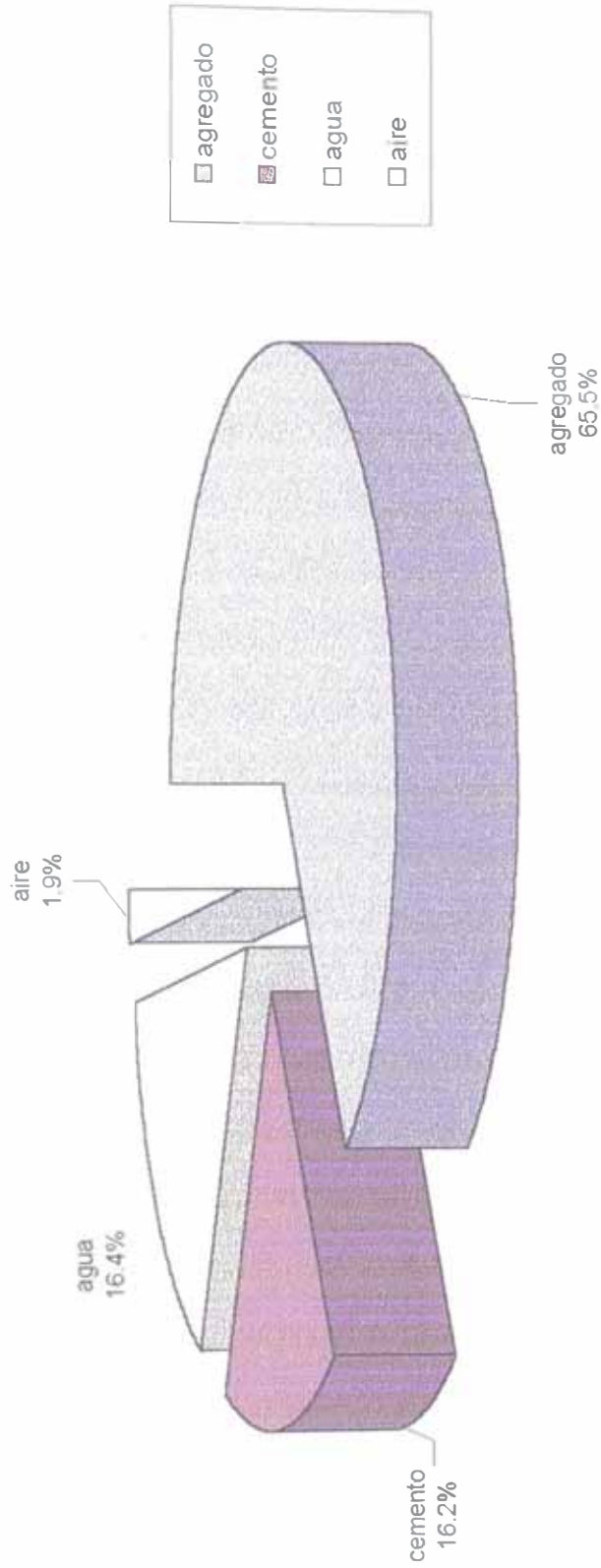
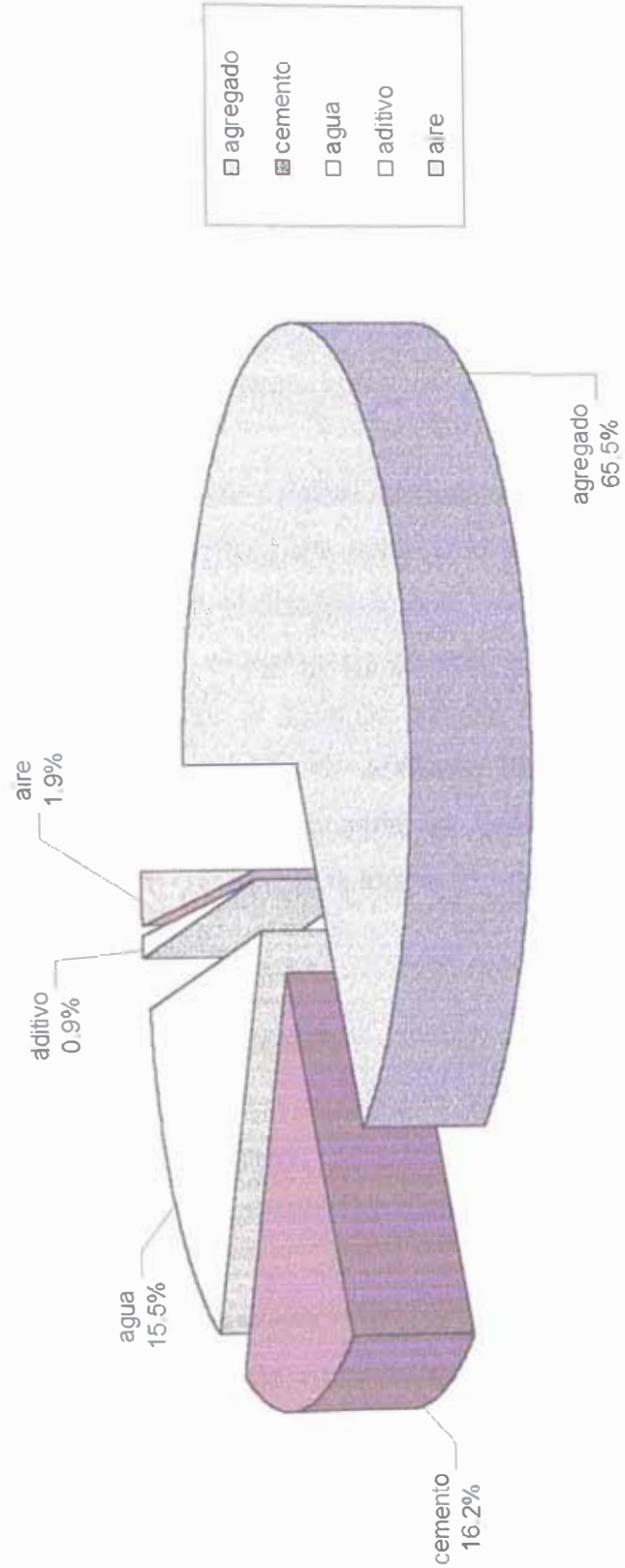


GRAFICO 3.3.2
MATERIALES DE DISEÑO EN PORCENTAJE POR METRO CUBICO DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA
CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE RHEOBUILD 1000



CAPITULO IV

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

4.1 MEZCLADO DEL CONCRETO

El concreto fue elaborado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM – UNI) en una mezcladora eléctrica de tambor basculante de 66 kilos de capacidad.

Una consideración antes de realizar el mezclado de los materiales, es que debemos mojar antes el tambor para así evitar que este absorba la poca cantidad de agua que se está usando en el diseño de concreto. Para un mezclado correcto en la mezcladora echar primero el agregado grueso, el agregado fino, el cemento y por ultimo el aditivo mezclado con el agua de diseño. A diferencia de la elaboración de concretos normales, la fabricación de concreto de alta resistencia con aditivo superplastificante (Rheobuild 1000), necesita un tiempo de mezclado mayor, de unos 5 a 6 minutos, esto para garantizar la formación de una mezcla homogénea.

4.2 ENSAYO DE CONSISTENCIA

NTP 339.035

Las propiedades del concreto fresco están íntimamente ligado a las proporciones de los materiales empleados en la elaboración de la mezcla.

Para este ensayo, se coloca una muestra del concreto fresco compactada y varillada en un molde con forma de cono trunco (cono de Abrams), el molde es elevado permitiendo al concreto desplazarse hacia abajo. La distancia entre la posición inicial y la desplaza, medida en el centro de la superficie superior del concreto, se reporta como el asentamiento del concreto.

El diseño de concreto con aditivo superplastificante Rheobuild 1000 presentado anteriormente, en estado fresco presentó un slump de 5" en el instante en que se acababa de retirar el cono de Abrams, pero a medida que transcurrían unos cuantos segundos la mezcla siguió descendiendo hasta llegar a medirse un slump de 6" después de 10 segundos aproximadamente; el cual presentaba un asentamiento de derrumbamiento y tenía buena consistencia, era trabajable, no presentaba segregación, fácil de acomodarse y manejable, en consecuencia podemos considerar que se trata de una mezcla autocompactante. Mientras que para el concreto fabricado sin aditivo del mismo diseño, se obtuvo un Slump de 0", con presencia de cangrejas, ya que era una mezcla seca.

TABLA 4.2.1

CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO

METODO DEL CONO DE ABRAMS

Datos del Diseño Húmedo por m3

Materiales	Unidad	Concreto sin Aditivo	Concreto con Aditivo
Cemento	Kg	510	510
Agua	Lt	163.93	154.75
Aditivo Rheobuild 1000	Lt	0	9.18
Arena	Kg	791	791
Piedra	Kg	967	967
Peso Unitario de Diseño	Kg/m3	2300	2300

Slump Obtenido	Pulgada	0"	6"
----------------	---------	----	----

4.3 ENSAYO DE FLUIDEZ

NTP 339.085

La mezcla fabricada sin aditivo, que presenta un slump de 0", es una mezcla seca, donde no hay formación de mortero, pero si de terrones de mortero, debido a la poca cantidad de agua presente en la mezcla, por lo tanto la mezcla presenta mucha segregación, no tiene consistencia, no es trabajable, en conclusión es un concreto malo. Por ello, cuando se desarrolló este ensayo se observó que se

producía mucha segregación, donde las partículas más gruesas y los terrones de mortero tienden a separarse de la muestra de concreto, esto se empezó a producir después de empezadas las sacudidas en la mesa de flujo. Mientras que el concreto fabricado con aditivo (Slump = 6"), como ya se mencionó anteriormente, tiene un buen comportamiento, es decir es homogéneo, tiene buena consistencia, no presenta segregación y es un concreto rheoplástico.

TABLA 4.3.1

FLUIDEZ DEL CONCRETO

Slump	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	D5 (cm)	D6 (cm)	Prom.(cm)	Fluidez (%)
0"	51.0	46.0	50.0	52.0	51.0	50.0	50.0	100.0
6"	48.5	49.0	46.0	47.0	48.0	47.0	47.6	90.3

$$f (\%) = \text{FLUIDEZ}$$

$$f (\%) = (D - 25) \times 100 / 25$$

4.4 ENSAYO DE EXUDACIÓN

NTP 339.077

En este ensayo, el cual se procedió a realizar según la norma indicada, tanto para el concreto fabricado sin aditivo y con aditivo Rheobuild 1000. Después de esperar por el espacio de 2.30 horas aproximadamente de iniciado el ensayo en ninguno de los dos concretos se pudo obtener agua exudada, esto debido a que el diseño de estos concretos tienen una muy baja relación a/c, la cual cabe recalcar que tenemos un a/c = 0.321 en nuestro diseño húmedo y en estado seco de a/c = 0.35. En consecuencia esta relación a/c por ser tan baja, en el concreto sin aditivo, el agua de diseño no es suficiente para que el concreto en estado fresco tenga una buena consistencia, trabajabilidad, plasticidad, etc. y además de presentar un slump de 0" y con presencia de cangrejeras; es por ello que no hay exudación en este concreto por ser seco. Por otro lado el concreto fabricado con aditivo superplastificante, tiene buenas características en estado fresco pero se mantiene la

relación a/c, y no hay exudación en este concreto ya que el aditivo solo mejora las características del concreto pero no produce un incremento de agua.

4.5 ENSAYO DE PESO UNITARIO

NTP 339.046

El peso unitario es el peso varillado, expresado en kilos por metro cúbico, de una muestra representativa de concreto, se emplea principalmente para:

- Determinar o comprobar el rendimiento de la mezcla.
- Determinar el contenido de materiales (cemento, agua y agregados) por metro cúbico de concreto y así como el contenido de aire.
- Tener un grado de compactación del concreto.

TABLA 4.5.1

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

PROPORCIONES DE MATERIAL DE DISEÑO HUMEDO POR m³ (a/c = 0.321)

Materiales	UND	Concreto sin Aditivo	Concreto con Aditivo
		Slump = 0"	Slump = 6"
Cemento	Kg	510	510
Agua	Lt	163.93	154.75
Aditivo Rheobuild 1000	Lt	0	9.18
Arena	Kg	791	791
Piedra	Kg	967	967
Peso Unitario de Diseño	Kg/m³	2300	2300

ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

Volumen del balde 1/3 p3

Datos y Resultados	UND	Concreto sin Aditivo	Concreto con Aditivo
		Slump = 0"	Slump = 6"
Peso del balde	Kg	6.90	6.90
Peso del balde + concreto	Kg	26.15	29.90
Peso del concreto	Kg	19.25	23.00
Volumen del balde	m ³	0.00943	0.00943
Contenido de aire	%	-12.67	5.70
Peso Unitario Real	Kg/m³	2041	2439

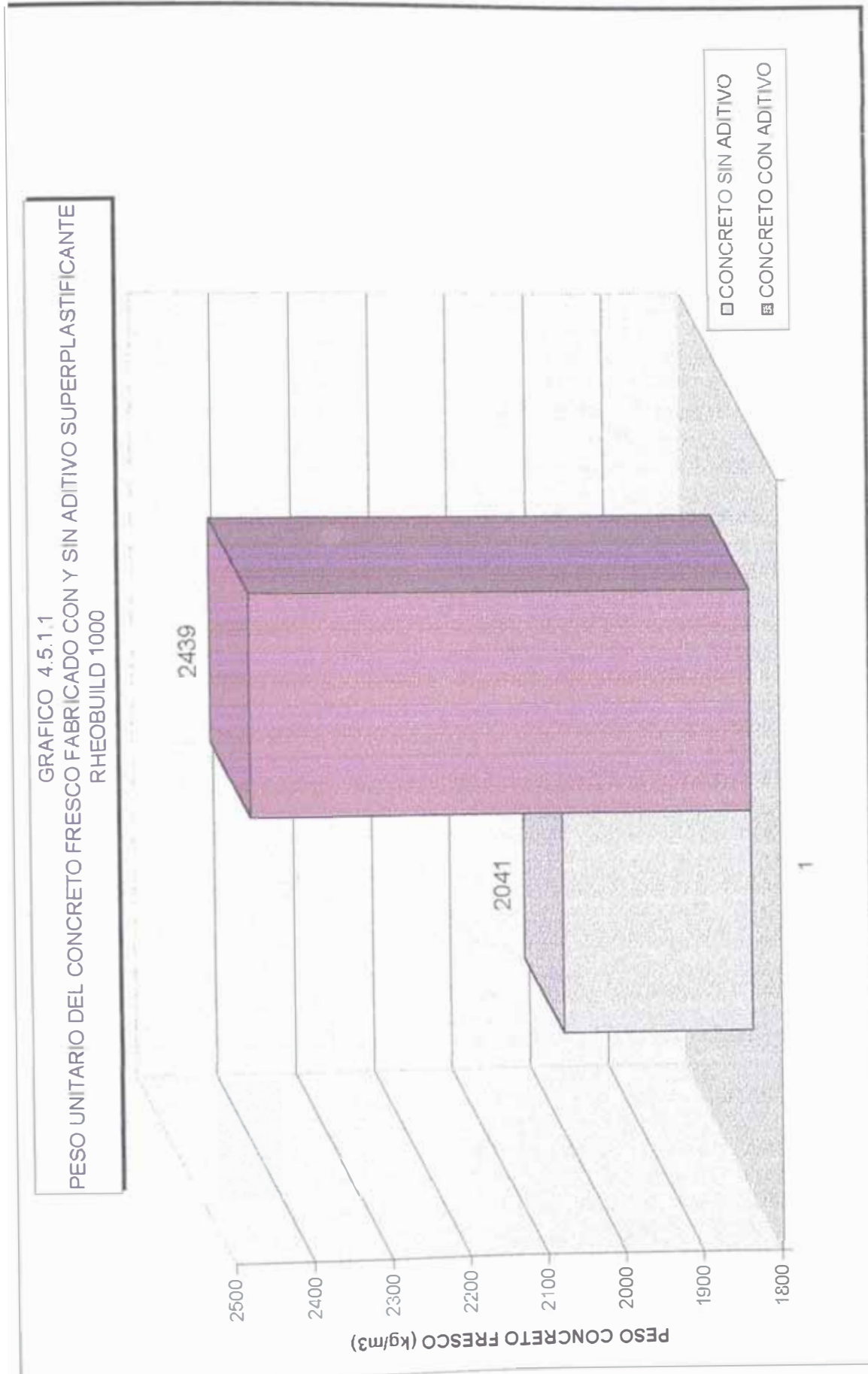
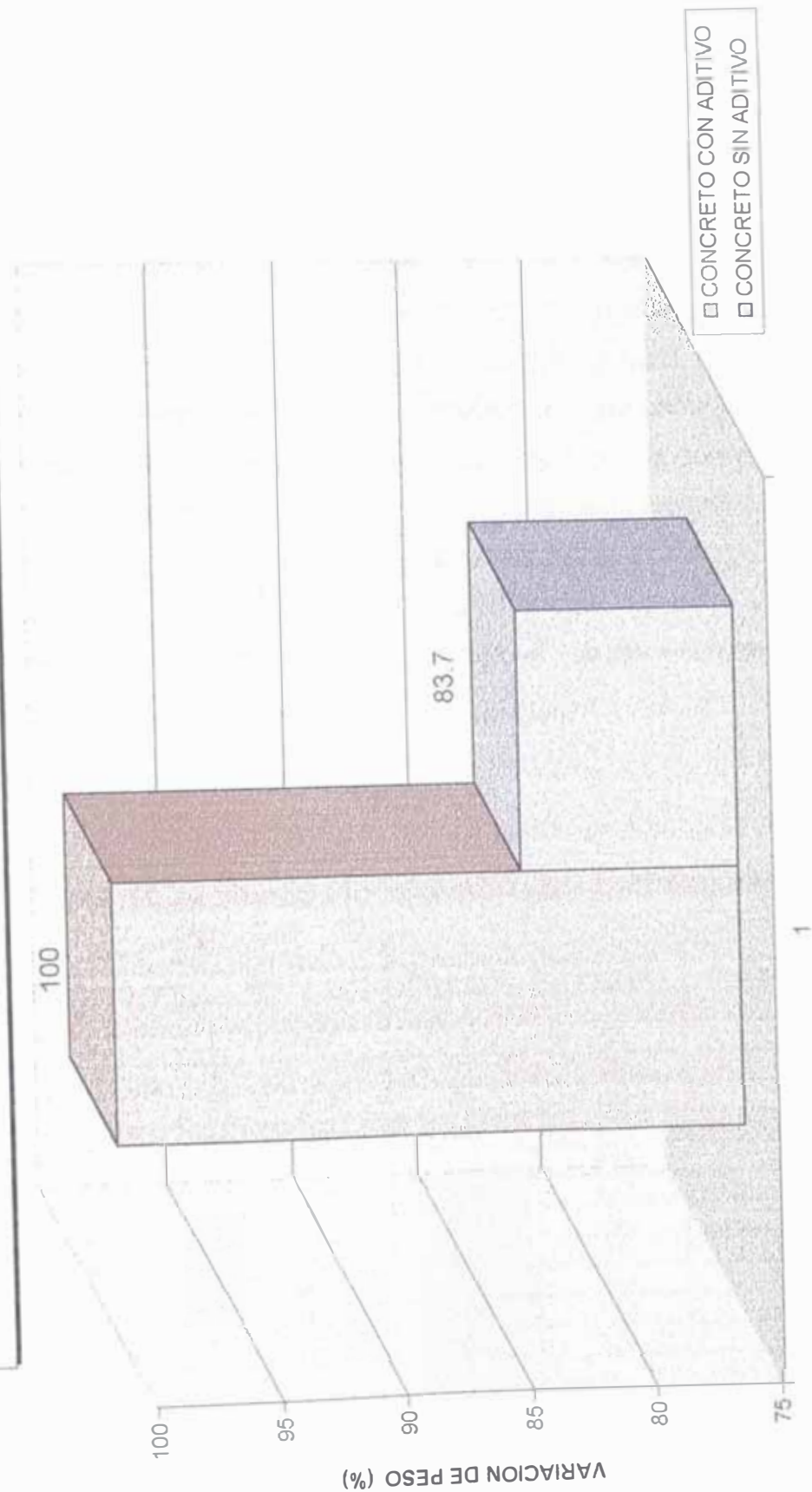


GRAFICO 4.5.1.2
VARIACIÓN PORCENTUAL EN PESO, DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO FABRICADO CON Y SIN ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE RHEOBUILD 1000



4.6 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

NTP 339.082

Este ensayo se realizó, para el concreto fabricado sin aditivo (Slump = 0") y el fabricado con aditivo Rheobuild 1000 (Slump = 6"), cuya muestra de mortero se obtuvo por tamizado de una muestra representativa con la malla de N° 4, a una temperatura de 20° C del laboratorio (LEM –UNI) se desarrollo dicho ensayo, con el uso de agujas normalizadas cuyos diámetros son: 1 1/8", 1 3/16", 9/16", 5/16", 4/16" y 3/16", cuyas áreas respectivas son de 1 pulg², ½ pulg², ¼ pulg², 1/10 pulg², 1/20 pulg² y 1/40 pulg²; y a intervalos regulares de tiempo se mide la resistencia a la penetración cuando la aguja penetre en el mortero una profundidad de 25 mm ±2 mm hasta la marca en la aguja, cuyos valores mostramos a continuación en las Tablas 4.6.1 y 4.6.2 de la cual construido el grafico correspondiente a resistencia a la penetración versus tiempo transcurrido, podemos hallar el Tiempo de Fraguado Inicial (TFI) para una penetración de 500 lb/pl² <> 35 kg/cm² y el Tiempo de Fraguado Final (TFF) para 4000 lb/pl² <> 250 kg/cm², cuyos resultados mostramos a continuación:

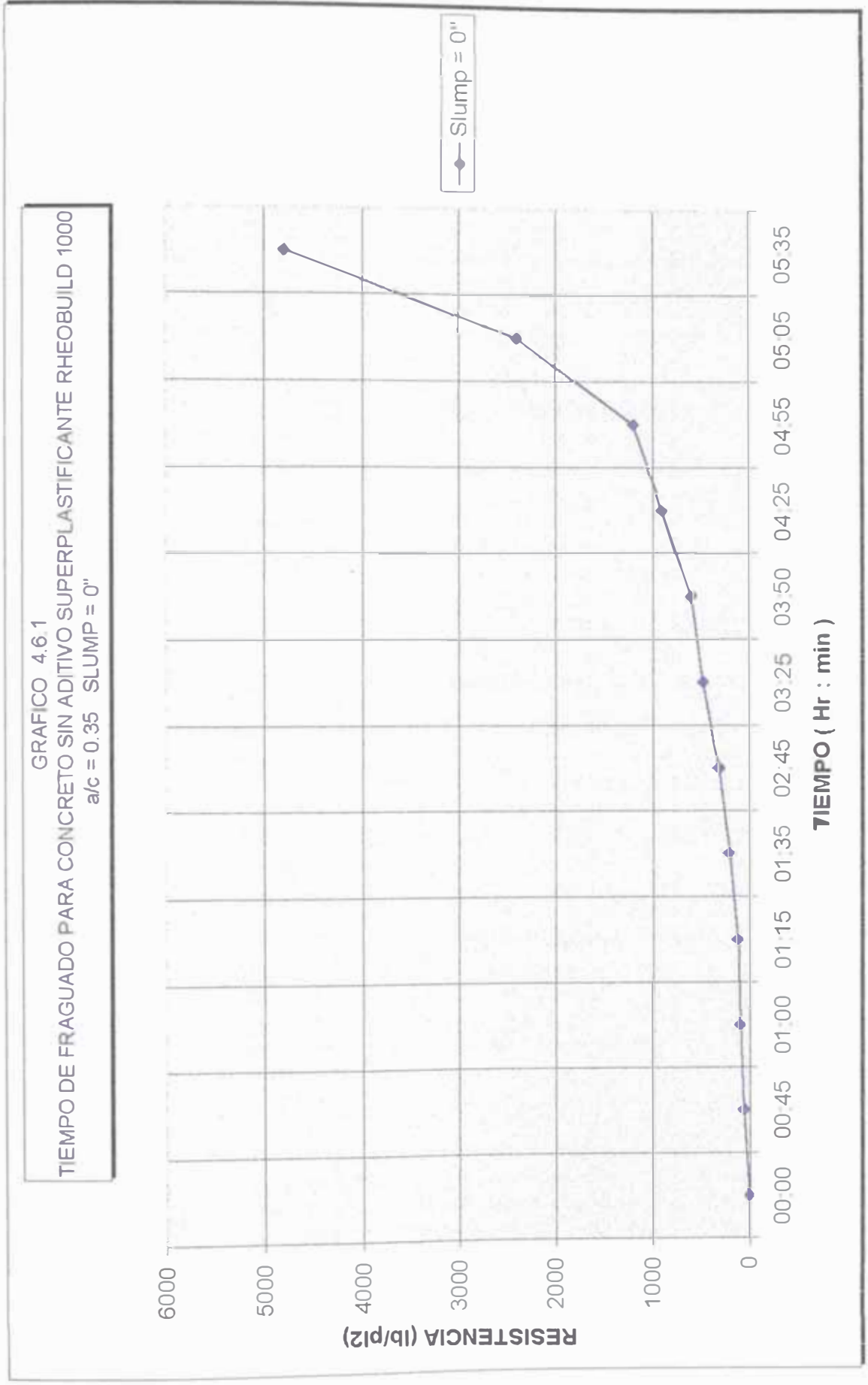
TABLA 4.6.1

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO a/c = 0.321 Slump = 0"

Hora	Tiempo Acum.	Diam. Aguja	Área (pl2)	Carga (lb)	Resist. (lb/pl2)
01:25	00:00	1.128"	1	0	0
02:10	00:45	1.128"	1	55	55
02:25	01:00	1.128"	1	90	90
02:40	01:15	1.128"	1	120	120
03:00	01:35	0.798"	0.5	100	200
04:10	02:45	0.798"	0.5	155	310
04:40	03:25	0.564"	0.25	120	480
05:05	03:50	0.357"	0.1	60	600
05:40	04:25	0.357"	0.1	90	900
06:10	04:55	0.357"	0.1	120	1200
06:20	05:05	0.252"	0.05	120	2400
06:50	05:35	0.178"	0.025	120	4800

Tiempo de Fraguado Inicial (500 psi) = 03:29 h.

Tiempo de Fraguado Final (4000 psi) = 05:25 h.



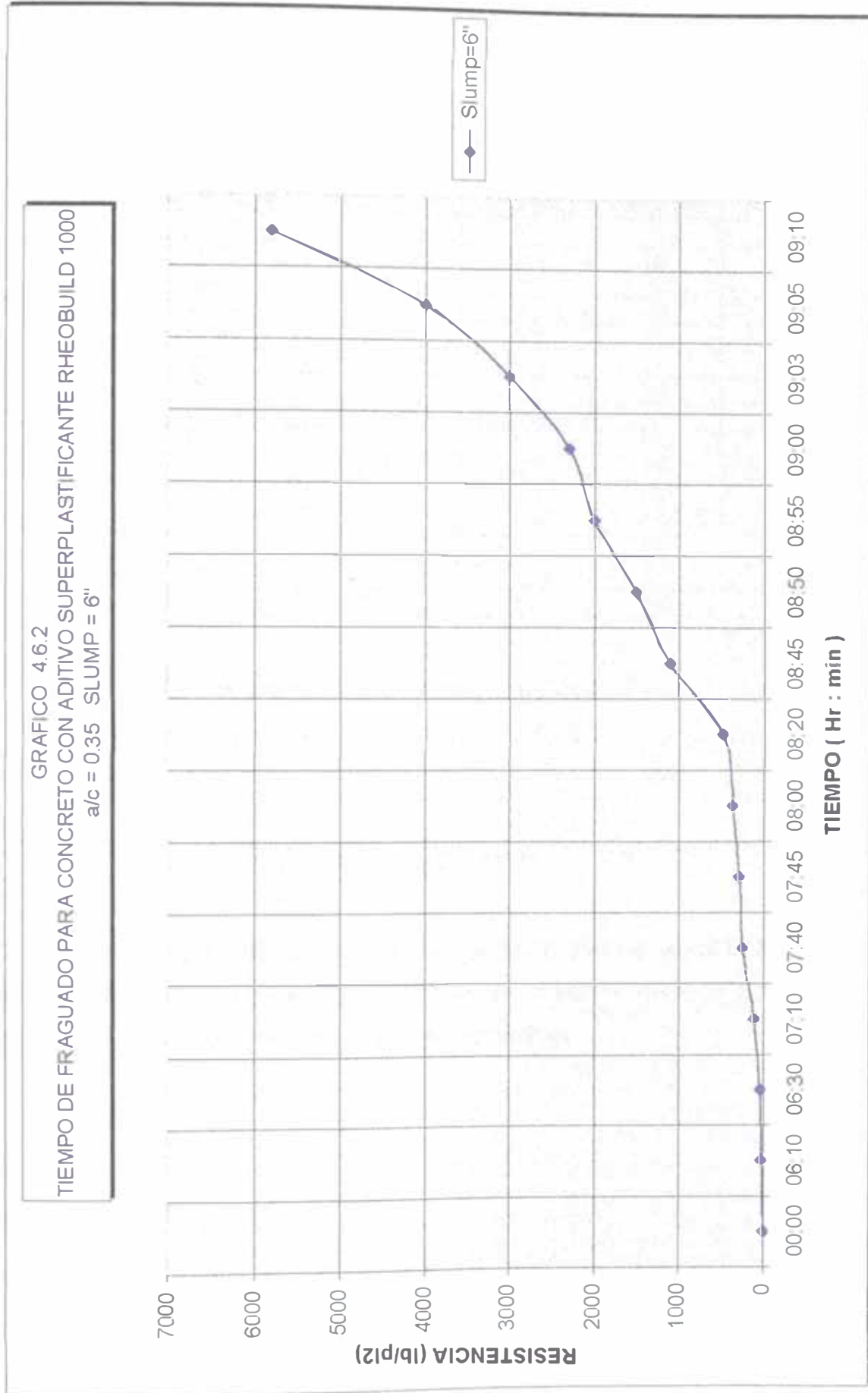


TABLA 4.6.2

ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO $a/c = 0.321$ Slump = 6"

Hora	Tiempo Acum.	Diam. Aguja	Área (pl2)	Carga (lb)	Resist.(lb/pl2)
09:35	00:00	1.128"	1	0	0
03:45	06:10	1.128"	1	20	20
04:05	06:30	1.128"	1	40	40
04:45	07:10	0.798"	0.5	55	110
05:15	07:40	0.564"	0.25	60	240
05:30	07:45	0.564"	0.25	70	280
05:45	08:00	0.564"	0.25	90	360
06:05	08:20	0.564"	0.25	120	480
06:30	08:45	0.357"	0.1	110	1100
06:35	08:50	0.252"	0.05	75	1500
06:40	08:55	0.252"	0.05	100	2000
06:45	09:00	0.252"	0.05	115	2300
06:48	09:03	0.178"	0.025	75	3000
06:50	09:05	0.178"	0.025	100	4000
07:00	09:10	0.178"	0.025	145	5800

Tiempo de Fraguado Inicial (500 psi) = 08:21 h.

Tiempo de Fraguado Final (4000 psi) = 09:05 h.

4.7 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE

El ensayo de contenido de aire no se pudo efectuar en el LEM – UNI, debido a que en el Laboratorio los equipos existentes estaban defectuosos a la fecha en las que se habían programado los ensayos respectivos.



FOTO No 22 FABRICACION DE CONCRETO SIN ADITIVO



FOTO No 23 FABRICACION DE CONCRETO CON ADITIVO RHEOBUILD 1000



FOTO No 24 ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO

CAPITULO V

METODOLOGIAS DE CURADO DEL CONCRETO

5.1 CURADO EN LABORATORIO

NTP 339.033

El curado de probetas en laboratorio se hizo por inmersión total de estas a $23\text{ C} \pm 2$ temperatura del laboratorio, pero estas probetas no se pudieron mantener a una humedad relativa de 95% después de ser fabricadas, debido a que en el laboratorio no hay una cámara de curado, donde se mantenga esta temperatura y una humedad relativa de $95\% \pm 3\%$. El agua utilizada para curado es de la red de agua potable que suministra Sedapal a la UNI, por otro lado el agua de curado fue saturada incorporando 2 gr. de cal hidratada por litro de agua, esto para subir la alcalinidad, y mantener el pH de 13 de las probetas de concreto. Este curado en laboratorio se hicieron para las probetas fabricadas sin el uso de aditivo, cuyo slump fue de 0" y las fabricadas con aditivo superplastificante con un slump de 6". El tiempo de curado de estas probetas fue de 3, 7, 14, 28 y 42 días respectivamente.

El tiempo de curado solo se hizo hasta 42 días, debido a que, para la fabricación del concreto en estudio se utilizó un superplastificante, y como podemos apreciar su incremento de resistencia para estos tipos de concreto después de los 28 días es pequeño, de 2.6% curado bajo condiciones de laboratorio.

5.2 CURADO BAJO CONDICIONES DE OBRA

Del total de más de 600 probeta fabricadas para el desarrollo de la presente investigación, se fabricaron 330 probetas de 4" x 8", para ser curadas bajo sus respectivos métodos de curado bajo condiciones de obra, las cuales se hizo al costado del nuevo Laboratorio de Mecánica de Suelos mientras éste se terminaba de construir. Las probetas fueron curadas durante todo el día, según era el caso,

donde la temperatura variaba de 19 °C por las mañanas, 20 °C por las tardes y hasta 28 °C al medio día.

Además de las probetas curadas por aspersión y yute hasta el momento del ensayo, se tuvieron variaciones dentro de estos grupos en el tipo de curado, como por ejemplo del grupo de 36 probetas curadas hasta 7 días con agua y yute, de este grupo ensayamos 6 curadas con agua y yute a la edad de 7 días y al resto de las probetas le retiramos el yute y las dejamos a la intemperie para que estas se sigan curando por la humedad ambiental y ver su desarrollo con el tiempo; luego son ensayadas a 14, 28 y 42 días.

Este procedimiento se siguió para edades de 3 , 7,14, 28 y 42 días para los curados con agua por aspersión y yute.

5.2.1 CURADO CON AGUA POR ASPERSIÓN

El curado por este método se hizo con agua potable, y se hacía con un control visual, ya que a la fecha en nuestro medio no hay instrumentos que midan el grado de humedad superficial sobre probetas de concreto; por ello se curaba por este método cada vez que la superficie de las probetas presentaba la superficie semi seca, y esto sucedía de acuerdo a la variación de la temperatura durante el día, llegando a curar por este método hasta 10 veces al día, y cada uno de 10 minutos aproximadamente.

Un inconveniente es que durante el desarrollo de este tipo de curado, hay una cantidad de agua que discurre, por ello es necesario habilitar un sistema de drenaje superficial para evacuarlo. La cantidad de agua que discurre dependerá de cuan impermeable sea el concreto, ya que cuanto más impermeable sea el concreto mayor será el tiempo de curado y mayor la cantidad de agua a utilizar para el curado y también la que discurre.

5.2.2 CURADO CON AGUA Y YUTE

Para este tipo de curado bajo condiciones de obra se utilizó yute y agua potable. El yute fue envuelto lateralmente las probetas de concreto por aproximadamente 4 mm. de espesor, la cual fue atada con pabalo. Posteriormente estas probetas fueron curadas con agua y la inspección de este procedimiento fue visual, es decir se curaba cada vez que se observaba que la capa externa del yute este semi seca; este procedimiento se hacia hasta 4 veces al día por que el yute mantenía húmedo la probeta casi todo el tiempo, es decir el yute evitaba en cierta forma que el agua de curado se evapore.

Después de varios días de curado con este procedimiento y retirado el yute de la superficie de la probeta se observó que este tiene un color superficial mas opaco que las curadas con aspersion y las dejadas a la intemperie, pero esto con un lavado de la superficie, tenia una normal presentación.

Si bien es cierto este procedimiento es aplicado en el curado de elementos verticales preferentemente por la facilidad de colocación y los buenos resultados obtenidos.

5.2.3 CURADO CON CURADOR QUÍMICO MASTERKURE

Este curado se hizo utilizando el aditivo Masterkure, producido por MBT, el cual fue aplicado a la superficie de las probetas de concreto con brocha en dos capas delgadas y uniforme. La aplicación de este aditivo curador se hizo después de retirar el molde de las probetas, cuyo rendimiento proporcionada por el fabricante fue de $9.8 \text{ m}^2/\text{lt}$, el cual fue usado y podemos concluir que el rendimiento del aditivo curador fue de $0.102 \text{ lt}/\text{m}^2$. Este aditivo curador es de color blanco, no es viscoso, pero después de secarse es transparente y en los primeros días después del curado presentaba una superficie liza y le daba un color mas oscuro que uno curado con yute y a la intemperie.

5.2.4 CURADO POR EL MEDIO AMBIENTE

Estas probetas preparadas igual con aditivo superplastificante Rheobuild 1000, fueron dejadas a la intemperie después de desencofrarlas, para que tomen la humedad del medio ambiente como elemento curador y ver como es su desarrollo de la resistencia a diversas edades como los casos anteriores a 3, 7, 14, 28 y 42 días. La temperatura ambiente a la que estuvieron expuestas las probetas fue muy variado, desde 19 °C por las mañanas, 20 °C por las tardes y hasta 28 °C al medio día. Estas probetas también estuvieron sujetas a los diversos cambios de temperatura que las otras probetas curadas por aspersión, con yute y agua y con curador químico.



FOTO No 33 CURADO DE PROBETAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN LABORATORIO



FOTO No 34 CURADO DE PROBETAS DE CONCRETO CON AGUA POR ASPERSION Y CURADO A LA INTEMPERIE



FOTO No 35 CURADO DE PROBETAS DE CONCRETO CON AGUA POR ASPERSION MAS INTEMPERIE

CAPITULO VI

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

Para realizar el ensayo de compresión de la probetas cilíndricas de 4" x 8" curadas bajo condiciones de laboratorio y obra, se utilizó la Máquina Tinius Olsen Testing – Machina Co, cuya capacidad máxima es de 100 000 Kg., y esta provisto de un cabezal inferior rígido y plano sobre el que descansa la probeta y un cabezal superior que está provisto de un dispositivo de rótula, que le permite rotar libremente e inclinarse un ángulo máximo de 4° en cualquier dirección. También se pudo verificar que esta máquina de compresión fue calibrada en Noviembre del 2001, lo cual nos garantiza la calidad de los ensayos a compresión.

Las probetas ensayadas, a una edad determinada, estaban sujetas a las tolerancias de tiempos indicadas por la NTP correspondiente:

TABLA 6.1.1

TOLERANCIA DE TIEMPO DE LA PROBETAS A SER ENSAYADAS A DIVERSAS EDADES SEGÚN LA NTP 339.034

EDAD DE ENSAYO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 horas	± 0.5 horas
3 días	± 2 horas
7 días	± 6 horas
28 días	± 20 horas
90 días	± 2 días

Previo a cada ensayo de las probetas, estas fueron refrendadas con una capa de azufre y bentonita en ambas caras, y es importante verificar que el azufre a refrendar no este quemado. Es importante y necesario el refrendado ya que la resistencia de las probetas cilíndricas sin refrendar se reduce hasta en un 40% y las caras de las probetas deben estar totalmente lisas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje longitudinal del cilindro de la maquina de ensayo ya que las cargas excéntricas disminuyen la resistencia aproximadamente un 12%.

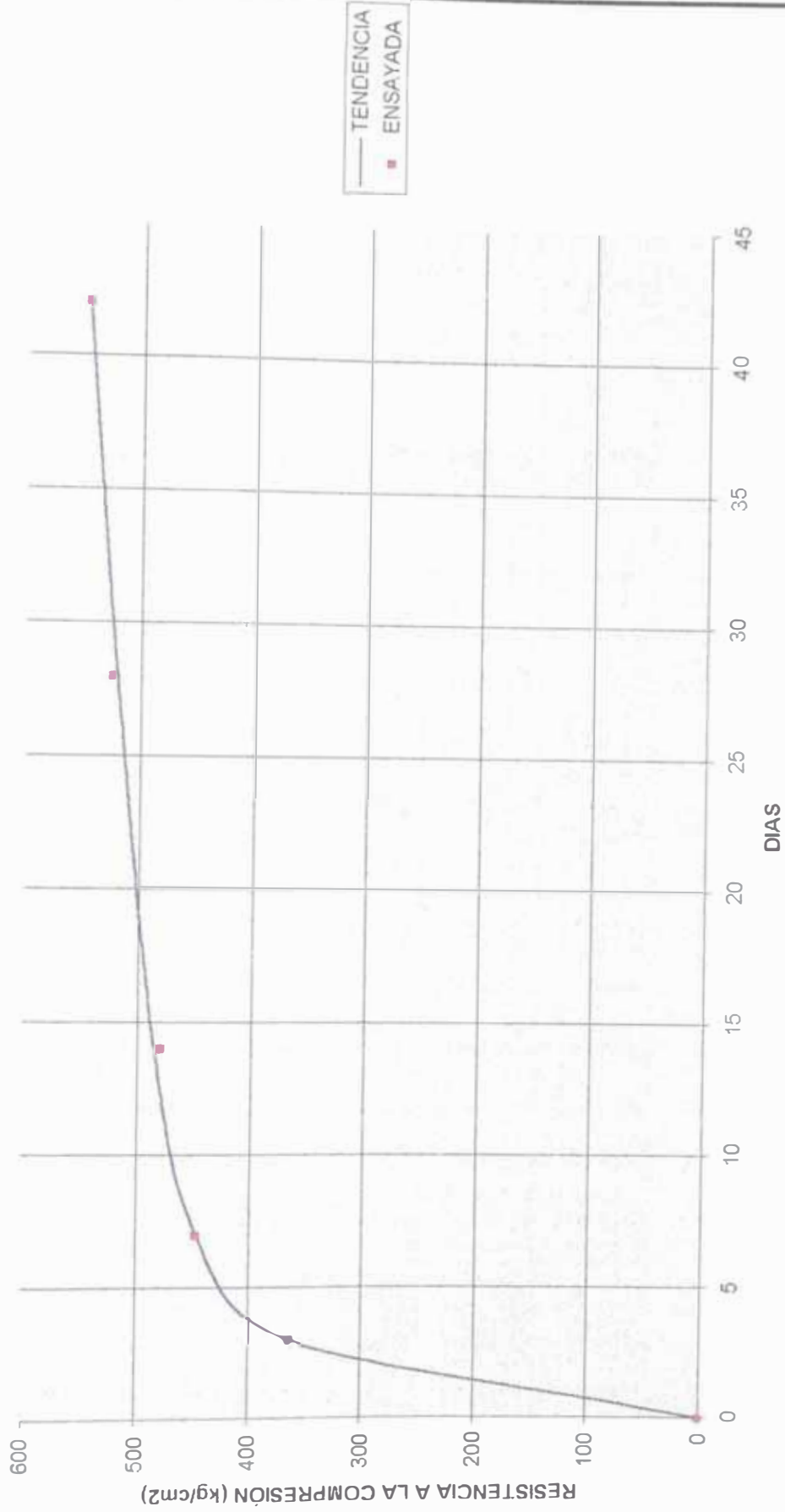
Las probetas fabricadas sin aditivo y con aditivo luego de ser curadas bajo condiciones de laboratorio a diversas edades, fueron ensayadas, al igual que las probetas curadas bajo condiciones de obra, cuyos resultados mostramos a continuación en las siguientes tablas.

TABLA 6 1.2

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO SIN ADITIVO RHEOBUILD 1000,
CURADAS EN LABORATORIO

Fecha de Obtención	Fecha de Ensayo	a/c	Slump pulg	Diametro (cm)	Altura (cm)	Carga Max. (kg)	Secc. Normal Carga (cm2)	Resistencia Compr. (kg/cm2)	Promedio (kg/cm2)	Número de Dias
25/02/02	28/02/02	0.35	0"	10.3	20.0	30400	83.32	365	364	3 dias
25/02/02	28/02/02	0.35	0"	10.1	20.0	29800	80.12	372		
25/02/02	28/02/02	0.35	0"	10.0	20.0	28000	78.54	357		
25/02/02	04/03/02	0.35	0"	10.0	20.0	33400	78.54	425	447	7 dias
25/02/02	04/03/02	0.35	0"	10.1	20.0	36000	80.12	449		
25/02/02	04/03/02	0.35	0"	10.4	20.0	39600	84.95	466		
25/02/02	11/03/02	0.35	0"	10.1	20.0	38000	80.12	474	480	14 dias
25/02/02	11/03/02	0.35	0"	10.0	20.0	37400	78.54	476		
25/02/02	11/03/02	0.35	0"	10.1	20.0	39200	80.12	489		
25/02/02	25/03/02	0.35	0"	10.2	20.0	43000	81.71	526	524	28 dias
25/02/02	25/03/02	0.35	0"	10.0	20.0	41000	78.54	522		
25/02/02	25/03/02	0.35	0"	10.1	20.0	42000	80.12	524		
25/02/02	08/04/02	0.35	0"	10.2	20.0	44800	81.71	548	547	42 dias
25/02/02	08/04/02	0.35	0"	10.2	20.0	44800	81.71	548		
25/02/02	08/04/02	0.35	0"	10.2	20.0	44500	81.71	545		

GRAFICO 6.1.2
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CUARADAS EN LABORATORIO
ONCRETO DE ALTA RESISTENCIA
UMP = 0"



6.2 MODULO ELÁSTICO

Este es un ensayo que se había considerado para su desarrollo y análisis, pero no contamos con el equipo apropiado en el LEM – UNI y tampoco en nuestro medio, es por ello que no se pudo desarrollar este ensayo.



FOTO No 40 PROBETAS PREVIO AL REFRENDADO PARA SU ENSAYO



FOTO No 41 REFRENDADO DE PROBETAS DE CONCRETO CON AZUFRE Y BENTONITA



FOTO No 42 TOMA DE MEDIDA DEL DIAMETRO DE LA PROBETA DE 4" x 8" PREVIO AL ENSAYO A COMPRESION



FOTO No 43 ENSAYO A COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA A DIVERSAS EDADES Y PARA CADA TIPO DE CURADO

CAPITULO VII

ANALISIS DE COSTOS DEL CURADO

7.1 COSTO DE FABRICACIÓN DE CONCRETO $a/c = 0.35$

El costo para la fabricación de concreto por metro cúbico (m^3), estará en función de los materiales a utilizar, tales como lugar de procedencia, calidad y tamaño de los agregados; tipo y marca de cemento, lugar y método de fabricación, puesta en obra, curado del concreto y el tipo de aditivo, si estos se usan.

Los costos que daremos a continuación son dados para la ciudad de Lima a la fecha del 3 de Abril del 2002, dichos precios han sido tomados de depósitos del cono Norte de Lima. Con un cambio de S/. 3.43 por dólar.

Para este análisis de costos no se ha considerado el costo de mano de obra, mezcladora y herramientas, ya que estas dos ultimas fueron proporcionadas por el LEM –UNI y la mano de obra fue apoyo de personas desinteresadas.

TABLA 7.1.1

COSTO DEL CONCRETO a/c 0.35 SIN ADITIVO RHEOBUILD 1000

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Cemento	bis	12	22.50	270
Agua	m3	0.155	1.35	0.21
Arena Gruesa	m3	0.298	30.00	8.94
Piedra Chancada 1/2"	m3	0.357	40.00	14.27
PRECIO TOTAL			S/.	293.42
PRECIO TOTAL			\$	85.55

TABLA 7.1.2

COSTO DEL CONCRETO a/c 0.35 CON ADITIVO RHEOBUILD 1000

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Cemento	bls	12	22.50	270
Agua	m3	0.155	1.35	0.21
Aditivo Rheobuild 1000	lt	9.180	10.35	95.01
Arena Gruesa	m3	0.298	30.00	8.94
Piedra Chancada 1/2"	m3	0.357	40.00	14.27
PRECIO TOTAL			S/.	388.43
PRECIO TOTAL			\$	113.25

7.2 COSTO DE CURADO DE CONCRETO EN LABORATORIO Y CONDICIONES DE OBRA a/c = 0.35

Antes de realizar los costos de curado, es necesario mencionar antes el costo de la preparación del elemento a curar, esto básicamente para el curado con agua y yute; y mostramos también los costos de curado en los siguientes cuadros:

TABLA 7.2.1

COSTO DE LA HABILITACIÓN DE UN ELEMENTO VERTICAL DE CONCRETO PARA SER CURADO CON AGUA Y YUTE PARA 1 m²

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Yute	m2	3.00	2.50	7.50
Cordel	ml	3.00	0.10	0.30
Personal	h-h	0.20	8.00	1.60
Herramientas	%	3.00	1.60	0.05
PRECIO TOTAL			S/.	9.45
PRECIO TOTAL			\$	2.75

TABLA 7.2.2

COSTO GLOBAL DEL CURADO DE CONCRETO EN EL LABORATORIO

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Agua	m3	0.50	1.35	0.68
Personal	h-h	1.00	8.00	8.00
Cal	kg	1.01	1.50	1.51
PRECIO TOTAL			S/.	10.19
PRECIO TOTAL			\$	2.97

TABLA 7.2.3

COSTO DIARIO DEL CURADO DE CONCRETO CON AGUA Y YUTE PARA 1 m²

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Agua	m3	0.20	1.35	0.27
Personal	h-h	0.20	8.00	1.60
Herramientas	%	3.00	1.60	4.80
PRECIO TOTAL			S/.	6.67
PRECIO TOTAL			\$	1.94

TABLA 7.2.4

COSTO DIARIO DEL CURADO DE CONCRETO CON AGUA POR ASPERSIÓN PARA 1 m²

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Agua	m3	1.00	1.35	1.35
Personal	h-h	1.00	8.00	8.00
Herramientas	%	3.00	8.00	0.24
PRECIO TOTAL			S/.	9.59
PRECIO TOTAL			\$	2.80

TABLA 7.2.5

**COSTO DEL CURADO DE CONCRETO CON CURADOR QUÍMICO
MASTERKURE POR m²**

Descripción	UND	Cantidad	P. U. S/.	P. P. S/.
Aditivo Masterkure	lt	0.102	7.65	0.78
Personal	h-h	0.20	8.00	1.60
Herramientas	%	3.00	1.60	0.05
PRECIO TOTAL			S/.	2.43
PRECIO TOTAL			\$	0.71

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

RESUMEN GENERAL

1. La importancia del curado bajo condiciones de obra radica en la necesidad de conocer cuanto disminuye la resistencia del concreto en el elemento estructural cuando es imposible mantener a éste bajo agua por diferente número de días si se considera que 42 días es el valor recomendable para concretos preparados empleando superplastificantes.
2. La calidad del concreto depende, entre otros factores, de un buen curado el cual promueva la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto. Un buen curado incluye siempre un adecuado control de la temperatura y de los movimientos de la humedad desde y hacia el concreto.
3. Las condiciones de curado en obra y laboratorio son diferentes debido a inadecuados métodos de curado; falta de un control riguroso; ambiente inapropiado; exigencia debido al plazo de entrega de la obra; tiempo de curado; etc. Todo ello afecta la resistencia y durabilidad, así como propiedades conexas.
4. Por lo anterior es necesario determinar la relación porcentual entre la resistencia en compresión de las probetas curadas bajo condiciones de obra y aquellas curadas en condiciones de laboratorio a 23° C durante 28 y 42 días. Esta última fecha es elegida como límite dado que hemos encontrado que después de la misma, para los materiales en estudio, el incremento de resistencia en mínimo.
5. La elección de una relación a/c tan baja como 0.35 se efectuó en la convicción que la reacción química del aditivo superplastificante incrementaría la trabajabilidad y disminuiría la consistencia del concreto, tal como efectivamente sucedió, pasando el asentamiento de 0" a 6". Los resultados de ensayos previos con a/c menores nos permitieron llegar a la conclusión de que no era necesario ni conveniente ir a la

investigación con *a/c* menores al incrementarse el riesgo de pérdida de manejabilidad y aumento de la segregación.

6. La importancia de la presente tesis radica en que los concretos de alta resistencia en cuya fabricación se ha empleado el aditivo superplastificante Rheobuild 1000 no han sido en nuestro medio, materia de estudios de laboratorio, no existiendo, por lo tanto recomendaciones acerca del tipo de curado más económico y conveniente, así como el número de días de curado más recomendable.

7. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue la determinación de coeficientes que relacionen, con materiales usuales y condiciones ambientales de Lima, la resistencia a la compresión de concretos curados bajo condiciones de laboratorio, con la de probetas curadas bajo condiciones de obra. No se ha utilizado testigos extraídos de elementos estructurales por no contarse en el LEM con disponibilidad de equipo.

8. En el trabajo de laboratorio se consideraron el curado estándar bajo agua y los curados a la intemperie; por aspersion; por recubrimiento con yute; y por aplicación de curador químico; en todos los casos para edades de 1 a 42 días.

9. Como materiales se utilizó:

- *Cemento Portland ASTM C 150 Tipo V "Andino"*, con un contenido de C3A de 2.28 % y baja generación de calor.
- *Agregado fino* de perfil angular, textura rugosa, limpio por lavado, libre de materia orgánica, con módulo de fineza de 3.21 formado por arena coluvial proveniente de la cantera Jicamarca con peso unitario suelto de 1747 kg/m³ y compactado de 1926 kg/m³. Con peso específico de 2.65 gr/cm³ y porcentaje de absorción de 0.71%.
- El *agregado grueso* también provenía de la cantera Jicamarca. Es de perfil angular, textura rugosa, limpio, de tamaño máximo nominal de 1/2", con modulo de fineza de 6.32, peso unitario suelto de 1474 kg/m³ y peso unitario compactado

1656 kg/m³, con un peso específico de 2.71 gr/cm³ y un porcentaje de absorción de 1.11%. El agregado se obtuvo por trituración de canto rodado.

- Se utilizó como *aditivo el superplastificante Rheobuild 1000*, el cual cumple con las normas ASTM para aditivos A y F, no investigado a la fecha de la tesis en el LEM. La dosis empleada fue de 0.765 litros por bolsa de cemento de 42.5 kg., a fin de obtener fluidez del concreto sin pérdida de cohesión.
- *El curador químico utilizado fue el Masterkure.*

10. La relación a/c utilizada corresponde a 0.35 sin corregir por humedad y 0.321 corregida.

11. El concreto con aditivo pudo mantener su trabajabilidad hasta por 2 horas.

12. En la selección de las proporciones de los materiales de la mezcla se tuvo en consideración a la fecha no existe un procedimiento oficial para concretos de alta resistencia. El método del Comité 211 del ACI tiene limitaciones a partir de los contenidos de cemento, agregado grueso y aire. El método de Walker está limitado por el contenido de cementante y el valor de "m". El método del agregado global está limitado por el contenido de agregados y la combinación de los mismos. Por todo ello se planteó como criterio de selección un estudio comparativo de diferentes obras en diversos países, así como un estudio sobre la materia que viene siendo efectuado por nuestro Asesor.

13. Se seleccionó un contenido de cemento de 12 bolsas por metro cúbico para una relación a/c de 0.35 y un contenido de aire del 1.5% para las características del agregado. Primeramente se calculó el volumen absoluto de pasta y por diferencia el del agregado. Para este se determinó una relación 45 - 55 para el fino y el grueso, determinándose el volumen absoluto de cada uno, su peso unitario y su contenido de humedad a fin de permitir corregir el aporte de agua a la mezcla. La mezcla así obtenida permitió lograr asentamientos de 6"; con resistencias a los 42 días del orden de 600kg/cm², aunque variables de acuerdo al tipo de curado.

14. Las probetas cilíndricas preparadas en el laboratorio fueron de 4" x 8", valores que han demostrado, a través de estudios mundiales, dar resistencias equivalentes a las de probetas de 6" x 12", siempre que se trabajen con moldes metálicos con lo que se reduce el daño a la probeta.

15. Los gráficos 3.3.1 y 3.3.2 permiten apreciar la distribución porcentual de los materiales de la mezcla con y sin el aditivo superplastificante Rheobuild 1000.

CONCRETO FRESCO

16. El mezclado del concreto se efectuó en mezcladora eléctrica, de tambor basculante, para tandas de 66 kilos que permitían obtener 12 probetas. La secuencia fue primero el agregado grueso y a continuación el agregado fino, el cemento y, finalmente, el aditivo mezclado con el agua de diseño. El tiempo de mezclado fue de 5 a 6 minutos a fin de garantizar una mezcla homogénea.

17. La determinación de la consistencia de la mezcla se efectuó mediante el método del Cono de Abrams. El concreto con aditivo presentó un asentamiento de 5" al retiro del molde, pero después de 10 segundos era de 6", con asentamiento de derrumbamiento y buena consistencia, trabajable, sin segregación, fácil de acomodarse y manejable. El concreto del mismo diseño sin aditivo presentaba un asentamiento de 0" con presencia de cangrejeras. La tabla 4.2.1 da los valores de asentamiento y peso unitario obtenidos.

18. En el ensayo de fluidez, hecho de acuerdo a Norma, se determinó que la mezcla sin aditivo presentaba un asentamiento de 0", seca, sin formación de mortero, mucha segregación, sin consistencia, difícilmente trabajable. El concreto con aditivo tiene un asentamiento de 6", es homogénea, tiene buena consistencia, no presenta segregación y puede ser clasificado como un concreto rheoplastico. La tabla 4.3.1 presenta los resultados del ensayo de fluidez.

19. En el ensayo de exudación, después de 2 horas 30 minutos de iniciado el ensayo en ninguno de los dos concretos se pudo observar agua exudada, posiblemente debido a la baja relación a/c, que como ya se indicó fue de 0.321 para el diseño en estado húmedo y de 0.35 para el diseño en estado seco. El aditivo únicamente mejora las características del concreto pero no produce un incremento de agua.

20. En el ensayo de peso unitario, de acuerdo a los resultados indicados en la tabla 4.5.1 se encontró un peso unitario de diseño de 2300 kg/m³ para ambos casos, pero un peso unitario real de 2041 kg/m³ para el concreto sin aditivo y 2439 kg/m³ para el concreto con aditivo. La tabla 4.5.1 presenta el calculo de los valores. Los gráficos 4.5 1.1 .y 4.5.1.2 presentan la variación porcentual.

21. El ensayo de tiempo de fraguado se efectuó de acuerdo a Norma para concretos con y sin el aditivo Rheobuild 1000. Los resultados se presentan en las tablas 4.6.1 y 4.6.2 para asentamiento 0" el tiempo de fraguado inicial fue de 3 horas 29 minutos y el tiempo de fragua final de 5 horas 25 minutos. Para asentamientos de 6" e l tiempo de fraguado inicial fue de 8 horas 21 minutos y el tiempo de fraguado final fue de 9 horas 5 minutos. Los gráficos 4.6.1 y 4.6.2 presentan las curvas de resistencia a la penetración para concretos con y sin aditivo.

22. El ensayo de contenido de aire no se pudo efectuar debido a que los equipos del laboratorio estaban deteriorados a la fecha en la que se había programado el ensayo respectivo.

METODOLOGÍA DE CURADO

23. El curado en laboratorio se efectuó bajo condiciones estándar con las probetas un día en el molde y el resto del tiempo bajo condiciones de humedad permanente por inmersión en agua a 23° C El agua fue de la red de Sedapal con incorporación de 2 gr de cal hidratada por litro, a fin de subir la alcalinidad y mantener el pH de 13 de las probetas de concreto. Este curado se aplicó a probetas con y sin aditivo. El

tiempo de curado fue de 3, 7, 14, 28 y 42 días. No se prolongo más allá de esa edad por que los resultados indicaban que para los concretos preparados con el superplastificante Rheobuild 1000 el incremento de resistencia después de esa edad era insignificante.

24. Bajo condiciones de curado en obra se fabricaron 330 probetas. Divididas en lotes se curaron por aspersión; por yute húmedo; con curador químico y a la intemperie.

25. El curado por aspersión se hizo por control visual por falta de instrumental que mida el grado de humedad superficial, efectuándose el curado cada vez que la superficie de las probetas se presentaba semi seca, llegándose a curar hasta 10 veces al día, con cada aspersión de 10 minutos. Un inconveniente de este tipo de curado es el agua que discurre, lo que obliga a habilitar un sistema de drenaje superficial para evacuarla.

26. Para el curado con yute húmedo, el más cercano a la realidad de obra para este tipo de resistencias, el yute, con un espesor de 4 mm envolvió a las probetas y fue atada a las mismas con pabilo. Las probetas envueltas en el yute, constantemente humedecido, se regaban 4 veces al día evitando que el agua se evaporase. Este procedimiento es recomendable para elementos estructurales a los cuales es imposible mantenerlos bajo agua todo el tiempo de curado.

27. Igualmente se empleó, en otros juegos de probetas el curado empleando el curador químico Masterkure aplicado a la superficie de las probetas en dos capas delgadas y uniformes inmediatamente después de desmoldadas. El rendimiento del aditivo fue de 0.102 lt / m². El aditivo de color blanco, no es viscoso, es transparente después de secado, con superficie lisa.

28. Las probetas curadas a la humedad ambiente fueron dejadas a la intemperie después de desencofradas para que tomen la humedad del medio ambiente como elemento curador, estudiándose su desarrollo de resistencia a 3, 7, 14, 28 y 42 días.

Estas probetas estuvieron sujetas a los cambios de temperatura a diferencia de otras probetas sometidas a diferentes tipos de curado.

PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

29. Para efectuar el ensayo de probetas de 4" x 6" se empleó la máquina Tinius Olsen del Laboratorio, la cual ha sido recientemente calibrada. Las probetas se ensayaron dentro de las tolerancias establecidas en la Norma NTP 339.034, de acuerdo a la edad del ensayo, tal como se aprecia en la figura 5.5.1. Previo al ensayo de las probetas estas fueron refrendadas con una capa de azufre y bentonita en cada cara.

30. Las probetas, fabricadas con y sin aditivo, luego de ser curadas a diversas condiciones de obra y diferentes edades fueron ensayadas obteniéndose los resultados que se aprecian en las tablas y gráficos correspondientes.

31. La tabla 6.1.2 y el gráfico 6.1.2 presentan la resistencia a la compresión de probetas de concreto sin aditivo Rheobuild 1000, curadas en el laboratorio bajo condiciones estándar. Se aprecia un incremento de solo 4.38% entre los 28 y 42 días, obteniéndose un valor máximo de 547 kg/cm².

32. La tabla 6.1.3 y los gráficos 6.1.3 y 8.1.3.1 presentan la resistencia a la compresión de probetas de concreto a la cual se ha incorporado el aditivo Rheobuild 1000, curadas bajo condiciones estándar en el laboratorio. Se aprecia un incremento de solo 3.87% entre los 28 y 42 días y de 7.86% entre las probetas con y sin aditivo a la edad indicada y bajo condiciones de curado estándar.

33. La tabla 6.1.4 y los gráficos 6.1.4 y 8.1.3.2 presentan la resistencia a la compresión de probetas con aditivo curadas con yute permanentemente humedecido. Se aprecia un incremento de 4.89% entre los 28 y 42 días y una disminución del 1.86% en relación con las probetas con aditivo curadas bajo condiciones de laboratorio.

34. La tabla 6.1.5 y los gráficos 6.1.5 y 8.1.3.3 presentan la resistencia a la compresión de probetas con aditivo curadas con yute humedecido por 3 días y luego a la intemperie. Se aprecia un incremento de solo 2.4% entre los 28 y 42 días y una disminución del 6.9% en relación con las probetas con aditivo curadas bajo condiciones de laboratorio y del 5.18% en relación con las probetas curadas con yute humedecido todo el tiempo.

35. La tabla 6.1.6 y los gráficos 6.1.6 y 8.1.3.4 presentan la resistencia a la compresión de probetas con aditivo curadas con agua y yute por 7 días y luego a la intemperie. Se aprecia un incremento de 3.53% entre los 28 y 42 días y una disminución del 3.62% en relación con las probetas curadas todo el tiempo con yute humedecido.

36. La tabla 6.1.8 y los gráficos 6.1.8 y 8.1.3.6 presentan la resistencia a la compresión de probetas con aditivo curadas con agua y yute por 28 días y luego a la intemperie. Se aprecia un incremento del orden del 3.44% entre los 28 y 42 días y una disminución del 3.22% en relación con las probetas con aditivo curadas todo el tiempo con agua y del 1.38% en relación de las probetas curadas con yute húmedo todo el tiempo.

37. La tabla 6.1.9 y los gráficos 6.1.9 y 8.1.3.8 presentan los resultados de la resistencia a la compresión de probetas con aditivo curadas con agua por aspersion. Se aprecia entre los 28 y 42 días un incremento de 6.43% y una disminución de 10.17% en relación con las probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar.

38. La tabla 6.1.10 y los gráficos 6.1.10 y 8.1.3.9 permiten apreciar un incremento del 8.89% entre los 28 y 42 días para las probetas curadas por aspersion 3 días y luego a la intemperie; y del 14.9% si se las compara con probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar.

39. La tabla 6.1.11 y los gráficos 6.1.11 y 8.1.3.10 permiten apreciar un incremento del 6.9% entre los 28 y 42 días para las probetas curadas por aspersión 7 días y luego dejadas a la intemperie; y del 13.39% si se las compara con probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar.

40. La tabla 6.1.12 y los gráficos 6.1.12 y 8.1.3.11 permiten apreciar un incremento de 6.4% entre los 28 y 42 días para las probetas curadas por aspersión 14 días y luego a la intemperie y una disminución de 12.7% si se las compara con probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar.

41. La tabla 6.1.13 y los gráficos 6.1.13 y 8.1.3.12 permiten apreciar un incremento de 4.82% entre los 28 y 42 días para las probetas curadas por aspersión 28 días y luego a la intemperie y una disminución de 11.53% si se las compara con probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar.

42. La tabla 6.1.14 y los gráficos 6.1.14 y 8.1.3.14 permiten apreciar un incremento de 4.12% entre los 28 y 42 días para las probetas curadas con curador químico y una disminución de 14.41% si se las compara con probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar

43. La tabla 6.1.15 y los gráficos 6.1.15 y 8.1.3.15 permiten apreciar un incremento de 4.37% entre los 28 y 42 días para las probetas curadas a la intemperie y una disminución de 18.98% si se las compara con probetas con aditivo curadas bajo condiciones estándar

MODULO DE ELASTICIDAD

44. El ensayo de módulo de elasticidad del concreto, previamente programado, y considerado para su ejecución y análisis, no se pudo realizar por falta del equipo apropiado. Se ha comprobado que el ensayo con los espejos Martens es inadecuado para valores de alta resistencia.

COSTOS

45. El costo de fabricación de concreto por unidad cúbica es función de los materiales empleados, incluido el aditivo; la metodología del proceso de puesta en obra y el tipo de curado a ser empleado. En nuestro caso los costos calculados son para la ciudad de Lima a Abril del 2002, al cambio de 3.43 por dólar. El análisis de costos efectuado no considero el costo de mano de obra, mezcladora y herramientas proporcionadas por el LEM – UNI

46. La tabla 7.1.1 da el costo de la unidad cúbica de concreto preparada con un a/c de 0.35 sin aditivo, que de acuerdo a los cálculos hechos es de S/. 293.42 / m³; y la tabla 7.1.2 da el costo del concreto preparado con un a/c de 0.35 al cual se ha incorporado el aditivo Rheobuild 1000 el cual fue de S/ 388.43 / m³.

47. La tabla 7.2.1 da el costo de habilitación de un elemento vertical de concreto a ser curado con agua y yute, obteniéndose por metro cuadrado un precio total de S/ 9.45.

48. La tabla 7.2.2 a permitido determinar el costo global del proceso de curado del concreto en el laboratorio que se estima en S/ 10.19.

49. La tabla 7.2.3 da el costo diario del concreto con agua y yute por metro cuadrado determinándose que el mismo puede estar en un precio total de S/ 6.67.

50. El costo diario del curado de concreto por aspersion por metro cuadrado, considerando personal y herramientas, además del agua se determinó que era de S/ 9.59 , el cual se muestra en la tabla 7.2.4.

51. El costo del curado del concreto con curador químico Masterkure se ha calculado en S/ 2.43 /m², el cual se muestra en la tabla 7.2.5.

CUADROS FINALES

52. La tabla 8.1.1 presenta un resumen de resultados de ensayos a compresión de probetas de concreto de alta resistencia curadas bajo condiciones de laboratorio y obra para un asentamiento de 6", que es el obtenido empleando el aditivo superplastificante Rheobuild 1000. De los resultados a los 42 días se aprecia que las mejores resistencias las da el curado en el laboratorio bajo condiciones estándar y que igualmente las mejores condiciones a los 28 días de curado la da el mismo tipo de curado aunque, como ya se indicó, la resistencia es ligeramente menor en este segundo caso.

53. El gráfico 8.1.1.1 presenta las tendencias de incremento de resistencia a compresión de probetas de concreto de alta resistencia, con un asentamiento de 6" obtenido gracias al empleo del aditivo, las cuales han sido curadas en laboratorio y obra.

54. El gráfico 8.1.1.2 presenta la evolución de la resistencia en compresión para las diferentes condiciones de curado con yute. Para todas ellas se aprecia que el curado con agua bajo condiciones estándar da los más altos valores de la resistencia, aunque las diferencias son muy pequeñas.

55. El gráfico 8.1.1.3 presenta las tendencias de incremento de resistencia a compresión de probetas de concreto de alta resistencia, con un asentamiento de 6" obtenido gracias al empleo del aditivo, las cuales han sido curadas en laboratorio y con por aspersión más intemperie.

56. La tabla 8.1.2 presenta un resumen de resultados en porcentaje de ensayos a compresión de probetas de concreto curadas bajo condiciones de laboratorio y obra, considerándose en el cuadro la resistencia a la compresión como de 100% para cada uno de las edades. Como en el caso anterior los mejores valores se obtienen para los concretos con aditivo curados bajo condiciones estándar de laboratorio. En todos los casos la diferencia entre el curado con agua y yute y el curado con agua

en laboratorio, bajo condiciones estándar es tan pequeña que permite el empleo del aditivo en condiciones de obra sin problema de colocación.

57.El gráfico 8.1.2.1 presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión de concretos curados bajo condiciones de laboratorio y obra a los 3 días. Se aprecia que con yute hay un disminución del 10.22%; por aspersion del 12.22%, por curador del 13.32% y a la intemperie del 15.84%.

58.El gráfico 8.1.2.2 presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión de concretos curados bajo condiciones de laboratorio y obra hasta los 7 días. Se aprecia que con yute hay una disminución del 6.27%; por aspersion del 14.17%; con curador del 14.77% y a la intemperie del 18.11%.

59. El gráfico 8.1.2.3 presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión de concretos curados bajo condiciones de laboratorio y obra a los 14 días se aprecia que con yute hay una disminución del 4.56%; con aspersion del 13.64%; con curador del 14.75% y a la intemperie del 18.46%.

60. El gráfico 8.1.2.4 presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión de concretos curados bajo condiciones de laboratorio y obra a los 28 días se aprecia que con yute hay solo una disminución del 2.83% con aspersion se eleva al 12.32%; con curador al 14.61% y a la intemperie del 19.37%.

61. El gráfico 8.1.2.5 presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión de concretos curados bajo condiciones de laboratorio y obra a los 42 días . Se aprecia que con yute hay solo una disminución de 1.77%; con aspersion del 10.14%; con curador 14.38% y a la temperatura ambiente del 19.02%.

62. La tabla 8.1.3 presenta el incremento de resistencia por días el porcentaje para probetas de concreto de alta resistencia curadas bajo condiciones de laboratorio y obra. Tomando como base 100% a los 28 días se aprecia que la prolongación del curado hasta los 42 días es tan insignificante en el incremento de la resistencia que no justifica el curado adicional.

CONCLUSIONES

1. El aditivo Rheobuild 1000, de Master Builders Technologies, se comporta como un superplastificante que cumple con las especificaciones de las normas ASTM C-494 para aditivos tipo A y F, que permite obtener mezclas rheoplásticas de gran trabajabilidad y mínima consistencia. Con ello es posible trabajar con mezclas de asentamiento 0" y relación a/c tan baja como 0.35.
2. La resistencia en compresión con 0" de asentamiento y sin aditivo es alta, pero presenta una fuerte segregación y cangrejas, haciéndola inconveniente para el trabajo en obra. En cambio la incorporación de este aditivo le da a la mezcla gran soltura y facilidad de colocación, permitiendo en obra trabajar con mezclas sueltas y de una resistencia que bordea los 600 kg/cm² a los 28 días.
3. En relación con el curado en agua bajo condiciones estándar, que ha sido tomado como patrón de referencia, se ha encontrado que el método de curado en obra mas recomendable es el empleo de yute humedecido en todos aquellos casos en que resulta imposible mantener bajo condiciones de curado en agua a los elementos estructurales. En este caso la disminución de resistencia es de solo 2.8%.
4. De todas las alternativas de curado empleadas, la menos conveniente es el empleo de un curador químico que disminuye la resistencia en un 14.6% a los 28 días.
5. El curado por aspersión presenta una pérdida de resistencia del 12.3% en relación con la del concreto curado bajo agua a los 28 días.
6. El curado a la intemperie es la menos recomendable de todas las alternativas, presentándose una pérdida de resistencia del 19.4% a los 28 días.
7. De todo lo anterior se puede concluir que el curado bajo agua en condiciones estándar es la más conveniente de todas las alternativas; siguiendo en importancia el curado empleando yute humedecido.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario estudiar a nivel de laboratorio la influencia que en los resultados obtenidos han tenido la marca y tipo de cemento. Este estudio que surge de los resultados no se efectuó por no ser parte del programa de la presente tesis.
2. En concretos de alta resistencia la elección del aditivo superplastificante a ser empleado esta condicionada al tipo y marca del cemento a ser empleado. Este aspecto debe ser considerado en la elaboración de las especificaciones de obra.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] TITULO : TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
AUTOR : A. M. Neville – J. J. Brooks
EDICION : Primera Edición en Español, Enero 1998
IMPRESO : México
BIBLIOTECA : UNI – FIC
CONTENIDO : Resistencia del Concreto, Desarrollo de la Resistencia, etc.
- [2] TITULO : NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO
AUTOR : Enrique Rivva López.
EDICION : Primera Edición, Diciembre 2000
IMPRESO : Lima – Perú
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Naturaleza del Concreto, cementos, agregados, aditivos, etc.
- [3] TITULO : DISEÑOS DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO
AUTOR : Arthur H. Nilson
EDICION : Duodécima Edición, 1999
IMPRESO : Colombia
BIBLIOTECA : UNI – FIC
CONTENIDO : Cemento, agregados, aditivos, dosificación y mezcla de concreto, curado, etc.
- [4] TITULO : SUPERVISIÓN DE OBRAS DE CONCRETO
AUTOR : Enrique Pasquel, Ana Biondi, Julio Rivera Feijoo, etc.
EDICION : 31 de Marzo 2000 ACI – CAPITULO PERUANO
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Propiedades del Concreto, Transporte del Concreto, etc.
- [5] TITULO : TOPICOS DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO EN EL PERU
AUTOR : Enrique Pasquel Carvajal
EDICION : Primera Edición, Noviembre 1993
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
CONTENIDO : Propiedades Principales y Diseños de Mezclas de Concreto
- [6] TITULO : CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS
AUTOR : Ana Biondi, Julio Rivera, Roberto Morales, etc.
EDICION : Primera Edición, Diciembre 2001
IMPRESO : Lima – Perú
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Calidad del concreto, transporte y colocación del concreto, etc.

- [7] TITULO : ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS 2000 Section 4 – Construction Volume 04. 01Cement; Lime; Gypsum
AUTOR : ASTM
EDICION : 2000
IMPRESO : Easton, MD, U.S.A.
BIBLIOTECA : Laboratorio de la Fabrica de Cemento Andino
CONTENIDO : Ensayos ASTM para los cementos.
- [8] TITULO : NORMAS NTP
AUTOR : NTP
EDICION : NTP
BIBLIOTECA : LEM – UNI
IMPRESO : Lima - Perú
CONTENIDO : Normas para Materiales
- [9] TITULO : NORMAS PERUANAS DE ESTRUCTURAS
AUTOR : NTP
EDICION : 1998
BIBLIOTECA : Personal
IMPRESO : Lima - Perú
CONTENIDO : Norma técnica de edificación de concreto armado, albañilería, suelos y cimentaciones, etc.
- [10] TITULO : CEMENTO – Boletines Técnicos 1–58.
AUTOR : ASOCEM
EDICION : 1993
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Características Físicas de los agregados, Granulometría, etc.
- [11] TITULO : TECNOLOGIA DEL CONCRETO
AUTOR : Flavio Abanto Castillo
EDICION : 1997
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : Personal
CONTENIDO : Propiedades del concreto, aditivos, curado del concreto, etc.
- [12] TITULO : Investigación del Concreto de Alta Resistencia: metodología de obtención y determinación de las propiedades de los concretos de 550 – 1200 kg/cm².
AUTOR : Patricia Morales Alfaro
TESIS : 2000
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC

- [13] TITULO : Correlación entre agua : cemento y la resistencia a la compresión del concreto utilizando Cemento Pórtland Tipo V, para a/c 0.4 a 0.55.
AUTOR : Guido Roger Huayllas Cosme.
TESIS : 2000
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
- [14] TITULO : Estudio de la influencia del aditivo superplastificante y reductor de agua de alto rango, sobre las propiedades del concreto.
AUTOR : Richard Hugo Reymundo Gamarra.
TESIS : 1995
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
- [15] TITULO : Curado del Concreto.
AUTOR : Elizabeth Patricia Soto Barra.
TESIS : 1998
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
- [16] TITULO : Diseño de Mezclas, Método de Agregado Global y Módulo de Finura, para concretos de Mediana a Alta Resistencia.
AUTOR : Rafael Cachay Huamán
TESIS : 1995
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
- [17] TITULO : Efectos del Aditivo Sika Rapad - 1 sobre las propiedades del concreto
AUTOR : Irma del Rosario Martínez Vargas
TESIS : 1998
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
- [18] TITULO : Concreto de alta resistencia con el superplastificante PSP–N2
AUTOR : Rafael Moisés Tello Rodríguez
TESIS : 1994
IMPRESO : Lima - Perú
BIBLIOTECA : UNI – FIC
- [19] TITULO : Elaboración, colocación y protección del concreto en clima caluroso y frío
AUTOR : Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.
EDICIÓN : 1995
IMPRESO : México
BIBLIOTECA : Personal