

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“CONCRETO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA CON
ADITIVO SUPER PLASTIFICANTE Y CEMENTO
PORTLAND TIPO I”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

JEAN CARLOS VARAS VÁSQUEZ

ASESOR

Ing. CARLOS BARZOLA GASTELÚ

**Lima- Perú
2018**

© 2018, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Varas Vásquez, Jean Carlos

jean.varas.v@uni.pe

991 864 680 – 01 560 2535

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar a este momento tan importante de mi formación académica.

A mi madre, haberme sabido formar con buenos sentimientos, hábitos y valores; por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional y por ser el pilar más importante de mi vida.

A mis hermanos, por su apoyo y por compartir conmigo las alegrías y fracasos de la vida.

A Melissa, por afrontar conmigo los momentos más complicados que me toco afrontar en los últimos años; por sus consejos de vida y por su apoyo durante todo este arduo camino.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por ser mi hogar en formación académica y brindarme compañeros y amigos para toda la vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú, por su valiosa guía y su asesoramiento a la realización de la misma; por contribuir en mi formación académica como docente y por transmitirme sus conocimientos vida.

A mis tíos Wilder, Roy, Manuel y David, por brindarme la confianza necesaria, por corregir mis faltas y celebrar mis triunfos.

Al personal técnico y administrativo del LEM – UNI, por su disponibilidad y apoyo en las diversas tareas realizadas en el laboratorio.

A mis amigos y colegas Xavier, Percy, Fernando y Miguel por cada uno de sus valiosos aportes para hacer posible este proyecto.

A mis amigos de la vida Hernán, Alexander, Wilber, Franco y William por la gran calidad humana que me han demostrado con su amistad.

A mi amigo Renzo por la colaboración prestada en el arduo trabajo realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales.

A todos: muchísimas gracias.

	Pág.
ÍNDICE	1
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
PROLOGO	7
LISTA DE CUADROS	8
LISTA DE GRÁFICOS	10
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO	16
CAPÍTULO III. MATERIALES, PROPIEDADES Y ENSAYOS	19
3.1 AGREGADOS	19
3.1.1 Agregado fino	19
3.1.2 Agregado grueso	19
3.1.3 Propiedades físicas	19
3.1.3.1 Gravedad específica y absorción de agregados finos	20
3.1.3.2 Peso específico y absorción del agregado grueso	21
3.1.3.3 Peso unitario y contenido de vacíos	22
3.1.3.4 Contenido de humedad	23
3.1.3.5 Análisis granulométrico	24
3.1.3.6 Materiales que pasan la malla N°200	25
3.1.4 Resultado de las propiedades de los agregados	26

3.1.5 Agregado global	28
3.1.5.1 Peso unitario compactado	29
3.1.5.2 Análisis Granulométrico	31
3.2 CEMENTO	32
3.2.1 Cemento usado	32
3.3 ADITIVO	33
3.3.1 Aditivo usado	33
CAPÍTULO IV. DISEÑO DEL CONCRETO	35
4.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN	35
4.1.1 Método para la obtención del agua	36
4.1.2 Determinación del porcentaje de los agregados	38
3.1.3 Diseño de concreto patrón	41
4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO	45
4.3 RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DEL AGUA DE DISEÑO	47
CAPÍTULO V. ENSAYO Y RESULTADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	50
5.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO	50
5.1.1 Asentamiento	50
5.1.2 Peso unitario	52
5.1.3 Exudación	53
5.1.4 Fluidéz	55
5.1.5 Contenido de aire	56
5.1.6 Tiempo de fragua	57

5.2 RESULTADOS	59
5.2.1 Ensayo de asentamiento	59
5.2.2 Ensayo de peso unitario	60
5.2.3 Ensayo de exudación	62
5.3.4 Ensayo de fluidez	63
5.3.5 Contenido de aire	65
5.3.6 Tiempo de fragua	66
CAPÍTULO VI. ENSAYO Y RESULTADO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	69
6.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO	69
6.1.1 Resistencia a la compresión axial	69
6.1.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral	70
6.1.3 Modulo elástico estático	71
6.2 RESULTADOS	71
6.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión axial	71
6.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral	78
6.2.3 Ensayo de modulo elástico estático	79
CAPÍTULO VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
7.1 AGREGADOS	81
7.1.1 Agregado fino	81
7.1.2 Agregado grueso	81
7.1.3 Agregado global	81
7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	82
7.2.1 Consistencia	82

7.2.2	Peso Unitario	82
7.2.3	Exudación	82
7.2.4	Fluidez	83
7.2.5	Contenido de aire	84
7.2.6	Tiempo de fragua	84
7.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	85
7.3.1	Resistencia a la compresión axial	85
7.3.2	Resistencia a la tracción por compresión diametral	89
7.3.3	Modulo elástico estático	89
7.4	ANÁLISIS DE COSTOS	90
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES	96
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
	ANEXOS	98

RESUMEN

Uno de los principales problemas en la ingeniería civil, es sin duda la resistencia a la compresión del concreto, si bien existen formas de incrementar esta resistencia ya que está vinculado directamente con la relación agua/cemento y por ende a la cantidad de cemento en la mezcla, en la actualidad nos podemos valer además del cemento de nuevos productos lanzados al mercado (aditivos) que de igual manera nos benefician con una mayor resistencia pero conservan el diseño original. Es por ello que la presente investigación se enfocará en el estudio del concreto con aditivo superplastificante y cemento Portland tipo I, para ello en la producción del concreto se utilizó agregado fino de la cantera Trapiche, agregado grueso de la cantera de UNICON, cemento Sol y aditivo superplastificante Chemament 440.

En el transcurso de la investigación se realizaron pruebas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería. En principio se realizaron las pruebas al agregado fino y agregado grueso por separado y también en conjunto en lo que conocemos como el agregado global, esto con la finalidad de diseñar las distintas calidades de concreto que planteamos en la investigación, estas mezclas son los diseños con relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 que servirán como muestras patrón para los diseños que se realizaron con aditivo en dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento en la mezcla.

Posteriormente se realizaron los ensayos al concreto en estado fresco y endurecido, siendo el ensayo de compresión axial al concreto endurecido la prueba al cual mayor énfasis le daremos. Para ello las muestras de concreto endurecido pasaron por un proceso de curado por el método tradicional de inmersión en agua y fueron retirados del pozo a las edades de 7, 14 y 28 días de su elaboración secuencialmente para ser ensayadas.

La adición de este aditivo brinda mejoras en la trabajabilidad del concreto fresco haciéndolo ideal para la colocación en estructuras con alta densidad de acero. En el concreto endurecido la mejora es muy notoria, habiendo casos en los que se logra duplicar la resistencia a la compresión del concreto en comparación al mismo diseño sin aditivo, esto significa una mejora en la calidad del concreto siendo este el principal material requerido en las construcciones del país.

ABSTRACT

One of the main problems in civil engineering, is undoubtedly the compressive strength of concrete, although there are ways to increase this resistance since it is directly linked to the water/cement ratio and therefore to the amount of cement in the concrete. Nowadays, we can use the cement of new products launched to the market (additives) that likewise benefit us with greater resistance but retain the original design. That is why this research will focus on the study of concrete with superplasticizer additive and Portland cement type I, for this in the production of concrete was used fine aggregate of the quarry Trapiche, coarse aggregate of the quarry of UNICON, cement Sol and Chemament 440 superplasticizer additive.

During the course of the investigation, tests were carried out in the Material Testing Laboratory of the National University of Engineering. In principle, the tests were performed on the fine aggregate and coarse aggregate separately and also together in what we know as the global aggregate, this with the purpose of designing the different concrete qualities that we propose in the research, these mixtures are the designs with water/cement ratio 0.60, 0.65 and 0.70 that will be used with standard samples for the designs that were made with additive in dosages of 0.5%, 1.0% and 1.5% of the weight of cement in the mixture.

Subsequently, the tests were carried out on concrete in a fresh and hardened state, the test of axial compression to hardened concrete being the test to which we will give greater emphasis. To this end, the samples of hardened concrete were cured by the traditional method of immersion in water and were removed from the well at the ages of 7, 14 and 28 days after being processed sequentially to be tested.

The addition of this additive provides improvements in the workability of fresh concrete making it ideal for placement in structures with high steel density. In the hardened concrete the improvement is very noticeable, having cases in which it is possible to double the resistance to the compression of the concrete in comparison to the same design without additive, this means an improvement in the quality of the concrete being this the main material required in the constructions of the country.

PRÓLOGO

En la actualidad la necesidad de conseguir un concreto más resistente y duradero se ha convertido en un constante reto para la ingeniería, los edificios y distintas obras civiles cada vez demandan de mayores necesidades y en muchos casos el concreto no alcanza con facilidad a cubrir estos requerimientos de forma adecuada, presentándose problemas técnicos que influyen en su comportamiento a lo largo del tiempo.

Por tal motivo es que el uso de los aditivos superplastificantes se debería masificar con la finalidad de obtener mayores beneficios los cuales se explican a detalle en la presente investigación.

Es por ello que el aporte de la presente tesis para optar por el título de ingeniero se direcciona hacia los profesionales y técnicos de la construcción quienes están enfocados en la mejora continua de las construcciones del país.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú

Asesor

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 3.1 Resumen de los ensayos a los agregados.	26
Cuadro N° 3.2 Análisis granulométrico del agregado fino.	26
Cuadro N° 3.3 Análisis granulométrico del agregado grueso.	27
Cuadro N° 3.4 Resultado del ensayo de P.U.C. al agregado global.	29
Cuadro N° 3.5 Análisis granulométrico del agregado global.	31
Cuadro N° 3.6 Características físicas del Cemento Portland Tipo I – Sol.	32
Cuadro N° 4.1 Dosificación de materiales para obtener el agua patrón.	37
Cuadro N° 4.2 Dosificación de materiales para obtener el porcentaje de agregados.	39
Cuadro N° 4.3 Resultados del ensayo de compresión axial a 7 días.	39
Cuadro N° 4.4 Diseño de concreto patrón.	44
Cuadro N° 4.5 Diseño de concreto patrón para las relaciones investigadas.	45
Cuadro N° 4.6 Diseño de concreto, $a/c=0.65$ y aditivo=0.50%P.C.	46
Cuadro N° 4.7 Resultados de asentamiento y agua reducida.	47
Cuadro N° 5.1 Resultados del ensayo de asentamiento.	59
Cuadro N° 5.2 Resultados del ensayo de peso unitario.	61
Cuadro N° 5.3 Resultados del ensayo de exudación.	62
Cuadro N° 5.4 Resultados del ensayo de fluidez.	64
Cuadro N° 5.5 Resultados del ensayo de contenido de aire.	65
Cuadro N° 5.6 Resultados del ensayo de tiempo de fragua.	67
Cuadro N° 5.7 Resumen de ensayos del concreto en estado fresco.	68
Cuadro N° 6.1 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.	72

Cuadro N° 6.2 Variación de la resistencia respecto a las edades.	76
Cuadro N° 6.3 Variación de la resistencia a la tracción.	78
Cuadro N° 6.4 Variación del módulo elástico.	79
Cuadro N° 7.1 Resultados del ensayo de fluidez.	83
Cuadro N° 7.2 Variación porcentual del precio de concreto.	90
Cuadro N° 7.3 Variación porcentual de la resistencia del concreto (28 días).	91
Cuadro N° 7.4 Variación del precio de concreto por cada kg/cm ² .	91

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N° 3.1 Curva granulométrica del agregado fino.	27
Gráfico N° 3.2 Curva granulométrica del agregado grueso.	28
Gráfico N° 3.3 P.U.C. del agregado global VS. %Arena.	30
Gráfico N°3.4 Curva granulométrica del agregado global.	31
Gráfico N° 4.1 Variación del asentamiento por incremento de agua.	37
Gráfico N° 4.2 Curva de variación del $f'c$ en f al % de arena en la mezcla.	40
Gráfico N° 4.3 P.U.C. de agregado global y resistencia a la compresión vs. Porcentaje de arena.	40
Gráfico N° 4.4 Asentamiento de cada diseño realizado.	48
Gráfico N° 4.5 Reducción de agua por m^3 de concreto para $a/c=0.60$.	48
Gráfico N° 4.6 Reducción de agua por m^3 de concreto para $a/c=0.65$.	49
Gráfico N° 4.7 Reducción de agua por m^3 de concreto para $a/c=0.70$.	49
Gráfico N° 5.1 Asentamiento de cada diseño realizado.	60
Gráfico N° 5.2 Peso unitario de cada diseño realizado.	61
Gráfico N° 5.3 Exudación de cada diseño realizado.	63
Gráfico N° 5.4 Fluidéz de cada diseño realizado.	64
Gráfico N° 5.5 Contenido de aire de cada diseño realizado.	66
Gráfico N° 5.6 Tiempo de fragua inicial de cada diseño realizado.	67
Gráfico N° 5.7 Tiempo de fragua final de cada diseño realizado.	68
Gráfico N° 6.1 Resistencia a la compresión para la relación $a/c=0.60$.	73
Gráfico N° 6.2 Resistencia a la compresión para la relación $a/c=0.65$.	73
Gráfico N° 6.3 Resistencia a la compresión para la relación $a/c=0.70$.	74

Gráfico N° 6.4 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.60$.	74
Gráfico N° 6.5 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.65$.	75
Gráfico N° 6.6 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.70$.	75
Gráfico N°6.7 Variación de la resistencia respecto de las edades de rotura, $a/c=0.60$.	76
Gráfico N°6.8 Variación de la resistencia respecto de las edades de rotura, $a/c=0.65$.	77
Gráfico N°6.9 Variación de la resistencia respecto de las edades de rotura, $a/c=0.70$.	77
Gráfico N°6.10 Variación de la resistencia a la tracción.	79
Gráfico N°6.11 Variación del módulo de elasticidad.	80
Gráfico N° 7.1 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.60$.	86
Gráfico N° 7.2 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.65$.	87
Gráfico N° 7.3 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.70$.	88

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI: American Concrete Institute.
- ASTM: American Society for Testing and Materials.
- NTP: Norma Técnica Peruana.
- P_{em} : Peso específico de masa.
- $P_{e_{sss}}$: Peso específico de masa saturado superficialmente seco.
- P_a : Peso específico aparente.
- A_b : Absorción.
- P.U.S.: Peso unitario suelto.
- P.U.C.: Peso unitario compactado.
- T.M.: Tamaño máximo.
- T.M.N.: Tamaño máximo nominal.
- M.F.: Módulo de finura.
- a/c: agua/cemento.
- a/p: arena/piedra.
- f'_c : Esfuerzo máximo de compresión en el concreto.
- M.E.: Módulo elástico

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

A lo largo de la historia y en todas las partes del mundo el hombre siempre ha buscado un lugar para poder vivir. A medida que ha pasado el tiempo, el hombre siempre ha tenido que lidiar con las fuerzas de la naturaleza y las construcciones no han sido ajenas de ser afectadas por estos fenómenos. En siglos anteriores las construcciones eran básicamente de adobe, quincha, yeso y barro; materiales que son económicos y fáciles de obtener en la naturaleza, los cuales venían acompañados de la pobre tecnología manejada en la época. Pero el factor principal por el cual la construcción ha ido perfeccionándose, ha sido sin duda la necesidad de hacerle frente a las fuerzas de la naturaleza a las cuales el hombre está constantemente expuesto desde tiempos inmemoriales.

Desde inicios del ciclo pasado, el empleo del concreto ha sido una gran ventaja para el hombre en la construcción de edificaciones y diferentes obras civiles que podemos apreciar en la actualidad. El concreto en estado fresco, es una masa que posee la propiedad de endurecer en el tiempo y ser muy resistente a la compresión. Además, este material puede adquirir cualquier forma mientras se encuentre en estado fresco. Son estas dos principales características por las cuales este material se ha convertido en uno de los más requeridos en las construcciones del mundo.

La tecnología de materiales define para el concreto, cuatro componentes: agregados, cemento, agua y aditivos como elementos activos y al aire como elemento pasivo.

En el Perú, no siempre se considera al aditivo como un componente indispensable del concreto, a pesar de los grandes beneficios que este producto le adiciona; como la alta capacidad dispersante, facilidad en la colocación del concreto en espacios de alto contenido de elementos de refuerzo, mejora de la adherencia del concreto sobre el acero. Estas ventajas mencionadas son de gran beneficio pero reflejadas en la gran industria, sin embargo son escasas las construcciones en nuestro país que albergan esa magnitud y por consiguiente no es un gran índice de representación de la realidad de las viviendas de nuestros ciudadanos de a pie.

Por este motivo es que nos enfocaremos en una de las ventajas más importantes de este producto, el incremento de la resistencia y durabilidad del concreto en el tiempo. Este beneficio se ve reflejado en mayor porcentaje en el concreto de alta relación de agua-cemento 0.7- 0.6 aprox., este es sin duda el concreto que la gran masa de nuestra capital y el interior del país requieren con urgencia y es allí donde enfocaremos nuestro estudio.

Es por ello, que motivados en esta ventaja que sería para nuestros ciudadanos emergentes y que requieren con carácter de urgencia construcciones de calidad y con las ya conocidas limitaciones económicas que existen en nuestro entorno nos vemos en la necesidad de dar inicio al presente trabajo de investigación, con el único fin de recabar la mayor información relevante en el uso de este producto y la ventaja ya mencionada en el concreto.

Este es el principal aliciente para mi investigación, esperando poder aportar y conseguir un mejor lugar de vida para la sociedad.

1.2 PROBLEMÁTICA

Hoy en día, la necesidad de construir estructuras de mayor durabilidad y resistencia se hace cada vez mayor. A esta necesidad se le suma la informalidad que abunda en el campo de la construcción, una informalidad que afecta en su mayoría a personas de bajos recursos, que construyen sus viviendas artesanalmente y sin la debida supervisión de un ingeniero.

Debido a la problemática en el país, es que se requiere el uso de nuevas formas de construir, empleando la tecnología de los nuevos productos que ofrecen auspiciosos beneficios, como es el caso de un superplastificante de alto rango.

La investigación de la interacción del concreto y aditivos que contribuyan con estos requerimientos se hace indispensable y requiere verificarse las características que ofrecen estos aditivos, tanto en su calidad como en sus beneficios.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Estudiar la influencia del aditivo superplastificante “CHEMAMENT 440”, en el concreto preparado con cemento Portland tipo I, para ello se realizaran pruebas al concreto patrón y al concreto con aditivo para las comparaciones respectivas.

1.3.1 Objetivos Específicos

Se preparará concretos de mediana a baja resistencia para relaciones de a/c 0.60, 0.65 y 0.70, con un asentamiento comprendido entre 3.5 y 4.5”. Se determinara si las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido se modifican y proporcionan nuevas perspectivas de uso con este aditivo.

Se realizará un análisis de los resultados obtenidos de los ensayos efectuados en el concreto fresco y endurecido, con aditivo y sin aditivo, mediante cuadros y gráficos.

1.4 HIPOTESIS

La resistencia a la compresión y durabilidad del concreto con aditivo CHEMA CHEMAMENT 440 a distintas dosificaciones resultan mejores que las del concreto sin aditivo. Considerando también otras bondades como la alta capacidad dispersante y la optimización del contenido de cemento en la mezcla.

Se espera que la resistencia del concreto con aditivo aumente en gran porcentaje en comparación al concreto convencional.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena, agua y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes.

Asimismo, si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrado la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra, equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento.

En consecuencia, para poder dominar el uso del concreto, hay que conocer no solo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación basados en las Normas Técnicas correspondientes, ya que son en primera instancia los que confieren a su particularidad.

Recientemente y gracias al progreso de la industria química, las materias plásticas han sido incorporadas al concreto, y actualmente podemos encontrar un sin número de productos en el mercado que satisfacen la gran mayoría de necesidades para los usuarios del concreto.

Aditivos son aquellas sustancias o productos que incorporados al concreto (hormigón) antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento.

Según la norma se le define como: "Un material distinto del agua, de los agregados y cemento hidráulico que se usa como un componente del concreto (hormigón) o mortero y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado.

La fabricación del cemento Portland y el desarrollo del concreto, llevó a regular el fraguado con el cloruro de calcio. Al inicio del siglo se efectuaron sin éxito comerciales estudios sobre diferentes aditivos.

El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentra en el empleo ocasional del sulfonato naftaleno formaldehído, que fue utilizado en 1930 para actuar como dispersante en concretos con adiciones negro de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudiera llamar la atención de los conductores de vehículos.

La evolución y desarrollo de nuevos aditivos se centran ahora en el aumento de la producción y calidad del concreto. Hoy en día, los aditivos para concreto son esenciales como parte de la tecnología del concreto. Los plastificantes y superplastificantes son los productos más numerosos y ampliamente utilizados. Estos pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Lignosulfonatos
- Naftalén
- sulfonatos
- Melamina –sulfonado policondensados
- Copolímeros Vinílicos
- Policarboxilatos

Las formas de empleo de estos aditivos son múltiples:

Como reductores de agua, su efecto es notable, permitiendo alcanzar reducciones en el agua de mezclado de hasta un 40 %. Esto permite un considerable aumento de resistencias a toda edad, pudiéndose cumplir con proyectos donde se necesitan rápidos desencofrados de las estructuras o bien concretos (hormigones) de altas resistencias finales. Por supuesto, de esta alternativa surgen todos los beneficios de trabajar con bajas relaciones agua/cemento, tales como menor contracción por secado, menor permeabilidad a los gases y líquidos y mayor durabilidad.

Una segunda posibilidad de uso es como reductor de agua y adicionalmente reductor de cemento; se puede arribar a una solución intermedia, donde se mejoren las propiedades del concreto obteniendo igualmente importantes reducciones de cemento.

Una tercera posibilidad, consiste en usar estos aditivos como mejoradores de trabajabilidad. Esto permite una rápida y fácil colocación del concreto en sus moldes, incluso en elementos de formas complejas y delgadas que contengan una cuantía de armadura considerable. Asimismo, la calidad de las piezas obtenidas es uniforme, con mínimos o directamente sin defectos superficiales que reparar, lo que implica menor uso de equipos y mano de obra, con las consiguientes ventajas económicas.

CAPÍTULO III: MATERIALES, PROPIEDADES Y ENSAYOS

3.1 AGREGADOS

El concreto está constituido en un porcentaje por agregados (50-80% en volumen), por tanto, estos no son menos importantes que la pasta del cemento endurecida, el agua, el aire incorporado, el aire naturalmente atrapado, o los aditivos; por el contrario, gran parte de las características de las mezclas de concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener concretos económicos y de buena calidad.

3.1.1 Agregado fino

El agregado fino generalmente proviene de la desintegración natural de rocas o la trituración de ellas, estas partículas deben pasar el tamiz de 4.75 mm (N°4) y cumplir con los límites granulométricos establecidos en la norma NTP 400.037 o ASTM C33.

Para nuestra investigación se utilizará como agregado fino al proveniente de la cantera Trapiche, este agregado será utilizado para la elaboración del concreto.

3.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso generalmente proviene de gravas naturales o la combinación de rocas y gravas trituradas, estas partículas se encuentran en el rango de 9.4 mm y 38 mm y deben cumplir con los límites granulométricos establecidos en la norma NTP 400.012 o ASTM C33.

Para nuestra investigación se utilizará como agregado grueso al proveniente de la cantera UNICON, este agregado será utilizado para la elaboración del concreto.

3.1.3 Propiedades físicas

Muchas de las propiedades físicas de los agregados son determinantes en el diseño y por ende en la dosificación de los insumos participantes en la mezcla de concreto. Es por ello que a continuación trataremos estas propiedades físicas.

3.1.3.1 Gravedad específica y absorción de agregados finos

REFERENCIAS NORMATIVAS: **NTP 400.022 Peso Especifico y absorción del agregado fino.**

El objetivo de este ensayo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

A continuación se muestran las expresiones que se utilizan para calcular los tres estados de pesos específicos.

- Peso específico de masa (Pe_m):

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos todos los poros.

$$P_m = \frac{W_u}{(V - V_a)}$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa

W_a = Peso de la muestra secada en el horno en gr.

V = Volumen del frasco en cm^3 .

V_a = Peso en gr. o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

- Peso específico de masa saturado superficialmente seco (Pe_{sss})

Se refiere al volumen del material cuando todos los poros del agregado esta llenos de agua.

$$P_s = \frac{500}{(V - V_a)}$$

- Peso específico aparente (Pe_a)

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos los poros impermeables, aunque no los capilares.

$$P_a = \frac{W_u}{(V - V_u) - (500 - W_u)}$$

- Absorción (A_b)

Se denomina así a la relación de la disminución de masa respecto a la masa de la muestra seca.

$$A_b = \frac{500 - W_u}{W_u} \times 100$$

3.1.3.2 Peso específico y absorción del agregado grueso

REFERENCIAS NORMATIVAS: **NTP 400.021 Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.**

El objetivo de este ensayo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado grueso.

A continuación se muestran las expresiones que se utilizan para calcular los tres estados de pesos específicos. Este modo operativo no es aplicable para agregados ligeros.

- Peso específico de masa (P_{em}):

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos todos los poros.

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra secada en el horno en gr.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire en gr.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

V_a = Peso en gr. o volumen en cm^3 de agua añadida al frasco.

- Peso específico de masa saturado superficialmente seco (P_{esss})

$$P_{s.} = \frac{B}{(B - C)}$$

- Peso específico aparente (P_{e_a})

Se refiere al volumen del material sólido, incluidos los poros impermeables, aunque no los capilares.

$$P_{e_a} = \frac{A}{(A - C)}$$

- Absorción (P_{e_a})

Se denomina así a la relación de la disminución de masa respecto a la masa de la muestra seca.

$$A_b = \frac{B - A}{A} \times 100$$

3.1.3.3 Peso unitario y contenido de vacíos

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 400.017 Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.

Se tiene por objetivo determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, grueso o una mezcla de ambos.

El método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150 mm. (6”).

- Peso unitario suelto
 - Llenar el recipiente hasta el rebose con un cucharón, descargando el agregado de una altura que no exceda 50 mm. Nivelar la superficie del agregado con una espátula.
 - Determinar el peso del recipiente más su contenido y el peso del recipiente, registrar los valores con exactitud de 0.05 kg.
- Peso Unitario compactado
 - Llenar el recipiente a un tercio del total. Apisonar la capa con 25 golpes con la varilla uniformemente distribuido sobre la superficie. Se repite el procedimiento para la segunda y tercera capa, en la última capa se nivela la superficie del agregado con una espátula.

- En el apisonado de la primera capa, procurar no golpear el fondo del recipiente con la varilla. En el apisonado de la 2da y 3ra capas, la varilla no debe penetrar la capa previa del agregado.
- Determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0.05 kg.

El cálculo del peso unitario compactado o suelto, se calcula como sigue:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m³.

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg.

T = Peso del recipiente de medida en kg.

V = Volumen del recipiente de medida en m³.

- Contenido de vacíos en los agregados

Calcular el contenido de vacíos en el agregado usando la densidad de masa determinada por cualquiera de los procedimientos descritos como sigue:

$$\%V = \frac{(A_1) - B}{A_1}$$

Donde:

A = Peso específico aparente

B = Peso unitario de los agregados en kg/m³

W = Densidad del agua, 998 kg/m³.

3.1.3.4 Contenido de humedad

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 339.185 Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

El objetivo del ensayo es establecer procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

Calcular el contenido de humedad total evaporable de la siguiente manera

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gr.

D = Masa de la muestra seca en gr.

3.1.3.5 Análisis granulométrico

REFERENCIAS NORMATIVAS: **NTP 400.012 Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.**

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

- Módulo de finura

Se define el módulo de finura como la suma del porcentaje acumulado retenido de material en cada uno de los siguientes tamices, dividido entre 100.

Los valores típicos de módulo de finura se encuentran en un rango entre 2.3 y 3.1 donde un valor más alto indica una gradación más gruesa.

$$M.F. = \frac{\sum \% r_i}{100}$$

- Tamaño nominal máximo

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado donde se produce el primer retenido y el tamaño máximo corresponde a la malla más pequeña por la que pasa todo el agregado.

3.1.3.6 Materiales que pasan la malla N°200

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 400.018 Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado cantidad de 75 µm (N° 200) por lavado en agregados.

El objetivo del ensayo es determinar el material fino que pasa el tamiz N° 200 en el agregado a emplearse durante la investigación. Las partículas finas del agregado que son dispersadas por el agua, serán removidas del agregado durante el ensayo.

Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz N° 20 por lavado con agua, como sigue:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz N° 200 por lavado.

B = Peso seco de la muestra original, en gr.

C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gr.

3.1.4 Resultado de las propiedades

En el cuadro N° 3.1, se muestra el resumen de los valores obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio a los agregados que serán utilizados en la elaboración del concreto. Cabe mencionar que el agregado fino proviene de la cantera Trapiche y el agregado grueso de la cantera UNICON.

CUADRO N°3.1 Resumen de los ensayos a los agregados.

Propiedad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso específico de masa	2.63 gr/cm ³	2.55 gr/cm ³
Peso específico de masa superficialmente seco	2.66 gr/cm ³	2.58 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.71 gr/cm ³	2.61 gr/cm ³
Porcentaje de absorción	1.11%	0.90%
Peso Unitario Suelto	1426.71 kg/m ³	1394.68 kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1643.50 kg/m ³	1548.94 kg/m ³
Contenido de Humedad	2.45%	0.44%
Modulo de Finura	3.40	7.25
Tamaño Máximo	--	1 1/2"
Tamaño Nominal	--	1"
Porcentaje que pasa la malla N° 200	7.5%	--

Elaboración propia

En el cuadro N°3.2 se presentan los resultados del ensayo de granulometría del agregado fino y en el grafico N°3.1 la curva granulométrica generada por estos resultados.

CUADRO N°3.2 Análisis granulométrico del agregado fino

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Retenido que pasa
Tamiz N°	mm				
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	30	3.00	3.00	97.00
N° 8	2.380	176	17.60	20.60	79.40
N° 16	1.190	298	29.80	50.40	49.60
N° 30	0.595	265	26.50	76.90	23.10
N° 50	0.297	150	15.00	91.90	8.10
N° 100	0.149	55	5.50	97.40	2.60
Fondo		26	2.60	100.00	0.00

Elaboración propia

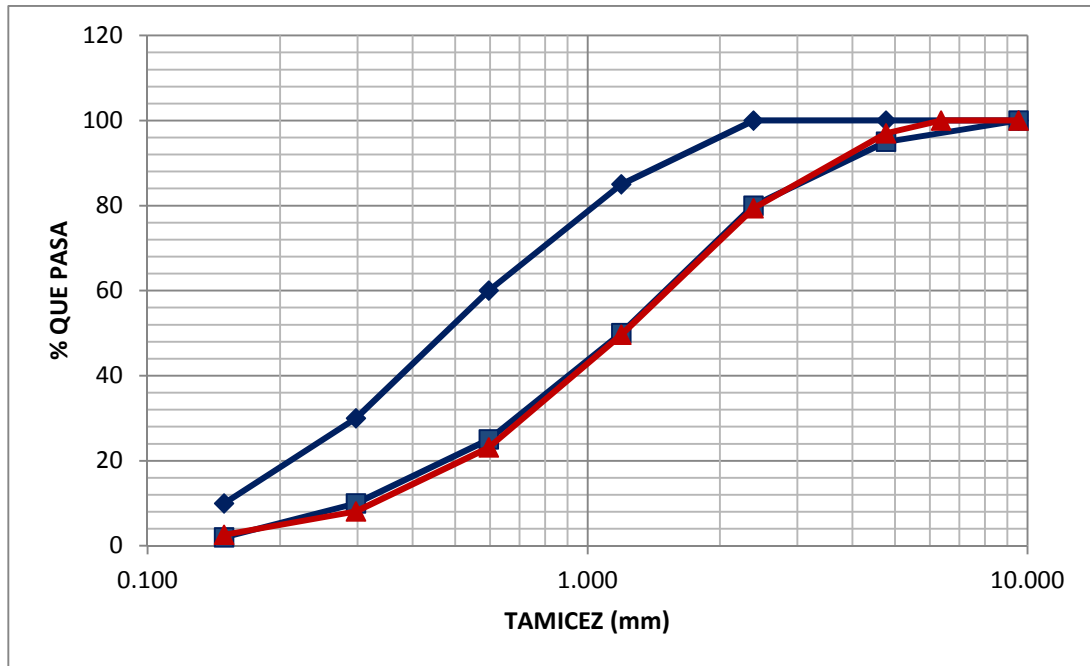


GRÁFICO N°3.1 Curva granulométrica del agregado fino

En el cuadro N°3.3 se presentan los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso y en el gráfico N°3.2 la curva granulométrica generada por estos resultados.

CUADRO N°3.3 Análisis granulométrico del agregado grueso

Malla	Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Retenido que pasa
Tamiz N°	mm			
1 1/2"	38.10	0	0.00	100.00
1"	25.40	316.1	3.16	96.84
3/4"	19.00	2770.9	27.71	69.13
1/2"	12.70	5398.9	53.99	15.14
3/8"	9.53	1075.5	10.76	4.38
N° 4	4.76	421.0	4.21	0.17
N° 8	2.38	0.0	0.00	0.17
N° 16	1.19	0.0	0.00	0.17
Fondo		17.4	0.17	0.00

Elaboración propia

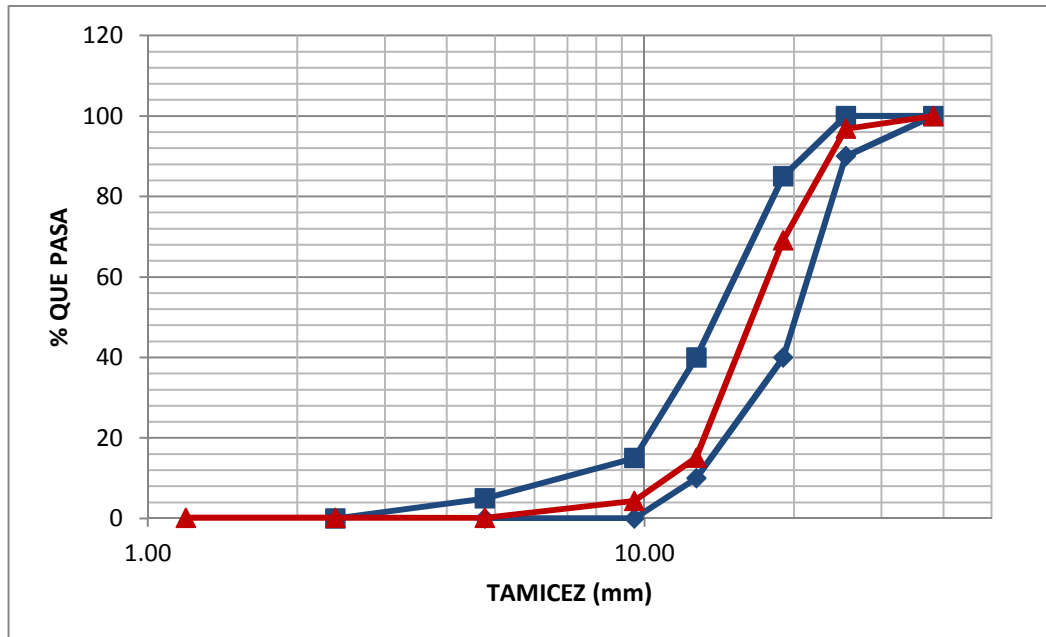


GRÁFICO N°3.2 Curva granulométrica del Agregado Grueso

3.1.5 Agregado global

En la elaboración del concreto se observa que gran porcentaje del volumen total es proporcionado por los agregados, esto nos induce entonces a entender que la mayoría de las propiedades del concreto dependen de las características de los agregados. Con esta premisa es que el método del Agregado Global para diseño de concreto tiene como primer objetivo encontrar la distribución más eficiente de partículas en relación a la gradación de la mezcla de agregados. Completado este primer objetivo el diseño se enfoca a los siguientes puntos:

- Controlar la trabajabilidad del concreto.
- Obtener la máxima compacidad de la mezcla de agregados, para alcanzar en el concreto una mayor resistencia.

3.1.5.1 *Peso unitario compactado*

En este ensayo se busca determinar la mejor combinación de los agregados. El ensayo se realiza con el mismo procedimiento descrito en el ensayo de peso unitario compactado de los agregados en forma individual.

A diferencia del ensayo realizado en la parte de agregados de manera individual, estos ensayos se realizarán con la mezcla de agregados en varias proporciones, con la finalidad de encontrar la mezcla con mayor compactación.

Los resultados del Peso Unitario Compactado se presentan en el cuadro N° 3.4, al igual que los porcentajes de agregado usados en cada mezcla.

CUADRO N°3.4 Resultado del ensayo de P.U.C. al agregado global.

% Arena	% Piedra	P.U.C. Agregado Global (kg/m³)
44	56	2002.34
47	53	2012.94
50	50	2004.46
53	47	1975.86
56	44	1912.29

Elaboración propia

En el gráfico N° 3.3 se observa la variación que presenta el peso unitario compactado en función a la mezcla de los agregados en diferentes proporciones. Del gráfico podemos deducir que el punto máximo alcanzado por la curva nos mostrará la mejor combinación de agregados que garantice el máximo P.U.C. y en consecuencia la mínima cantidad de vacíos.

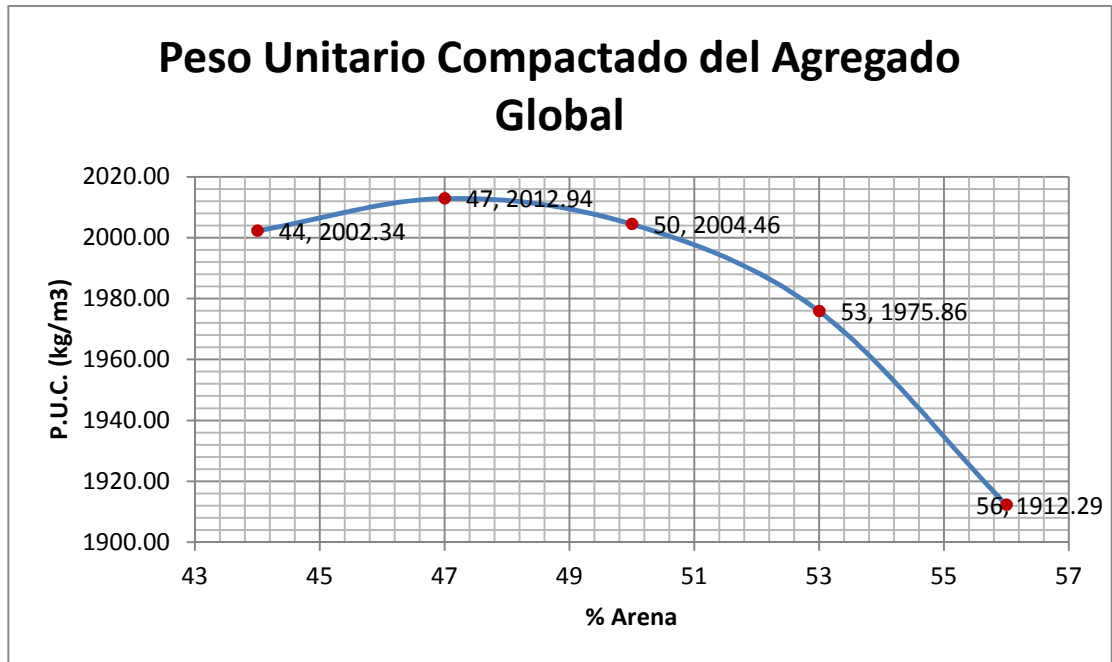


GRAFICO N° 3.3 P.U.C. del agregado global VS. %Arena.

Del gráfico:

Agregado fino = **47.2%**

Agregado grueso = **52.8%**

El valor máximo alcanzado en la mezcla de agregados es una aproximación de los porcentajes de participación de agregado en el diseño final de mezcla, esto debido a que los porcentajes obtenidos anteriormente nos permiten asegurarnos de la economía debido a la menor utilización del material cementante y con ello asegurar la calidad en el concreto que se va a preparar.

La mezcla final será diseñada con mayor detalle en el Capítulo IV, donde corroboraremos si el porcentaje definido en este capítulo es el correcto.

3.1.5.2 Análisis Granulométrico

Luego de haber obtenido el óptimo porcentaje de agregados para la mezcla, se realizará el ensayo de granulometría para el agregado global. (Ver capítulo 4.1.2)

En el cuadro N°3.5 y gráfico N°3.4 se observa el análisis y la curva granulométrica de la mezcla de agregado fino y grueso al 46.5% y 53.5% respectivamente.

CUADRO N°3.5 Análisis granulométrico del agregado global

Malla		46.5% %Ret. Arena	53.5% %Ret. Piedra	% Acumulado global	
Tamiz N°	mm			Retenido	Pasa
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	1.69	1.69	98.31
3/4"	19.00	0.00	14.82	16.52	83.48
1/2"	12.70	0.00	28.88	45.40	54.60
3/8"	9.525	0.00	5.75	51.15	48.85
N° 4	4.760	1.40	2.25	54.80	45.20
N° 8	2.380	8.18	0.09	63.08	36.92
N° 16	1.190	13.86	0.00	76.94	23.06
N° 30	0.595	12.32	0.00	89.26	10.74
N° 50	0.297	6.98	0.00	96.23	3.77
N° 100	0.149	2.56	0.00	98.79	1.21
Fondo		1.21	0.00	100.00	0.00

Elaboración propia

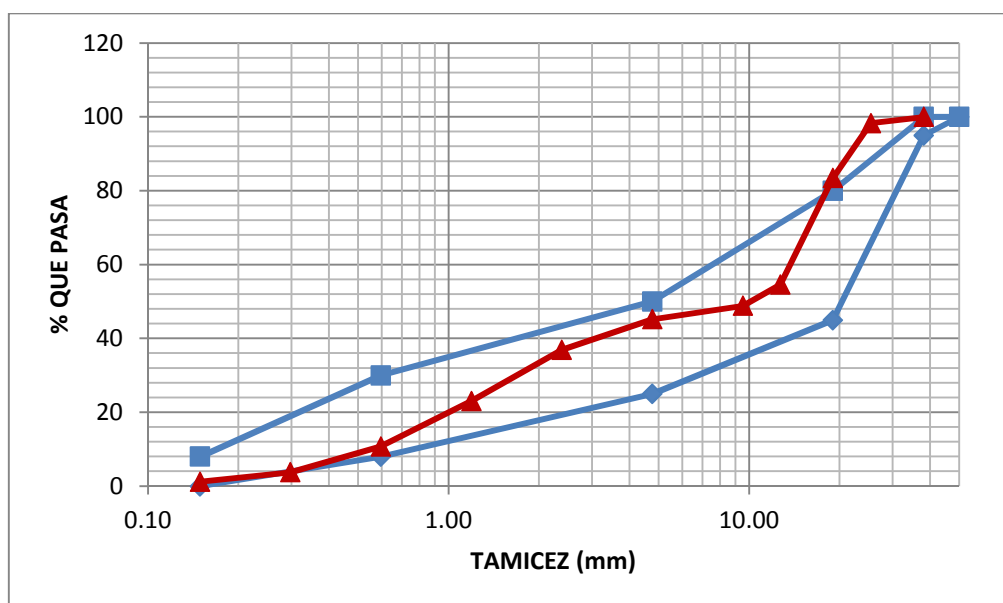


GRAFICO N° 3.4 Curva granulométrica del agregado global

Modulo de finura

El módulo de finura se calcula haciendo la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices: 1½", ¾", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, divididos entre 100.

$$M.F. = \frac{0 + 16.52 + 51.15 + 54.80 + 63.08 + 76.94 + 89.26 + 96.23 + 98.79}{100} = 5.47$$

Modulo de finura (M.F.)= 5.47

3.2 CEMENTO

3.2.1 Cemento usado

El cemento usado es el Cemento Portland tipo I Sol, en presentación de bolsas de 42.5 kg, de la Fábrica de Cementos Lima. Cumple con NTP 334.009 y ASTM C-150. Las características físicas del cemento usado se presentan a continuación en el cuadro N°3.6.

CUADRO N°3.6 Características físicas del Cemento Portland Tipo I – Sol.

Características físicas	Tipo I - Sol	Requerimiento ASTM C-150 NTP 334.002
Peso específico (gr/cm ³)	3.15	---
Fineza Malta 100 (%)	0.04	---
Fineza Malta 200 (%)	4.14	---
Superficie específica Blaine (cm ² /gr)	3480	Mínimo 2800
Contenido de aire (%)	9.99	Máximo 12
Expansión autoclave (%)	0.18	Máximo 0.8
Fraguado inicial Vicat (hr:min)	1.49	Mínimo 0.45
Fraguado final Vicat (hr:min)	3.29	Máximo 6.15
f'c a 3 días (kg/cm ²)	254	124 (12.4 Mpa)
f'c a 7 días (kg/cm ²)	301	193 (19.3 Mpa)
f'c a 28 días (kg/cm ²)	357	276 (27.6 Mpa)
Calor de hidratación 7 días (cal/gr)	70.6	---
Calor de hidratación 28 días (cal/gr)	84.3	---

Fuente: Información proporcionada por el fabricante

3.3 ADITIVO

3.3.1 Aditivo usado

“El aditivo usado es el Aditivo Superplastificante Chemament 440, en presentación de 5 galones, también se vende el producto en presentaciones de 1 galón y cilindro de 55 galones, de la empresa Chema. Cumple con ASTM C-494 tipo D. Las características del aditivo usado proporcionadas por el fabricante se presentan a continuación:

- Ventajas:
 - Por su gran capacidad de reducción de agua, permite diseñar concreto de altas resistencias.
 - Contribuye a impermeabilizar el concreto.
 - Permite mantener el slump por mayor tiempo.
 - Permite una buena colocación del concreto, reduciendo la presencia de grietas (cangrejeras).
 - Mejora el acabado del concreto.
 - Mejora la cohesividad de la mezcla de concreto.
 - Menor costo unitario del concreto (menor requerimiento de cemento).

- Usos:
 - Aumento del asentamiento (slump) permitiendo la obtención de concreto reoplástico.
 - Reduce la relación agua/cemento, permitiendo la obtención de altas resistencias a la compresión a edades tempranas.
 - Concreto que requiere ser bombeado
 - Concreto pretensado
 - Concretos lanzado
 - Concretos fluidos.

- Datos técnicos:
 - Apariencia: líquido.
 - Color: marrón oscuro.
 - Densidad: 1.240 ± 0.01 gr/ml
 - pH: 6.0 ± 0.5

- Preparación

Se recomienda antes de la aplicación de CHEMAMENT 440 solicitar asesoramiento del Departamento Técnico de Chema.

1. Adicionar CHEMAMENT 440 al agua de la mezcla. En ningún caso adicionar CHEMAMENT 440 sobre la mezcla seca.

2. Se deben preparar mezclas a nivel laboratorio para definir la dosis adecuada, de acuerdo al slump/Reducción de agua necesario. La dosis podría variar por influencia de las características de los componentes del concreto.

3. El concreto elaborado con CHEMAMENT 440, puede ser manejado bajo proceso constructivo convencional.

4. Se debe vigilar el correcto proceso de curado a fin de asegurar el desarrollo de propiedades mecánicas sobre el concreto.

- Rendimiento
 - 0.4% - 2.0% del peso del cemento.

- PRESENTACIÓN
 - Envase de 1gal.
 - Envase de 5 gal.
 - Envase de 55gal.
 - Envase de 1000 lt.

- ALMACENAMIENTO

Almacenar CHEMAMENT 440 en su envase original, herméticamente cerrado y en ambientes a temperaturas mayores de 5 °C. De almacenarse bajo lo anteriormente descrito, así como, en lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo su tiempo de vida útil será de 12 meses.”

CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL CONCRETO

En este capítulo analizaremos el proporcionamiento de mezclas de concreto, más conocido como diseño de mezclas, el cual es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí:

- a) Selección de los materiales convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos).
- b) Cálculo de las cantidades “proporcionamiento” para producir un concreto tan económico como sea posible, de buena trabajabilidad, alta resistencia a la compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada material en particular, los cuales a su vez dependerán del uso del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción, controlar el asentamiento o la adecuación a ambientes especiales, por lo general a climas extremos.

En relación al diseño de concreto se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño, en buena parte permanece como un proceso empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a la compresión para una edad especificada así como una trabajabilidad apropiada.

4.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO PATRON

En esta investigación se busca optimizar los agregados y en especial el cemento por ser el material que mas incrementa el costo. Para ello buscamos la proporción de los agregados que nos den como resultado la mayor densidad al ser mezclados.

En el capítulo II se realizó el ensayo de Peso Unitario Compactado del agregado global y se logro obtener como resultado la primera tentativa del porcentaje de agregados en el concreto, todo esto con el objetivo de tener una menor cantidad de vacios. De este modo se asegura la condición de economía pero no las propiedades de durabilidad y resistencia a la compresión, estas serán analizadas posteriormente al diseñar concreto variando la relación de agua/cemento de

0.60, 0.65 y 0.70 con y sin la adición del aditivo superplastificante “Chemament 440”.

A continuación se detallan cada uno de los procesos que se realizarán para el diseño de concreto por el método elegido, el método del Agregado Global.

4.1.1 Método para la obtención del agua

La elección de la cantidad de agua (lt/m^3) se realizará por un procedimiento experimental en el laboratorio, con el objetivo de obtener un concreto con asentamiento de aproximadamente 4". De esta manera estaremos asegurando la condición de trabajabilidad el cual era uno de los requerimientos en el diseño del concreto.

En este caso se tomaron las cantidades de 220, 230 y 240 lt/m^3 , los cuales son valores que por estudios anteriores nos llevan a obtener el asentamiento requerido.

La cantidad de cemento se obtiene por la relación agua/cemento y la cantidad de agua elegida, la cantidad de agregados se obtiene del porcentaje que se obtuvo en el capítulo anterior.

En el siguiente cuadro se aprecian las cantidades para cada diseño y los resultados que se obtuvieron del ensayo de asentamiento para cada diseño de mezcla.

CUADRO N°4.1 Dosificación de materiales para obtener el agua patrón.

a/c	Materiales	Diseño seco (kg)	Diseño húmedo (kg)
0.65	Cemento	338.46	338.46
	Agua	220.00	212.98
	Arena	834.88	855.33
	Piedra	905.52	909.51
Asentamiento = 2.5"			
0.65	Cemento	353.85	353.85
	Agua	230.00	223.13
	Arena	816.40	836.40
	Piedra	885.48	889.38
Asentamiento = 4.0"			
0.65	Cemento	369.23	369.23
	Agua	240.00	233.29
	Arena	797.93	817.48
	Piedra	865.44	869.25
Asentamiento = 5.2"			

Elaboración propia

A continuación se muestra el grafico N°4.1 que muestra el asentamiento obtenido con la cantidad de agua usada por metro cubico de concreto.

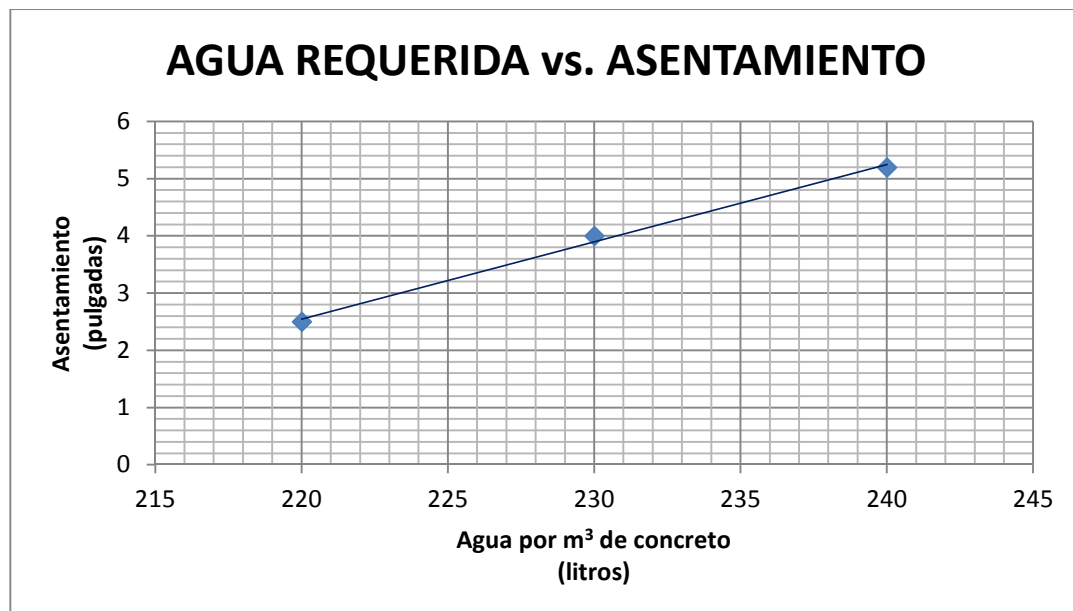


GRÁFICO N°4.1 Variación del asentamiento por incremento de agua.

De los resultados obtenemos el agua requerida para un asentamiento de 4", a esto lo llamaremos agua patrón. Esto nos indicara el agua necesaria para las tres relaciones de agua/cemento que desarrollaremos en la investigación y que comprendan un asentamiento de 3.5" a 4.5", como lo mencionamos desde el inicio.

Del grafico obtenemos:

$$\text{Agua patrón} = 230 \text{ lt/m}^3.$$

4.1.2 Determinación del porcentaje de los agregados

En el capítulo II se obtuvo como resultado del ensayo de Peso Unitario Compactado del agregado global, la primera tentativa para los porcentajes de participación de los agregados en el concreto. En esta etapa del diseño vamos a corregir o corroborar este porcentaje, también de forma experimental pero en esta ocasión valiéndonos del ensayo de compresión axial a las muestras endurecidas de concreto.

Para este caso, como se observa en el cuadro N°4.2 diseñaremos una vez más para la relación $a/c=0.65$, manteniendo constante el agua patrón que hallamos en el paso anterior y por ende la cantidad de cemento se mantendrá constante también. En esta etapa del diseño se variará el porcentaje de los agregados con un $\pm 3\%$ con respecto a los valores obtenidos en el capítulo anterior.

Recordemos que el capítulo II obtuvimos los siguientes porcentajes de participación para los agregados:

$$\text{Agregado fino} = 47.2\%$$

$$\text{Agregado grueso} = 52.8\%$$

CUADRO N°4.2 Dosificación de materiales para obtener el porcentaje de agregados.

Diseño	Materiales	Diseño seco (kg)	Diseño húmedo (kg)
a/c = 0.65 Arena: 44.2% Piedra: 55.8%	Cemento	353.85	353.85
	Agua	230.00	224.06
	Arena	764.51	783.24
	Piedra	935.80	939.91
a/c = 0.65 Arena: 47.2% Piedra: 52.8%	Cemento	353.85	353.85
	Agua	230.00	223.13
	Arena	816.40	836.40
	Piedra	885.48	889.38
a/c = 0.65 Arena: 50.2% Piedra: 49.8%	Cemento	353.85	353.85
	Agua	230.00	222.21
	Arena	868.29	889.57
	Piedra	835.17	838.85

Elaboración propia

Las muestras serán removidas de sus moldes en un tiempo no menor a 24 horas después de su elaboración y posteriormente por inmersión de la muestra de concreto en agua, serán curadas hasta los 7 días desde el día de su preparación.

El ensayo de compresión axial de las muestras curadas en agua se realizará después de que estas son retiradas de la poza de curado. Los resultados de este ensayo se muestran en el cuadro N°4.3.

CUADRO N°4.3 Resultados del ensayo de compresión axial a 7 días.

% Arena	% Piedra	Resistencia (kg/cm ²)
44.2	55.8	184.1
47.2	52.8	191.6
50.2	49.8	134.9

Elaboración propia

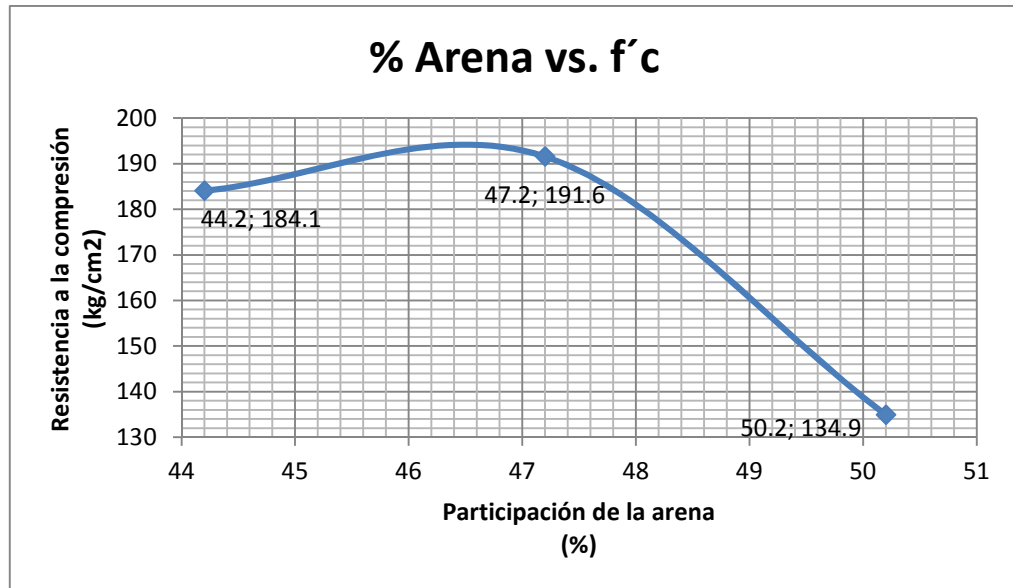


GRÁFICO N°4.2 Curva de variación del $f'c$ en función al % de arena en la mezcla.

En el gráfico N°4.3 sobreponemos el gráfico N°3.3 del ensayo de P.U.C. del agregado global con el gráfico N°4.2 de la curva de variación de la resistencia a la compresión en función al porcentaje de arena en la mezcla con el objetivo de hacer una comparación aproximada de la influencia de la densidad del agregado global en la resistencia del concreto.

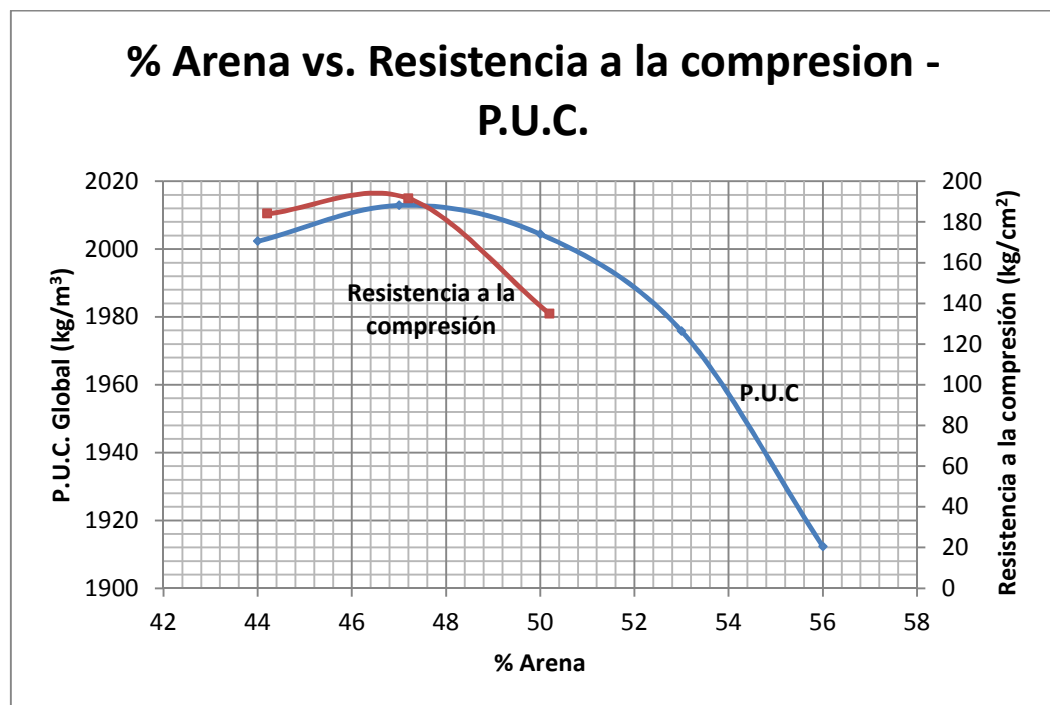


GRÁFICO N°4.3 P.U.C. de agregado global y resistencia a la compresión vs. Porcentaje de arena.

Del gráfico N°4.3 se aprecia que para obtener la mejor combinación de agregados y a la vez una buena resistencia a la compresión, los valores en porcentaje del agregado fino y agregado grueso deben ser:

Agregado fino = **46.5%**

Agregado grueso = **53.5%**

3.1.3 Diseño de concreto patrón

El diseño del concreto patrón requiere de los valores hallados anteriormente tanto de las propiedades físicas de los agregados, la cantidad de agua patrón y los porcentajes de participación de los agregados que se obtuvieron en las secciones anteriores.

El proceso para realizar el diseño del concreto es idéntico para cada una de las relaciones agua/cemento usadas en la investigación. En manera de ejemplo, será detallado el diseño del concreto para la relación agua/cemento=0.65, cabe resaltar que los diseños realizados hasta el momento en la obtención de agua patrón con el ensayo de asentamiento y la determinación de los agregados por el ensayo de resistencia a las muestras de concreto, son de exactamente el mismo procedimiento que detallaremos a continuación:

Diseño de concreto patrón: PARA 1 m³ DE CONCRETO

- El agua patrón hallada en la sección anterior es 230 litros por m³.

$$\frac{a}{c} = \frac{230 \text{ k}}{c} = 0.65$$

$$c = 353.85 \text{ k}$$

- Usamos el porcentaje de agregados y sus propiedades.

	Agregado grueso	Agregado fino	Cemento
Porcentaje	53.50%	46.50%	--
Peso específico	2.55 kg/cm ³	2.63 kg/cm ³	3.15 kg/cm ³
Absorción	0.90%	1.11%	--
Humedad	0.44%	2.45%	--

Debemos considerar que por la exposición al medio ambiente de los agregados el porcentaje de humedad debe ser medido, si es posible para cada vaciado. En el caso del cemento debemos tener todas las consideraciones para una buena conservación y no vernos afectados por la variación en sus propiedades.

a) Volumen absoluto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{P_e} = \frac{380 \text{ k}}{3150 \text{ k/m}^3} = 0.1123 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{230 \text{ lt}}{P_e} = \frac{230 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.2300 \text{ m}^3$$

$$C_t + A + P = 1 \text{ m}^3$$

$$A = 1 - 0.1123 - 0.2300 = 0.6577 \text{ m}^3$$

$$A = 46.50\% * 0.6577 = 0.3058 \text{ m}^3$$

$$P = 53.50\% * 0.6577 = 0.3519 \text{ m}^3$$

b) Diseño seco

- Cemento = 353.85 kg
- Agua = 230 lt

$$A = P_e * V_a = 2630 \text{ k/m}^3 * 0.3058 \text{ m}^3 = 804.29 \text{ k}$$

$$P = P_e * V_p = 2550 \text{ k/m}^3 * 0.3519 \text{ m}^3 = 897.22 \text{ k}$$

c) Diseño unitario suelto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{230 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6500$$

$$A = \frac{804.29 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.2730$$

$$P = \frac{897.22 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5356$$

d) Diseño de obra o diseño húmedo

- Cemento = 353.85 kg

En esta sección corregiremos la cantidad de agua en el diseño, esto debido al porcentaje de humedad y absorción de cada agregado.

- Corrección por agregado fino:

$$\frac{(\%H - \%A) * P_a}{100} = \frac{(2.45 - 1.11) * 804.29}{100} = 10.78 \text{ lt}$$

- Corrección por agregado grueso:

$$\frac{(\%H - \%A) * P_p}{100} = \frac{(0.44 - 0.90) * 897.22}{100} = -4.13 \text{ lt}$$

$$A = 10.78 - 4.13 = 6.65 \text{ lt}$$

Se puede observar que la arena aporta agua a la mezcla, mientras la piedra hace lo contrario. La suma nos resulta el agua aportada por ambos agregados. La corrección final se hace restando el agua aportado por los agregados al agua patrón.

$$A = 230 - 6.65 = 223.35 \text{ lt}$$

- Calculo de agregados húmedos:

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) * P_a = \left(1 + \frac{2.45}{100}\right) * 804.29 = 824.00 \text{ k}$$

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) * P_p = \left(1 + \frac{0.44}{100}\right) * 897.22 = 901.17 \text{ k}$$

- e) Diseño unitario de obra (D.U.O.)

$$C = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{223.35 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6312$$

$$A = \frac{824.00 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.3287$$

$$P = \frac{901.17 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5468$$

f) Diseño para laboratorio

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.6312 + 2.3287 + 2.5468 = 6.5067$$

En los ensayos realizados de asentamiento para el cálculo de agua patrón, se hicieron vaciados con 25 kg de mezcla. Como demostración se hará el cálculo para esta cantidad de mezcla, en los siguientes procesos se seguirá la misma rutina para las cantidades que se requieran.

$$n = \frac{25 \text{ k}}{6.5067} = 3.84 \text{ k}$$

Los pesos a usar en el laboratorio son:

$$C_t = (D.U.O._{ce}) * 3.84 = 1 * 3.84 = 3.84 \text{ k}$$

$$A = (D.U.O._a} * 3.84 = 0.6312 * 3.84 = 2.43 \text{ k}$$

$$A = (D.U.O._a} * 3.84 = 2.3287 * 3.84 = 8.95 \text{ k}$$

$$P = (D.U.O._p} * 3.84 = 2.5468 * 3.84 = 9.79 \text{ k}$$

En el cuadro N°4.4 se muestra el resumen de todos los resultados obtenidos en cada pasa del diseño de concreto patrón, esto para la relación agua/cemento=0.65 como se indico desde un inicio.

CUADRO N°4.4 Diseño de concreto patrón.

a/c	Material	Volumen absoluto (m3)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (25 kg)
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	223.35	0.6312	2.43
	Arena	0.3058	804.29	2.2730	824.00	2.3287	8.95
	Piedra	0.3519	897.22	2.5356	901.17	2.5468	9.79
							Asentamiento = 4"

Elaboración propia

El cuadro N°4.5 muestra el diseño del concreto patrón para cada una de las relaciones agua/cemento que planteamos en la investigación, en este caso son 0.60, 0.65 y 0.70. El procedimiento se detallo en la sección anterior para una relación a/c, los demás diseños serán detallados en los anexos.

CUADRO N°4.5 Diseño de concreto patrón para las relaciones investigadas.

a/c	Material	Diseño seco (kg)	Diseño de obra (kg)
0.60	Cemento	383.33	383.33
	Agua	230.00	223.44
	Arena	792.85	812.27
	Piedra	884.45	888.34
0.65	Cemento	353.85	353.85
	Agua	230.00	223.35
	Arena	804.29	824.00
	Piedra	897.22	901.17
0.70	Cemento	328.57	328.57
	Agua	230.00	223.27
	Arena	814.11	834.05
	Piedra	908.17	912.17
Asentamiento comprendido entre 3.5" - 4.5"			

Elaboración propia

4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO

Para el diseño del concreto con aditivo se usarán las propiedades indicadas en la hoja técnica del aditivo Chemament 440, esta adición nos proporcionara una reducción de agua según el porcentaje de aditivo que se adicione, en la investigación usaremos dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para ello realizaremos ensayos de asentamiento en el laboratorio con la finalidad de mantener las mismas condiciones de trabajabilidad que el diseño de concreto patrón, asentamiento entre 3.5" a 4.5", rango que fue establecido desde el inicio de la investigación.

El procedimiento de diseño del concreto es similar al realizado en el concreto patrón que se mostro anteriormente para la relación agua/cemento=0.65, continuando con el ejemplo del proceso de diseño adicionaremos el aditivo Chemament 440 al 0.5% del peso de cemento.

Diseño de concreto con aditivo: PARA 1 m³ DE CONCRETO

- El agua patrón hallada en la sección anterior es 230 litros por m³.

$$a/c = \frac{230 \text{ k}}{c_e} = 0.65$$

$$C_t = 353.85 \text{ k}$$

- Calculo del volumen de aditivo
 - o Densidad del aditivo = 1.24 kg/lit

$$P_a = 0.50\% * P_{c_e} = 0.50\% * 353.85 \text{ k} = 1.7692 \text{ k}$$

$$V_a = \frac{P_a}{D_a} = \frac{1.7692 \text{ k}}{1.24 \text{ k / lit}} = 0.0014 \text{ m}^3$$

Posteriormente, se determina de manera experimental la cantidad en la reducción de agua, en el diseño que estamos tomando como ejemplo y desarrollado al detalle se obtuvo una reducción del 10.24% con respecto a la cantidad de agua en el diseño de concreto patrón. Esta reducción nos permite conservar la condición de trabajabilidad, manteniendo constante las cantidades de cemento y agregados obtenidos en el diseño de concreto patrón.

En el cuadro N°4.6 se muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del diseño de concreto con una dosificación de aditivo al 0.5% del peso de cemento, para la relación agua/cemento=0.65.

CUADRO N°4.6 Diseño de concreto, a/c=0.65 y aditivo=0.50%P.C.

a/c	Material	Volumen absoluto (m3)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (25 kg)
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.89
	Agua	0.2300	206.44	0.5834	199.80	0.5647	2.19
	Arena	0.3052	802.55	2.2681	822.21	2.3236	9.03
	Piedra	0.3511	895.28	2.5301	899.22	2.5413	9.87
	Aditivo	0.0014	1.77	0.0050	1.77	0.0050	0.02
	Aditivo = 0.5 % peso de cemento Agua inicial = 230 lt/m ³				Asentamiento = 4.0" Reducción de agua = 23.56 lt/m ³ (10.24%)		

Elaboración propia

4.3 RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN DEL AGUA DE DISEÑO

El diseño del concreto para las demás dosificaciones se realiza de forma similar a la detallada anteriormente. En cada una de ellas se realizaron los ensayos para mantener la condición de trabajabilidad y obtener como resultado un asentamiento comprendido entre 3.5" – 4.5" y con ello comparar el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido para cada una de los diseños planteados inicialmente.

En el cuadro N°4.7, se detalla la reducción de agua de diseño, en litros y porcentaje, para cada uno de los diseños planteados, también se observa el asentamiento que obtuvo cada diseño lo que nos confirma el cumplimiento de la condición de trabajabilidad.

CUADRO N°4.7 Resultados de asentamientos y agua reducida.

Diseño de mezcla		Asentamiento (pulgadas)	Agua reducida	
a/c	Aditivo		Agua (lt)	Reducción (%)
0.60	Patrón	4.0"	--	--
	0.50%	4.0"	21.70	9.43
	1.00%	3.8"	43.57	18.94
	1.50%	3.9"	61.07	26.55
0.65	Patrón	4.0"	--	--
	0.50%	4.1"	23.56	10.24
	1.00%	3.8"	45.09	19.60
	1.50%	4.0"	63.23	27.49
0.70	Patrón	4.0"	--	--
	0.50%	4.0"	25.50	11.09
	1.00%	3.8"	47.28	20.56
	1.50%	3.9"	65.69	28.56
Agua de diseño sin aditivo o patrón = 230 lt				
Asentamiento: 3.5" - 4.5"				

Elaboración propia

En los gráficos N°4.4 al N°4.6 se realiza la comparación del asentamiento obtenido y del agua reducida a causa de la inclusión del aditivo Chemament 440 en el concreto, para cada una de las dosificaciones planteadas desde el inicio de la investigación.

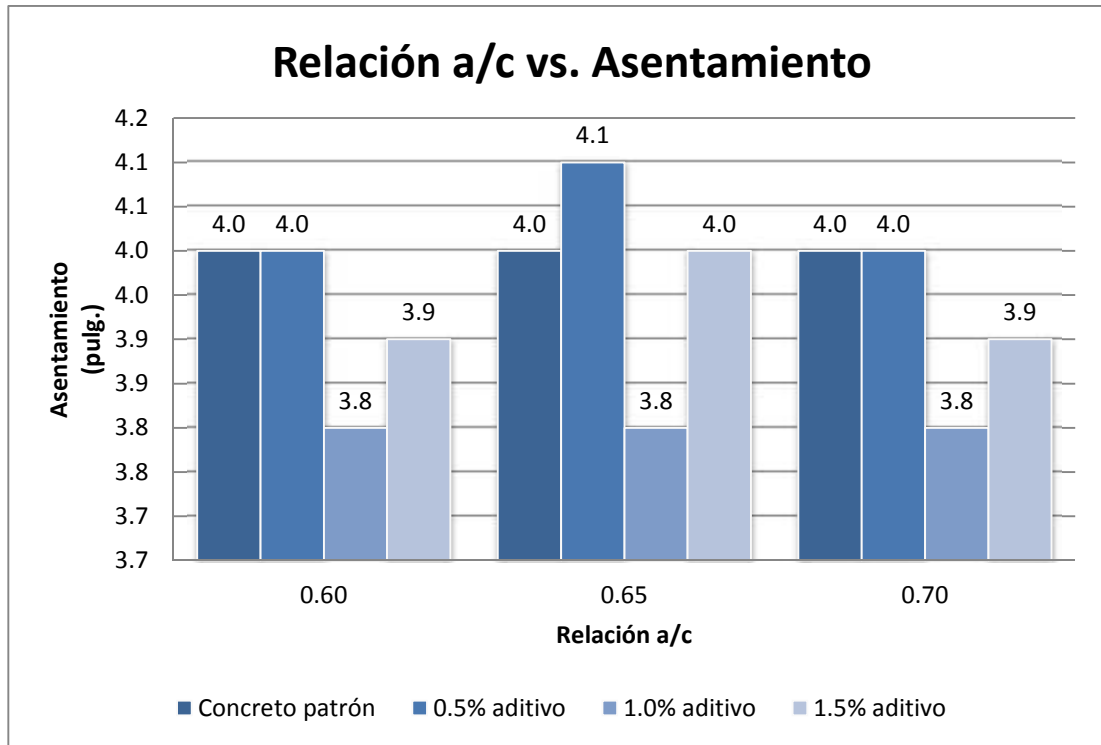


GRÁFICO N°4.4 Asentamiento de cada diseño realizado.

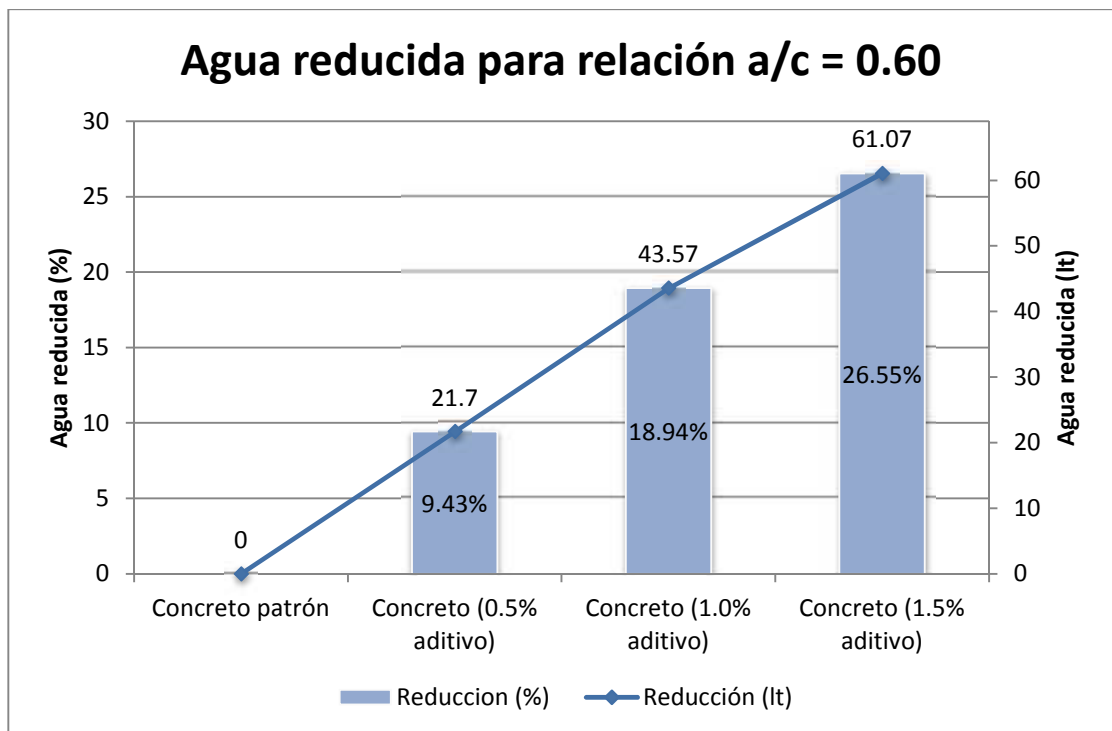


GRÁFICO N°4.5 Reducción de agua por m³ de concreto para la relación a/c=0.60.

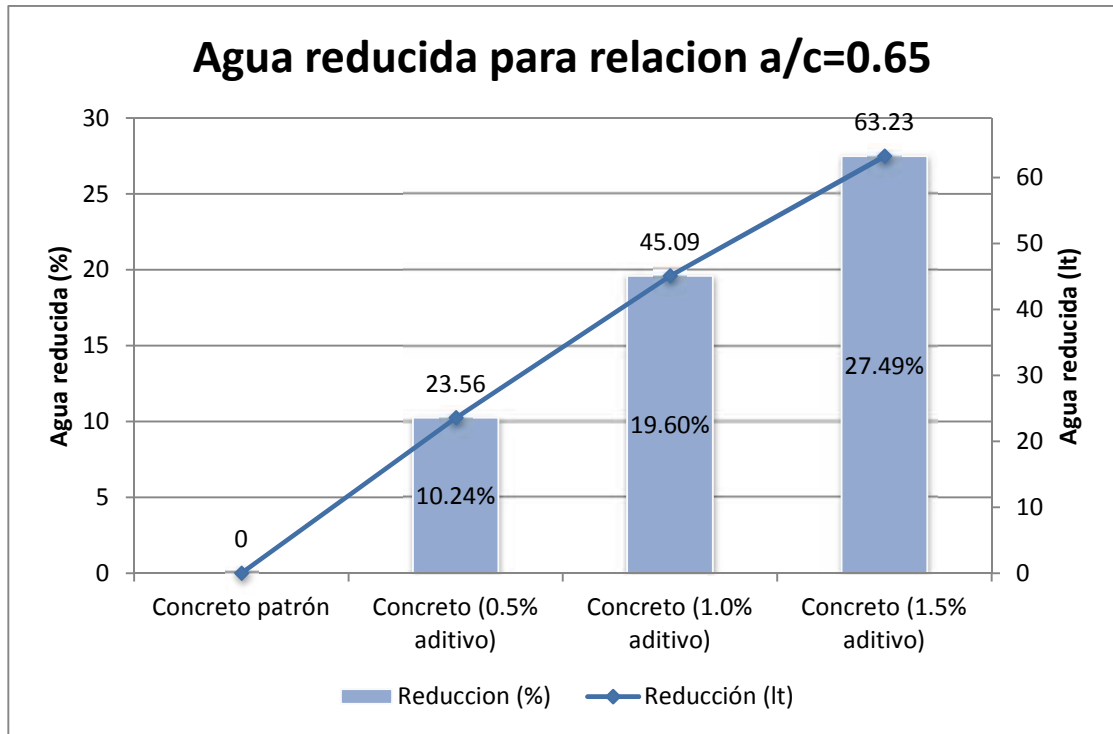


GRÁFICO N°4.6 Reducción de agua por m3 de concreto para la relación a/c=0.65.

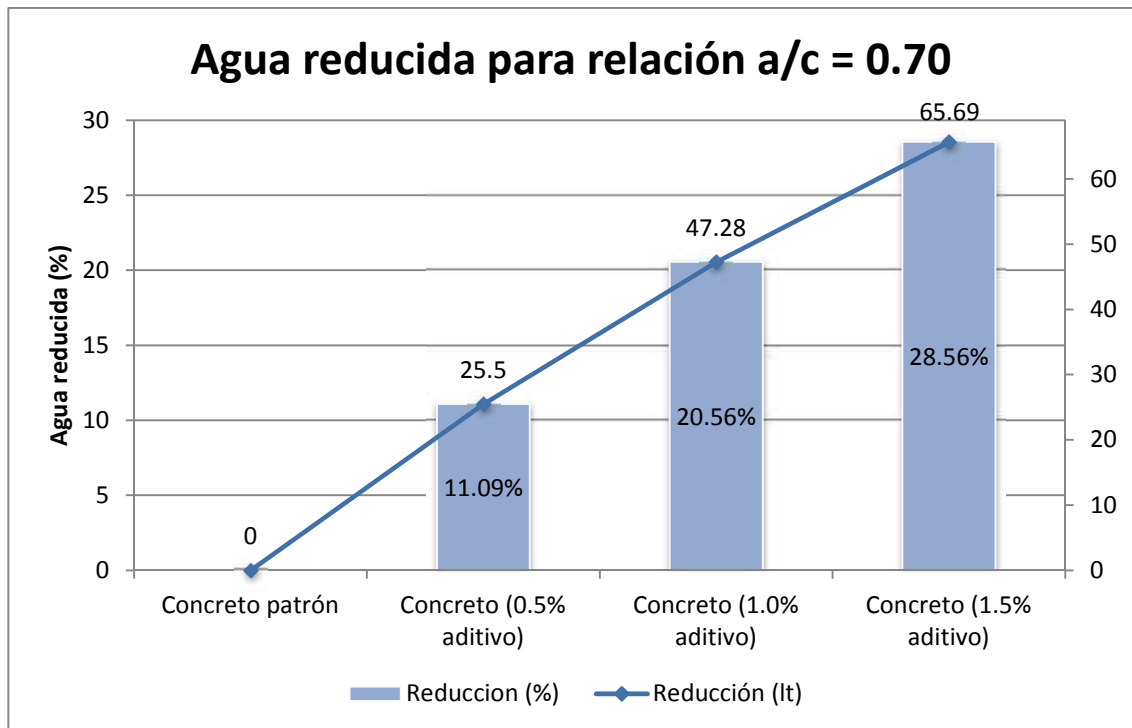


GRÁFICO N°4.7 Reducción de agua por m3 de concreto para la relación a/c=0.70.

CAPÍTULO V: ENSAYOS Y RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El concreto recién mezclado o en estado fresco presenta las siguientes características, plástico y moldeable, estado en el cual no se produce el endurecimiento. El conglomerado de materiales debe de cumplir diversos criterios para ser aceptado empezando por la elección de los materiales que intervendrán en la mezcla, el diseño de las mezclas con y sin aditivo, los procesos de mezclado y las características mínimas con las que debe contar el concreto para ser colocado en el sitio de moldeado y fraguado final.

5.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

Para el control de calidad del concreto en estado fresco se tomaran muestras significativas de cada diseño según el requerimiento del ensayo, con lo cual analizaremos el comportamiento del concreto a las distintas pruebas que serán detalladas a continuación:

5.1.1 Asentamiento

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 339.035 Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland.

La consistencia del concreto es la mayor o menor capacidad que posee el concreto en estado fresco para deformarse, y en consecuencia para ocupar en mayor porcentaje los espacios vacíos que se generan en el encofrado y/o la armadura de acero al momento de que el concreto sea vertido en este.

En esta propiedad del concreto influyen muchos factores, pero en especial la cantidad de agua en el diseño ya que la variación de este elemento afecta rápidamente la medida del asentamiento, también influye la forma, el tamaño máximo y en especial la granulometría de los agregados.

La consistencia del concreto debe fijarse previamente al vaciado en nuestra investigación como se mencionó desde el inicio, uno de nuestros objetivos es obtener un concreto trabajable con asentamiento entre 3.5"-4.5".

Aparatos:

- Molde metálico en forma de tronco con un diámetro de 200 mm en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm y una altura de 300 mm, provisto de agarraderas y dispositivos para sujetarlos con los pies.
- Barra cilíndrica de acero liso, de 16 mm de diámetro y longitud 60 mm, los extremos debe ser redondeados con radio de 16 mm.
- Plancha metálica plana no absorbente.
- Wincha.
- Cucharón.

Procedimiento:

- Se humedece el molde y se coloca sobre la plancha metálica húmeda. Se fija el molde en el lugar de llenado pisando las aletas y asegurando las abrazaderas. Se llena el molde vaciando el concreto con el cucharón en tres capas de 1/3 de volumen del molde por capa.
- Cada capa se compacta aplicando 25 golpe con la barra compactadora, distribuidos y aplicados uniformemente en toda la sección de la capa. La segunda capa y capa superior se compactan procurando que la barra penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior.
- El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Luego se procede a enrasar rodando la barra sobre el borde superior del molde. Se continúa asegurando el molde firmemente contra la base y se elimina el concreto sobrante. Se retira inmediatamente el molde levantándolo cuidadosamente. Se levanta el molde en $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ con un movimiento ascendente firme.
- Se mide inmediatamente el asentamiento, determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la zara superior del cono deformado.

5.1.2 Peso unitario

REFERENCIAS NORMATIVAS: **NTP 339.046 Método del ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico y contenido de aire del hormigón.**

La densidad o peso unitario del concreto depende de forma directa de la cantidad y la densidad del agregado grueso y fino, también de la cantidad de aire atrapado o incluido de manera intencional con algunos aditivos. Por otro lado el tamaño máximo de los agregados influye en el diseño y por ende en las cantidades de agua y cemento, pues al reducirse la cantidad de pasta, aumenta la cantidad de agregados y se incrementa el peso unitario.

Aparatos:

- Balanza con precisión de 45 gr. aprox.
- Barra compactadora cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con punta semiesférica de diámetro 16 mm.
- Recipiente cilíndrico de acero, de peso y volumen conocido.
- Placa metálica de alisado de forma rectangular.
- Mazo con cabeza de caucho.
- Cucharón.

Procedimiento:

- Colocar el concreto en el recipiente de medición usando el cucharón, asegurando una distribución homogénea.
- Colocar el concreto en tres capas aproximadamente del mismo volumen, apisonar con 25 golpes de la barra compactadora; la capa del fondo evitando que la barra no golpee fuertemente el fondo del recipiente y para la segunda y tercera capa, la barra compactadora debe penetrar aprox. 25 mm en la capa anterior. Después de que cada capa ha sido apisonado se debe golpear con el mazo los lados del recipiente. 10 a 15 veces.
- Después de consolidar se debe enrasar suavemente la superficie del concreto con la placa plana de alisado.
- Después del enrasado se limpia todo el concreto en exceso y adherido a las paredes exteriores del recipiente y luego se determina la masa del concreto.

Cálculos:

$$P_{soU} = \frac{P_t - P_m}{V_m}$$

Donde:

P_t = Peso total, en kg.

P_m = Peso del medidor, en kg.

V_m = Volumen del medidor

5.1.3 Exudación

REFERENCIAS NORMATIVAS: **NTP 339.077 Método del ensayo gravimétrico para determinar la exudación de hormigón.**

La exudación es el desarrollo de una capa de agua en la superficie de concreto recién colocado y es causada por la sedimentación de las partículas sólidas y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. La exudación es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado.

Un poco de exudación es útil en el control de fisuración por retracción plástica pero por otro lado, la excesiva exudación aumenta la relación agua/cemento cerca de la superficie lo que podría significar una capa superficial débil y con poca durabilidad.

Aparatos:

- Recipiente cilíndrico con diámetro interior de 255 mm y una altura interior de 280 mm, el interior será plano y libre de corrosión.
- Balanza con una precisión menor al 0.5% de la muestra.
- Pipeta o instrumento similar para extraer el agua.
- Probeta graduada de 100 ml de capacidad.
- Varilla compactadora de acero liso de 16 mm de diámetro y de 610 mm de longitud con punta semiesférica cuyo diámetro es de 16 mm.

Procedimiento:

- Llenar el recipiente con el concreto de acuerdo con el método usado en el ensayo de peso unitario.
- Inmediatamente después de nivelar la superficie, registrar la hora y determinar la masa del recipiente y su contenido. Colocar el recipiente y su contenido sobre una plataforma nivelada y cubrir el recipiente para evitar la evaporación. Retirar el agua que se acumuló sobre la superficie a intervalos de 10 min durante los primeros 40 min, y luego en intervalos de 30 min hasta que cese la exudación, registre el tiempo de la última observación.
- Para facilitar la extracción del agua de exudación, se inclina el recipiente cuidadosamente colocando un taco de aproximadamente 50 mm de espesor debajo de uno de los lados 2 min antes de extraer el agua. Después que el agua hay sido extraída, se devuelve el recipiente a su posición original sin golpearlo.
- Después de cada extracción se transfiere el agua a la probeta y se anota la cantidad de agua acumulada.

Cálculos:

$$E \quad \text{ón}(\%) = \frac{D}{C} * 100$$

$$C = \frac{W}{M} * S$$

Donde:

C = Masa del agua en la muestra de ensayo en gr.

M = Masa total de la mezcal en kg.

W = Masa neta de agua en la mezcla, en kg.

S = Masa de la muestra, en gr.

D = Masa del agua exudada en gr. o volumen total del agua extraída de la muestra ensayada, en cm³ multiplicado por 1 gr/ml.

5.1.4 Fluidez

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 339.085 Método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de hormigones frescos, por el método de la mesa de sacudidas.

El asentamiento se encuentra relacionado de forma directa con la fluidez y por ende con la cantidad de agua en el concreto o la humedad del mismo. Esta propiedad mide la deformación del concreto en estado fresco cuanto es sometido o esfuerzos externos.

Aparatos:

- Molde metálico en forma de tronco de cono con diámetro mayor de 250 mm, base menor de 170 mm y altura de 130 mm.
- Mesa de sacudidas.
- Barra cilíndrica de acero liso, de 16 mm de diámetro y longitud 60 mm, los extremos debe ser redondeados con radio de 16 mm.

Procedimiento:

- Se humedece la mesa de sacudidas y el molde cónico es colocado sobre ella.
- Luego se realiza el vaciado llenando la mitad del molde y aplicando 25 golpes con la barra compactadora, se termina de llenar el molde volviendo a compactar la mezcla con 25 golpes.
- Se deja la muestra en el molde por 1 minuto y luego se retira el molde quedando la muestra sobre el plato de la mesa de sacudidas.
- Se inicia una secuencia de 25 golpes y se realizan 4 medidas del diámetro distribuidos simétricamente de la muestra expandida por los golpes.

Cálculos:

$$F \quad (\%) = \frac{(D - 25)}{25} * 100$$

Donde:

D = Diámetro promedio, en cm.

5.1.5 Contenido de aire

REFERENCIAS NORMATIVAS: **NTP 339.046 Método del ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico y contenido de aire del hormigón.**

La cantidad de volumen de aire atrapado dentro del concreto es introducido de forma involuntaria durante los procesos de dosificación y mezcla, es por ello que el tamaño, la forma y la cantidad de burbujas varía en gran medida.

Las burbujas de aire atrapadas significan un volumen importante dentro del concreto, es por ello que si permanecen dentro del mismo en ese gran porcentaje generarían una notable disminución de la resistencia del concreto endurecido, por tal motivo es necesaria la compactación o vibrado en el momento de la colocación para disminuir el aire atrapado en su interior.

El aire incorporado es considerado uno de los más grandes avances dentro de la tecnología del concreto y actualmente se recomienda para casi todos los concretos, especialmente para mejorar algunas características como la manejabilidad y la durabilidad.

Aparatos:

- Balanza con precisión de 45 gr. aprox.
- Barra compactadora cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con punta semiesférica de diámetro 16 mm.
- Recipiente cilíndrico de acero, de peso y volumen conocido.
- Placa metálica de alisado de forma rectangular.
- Mazo con cabeza de caucho.
- Cucharón.

Procedimiento:

- Colocar el concreto en el recipiente de medición usando el cucharón, asegurando una distribución homogénea.
- Colocar el concreto en tres capas aproximadamente del mismo volumen, apisonar con 25 golpes de la barra compactadora; la capa del fondo evitando que la barra no golpee fuertemente el fondo del recipiente y para la segunda y tercera capa, la barra compactadora debe penetrar aprox.

25 mm en la capa anterior. Después de que cada capa ha sido apisonado se debe golpear con el mazo los lados del recipiente. 10 a 15 veces.

- Después de consolidar se debe enrasar suavemente la superficie del concreto con la placa plana de alisado.
- Después del enrasado se limpia todo el concreto en exceso y adherido a las paredes exteriores del recipiente y luego se determina la masa del concreto.

Cálculos:

$$A = \frac{T - W}{T} * 100$$

Donde:

A = Contenido de aire en el concreto, en porcentaje.

T = Masa teórica del concreto, suponiendo la no presencia de aire, en kg/m³.

W = Densidad o masa unitaria del concreto, en kg/m³.

5.1.6 Tiempo de fragua

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 339.082 Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración.

En el proceso de secado o endurecimiento se van generando estados de pérdida de la principal característica del estado fresco, la plasticidad, generando así el estado conocido como el estado de fraguado inicial de la mezcla.

En cuanto transcurre el tiempo y por el proceso natural de secado de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la plasticidad es prácticamente nula y ya se puede apreciar un valor considerable de resistencia, este estado consecuente es conocido como el estado fraguado final de la mezcla.

El lapso de tiempo entre ambos estados se llama tiempo de fragua y es considerado únicamente como un valor comparativo aproximado.

Aparatos:

- Tamiz con 4.76 mm de abertura.
- Recipiente para concreto de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura.
- Equipo hidráulico provisto de medidor de presión.
- Juego de agujas cilíndricas con las siguientes áreas de contacto: 1.0, 0.50, 0.25, 0.10, 0.050 y 0.025 pulg².

Procedimiento:

- Se tamiza la muestra de concreto recién mezclado hasta obtener el volumen requerido para llenar el recipiente.
- Humedecer el recipiente y llenar con la muestra tamizada dando pequeños golpes al borde externo del recipiente con la finalidad de eliminar las burbujas y nivelar la superficie.
- Retirar el agua exudada al momento de realizar cada penetración de las agujas al concreto.
- Se aplica una fuerza vertical uniforme hasta lograr una penetración de 2.5 cm en 10 segundos. El cambio de aguja se realiza conforme la muestra va endureciendo.
- Se toma nota de la fuerza de resistencia, el área de la aguja y la hora de ensayo. El ensayo termina cuando la aguja menor área alcance por lo menos una resistencia de penetración de 4000 lb/pulg².

5.2 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los ensayos del concreto en estado fresco descrito anteriormente; cabe resaltar que todos los ensayos fueron realizados de manera que no haya mayor variación al proceso que se detalló en la sección anterior.

Para un mejor análisis de los resultados se presentan gráficos y cuadros estadísticos que nos ayudan con la comparación de datos de los diferentes diseños realizados.

5.2.1 Ensayo de asentamiento

Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto patrón para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 y con la adición del aditivo superplastificante en las dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento y se observa que los asentamientos están comprendidos en el rango de 3.5" – 4.5", el cual era una condición planteada desde el inicio de la investigación que nos aseguraría la trabajabilidad del concreto.

En el Cuadro N°5.1 se muestran los resultados de todos los ensayos y en el Gráfico N°5.1 se puede apreciar la comparación entre todos los valores obtenidos.

CUADRO N°5.1 Resultados del ensayo de asentamiento.

Relación a/c	Asentamiento del concreto (pulg.)			
	Concreto patrón	0.50% aditivo	1.00% aditivo	1.50% aditivo
0.60	4.0	4.0	3.8	3.9
0.65	4.0	4.1	3.8	4.0
0.70	4.0	4.0	3.8	3.9
Asentamiento: 3.5"-4.5"				

Elaboración propia

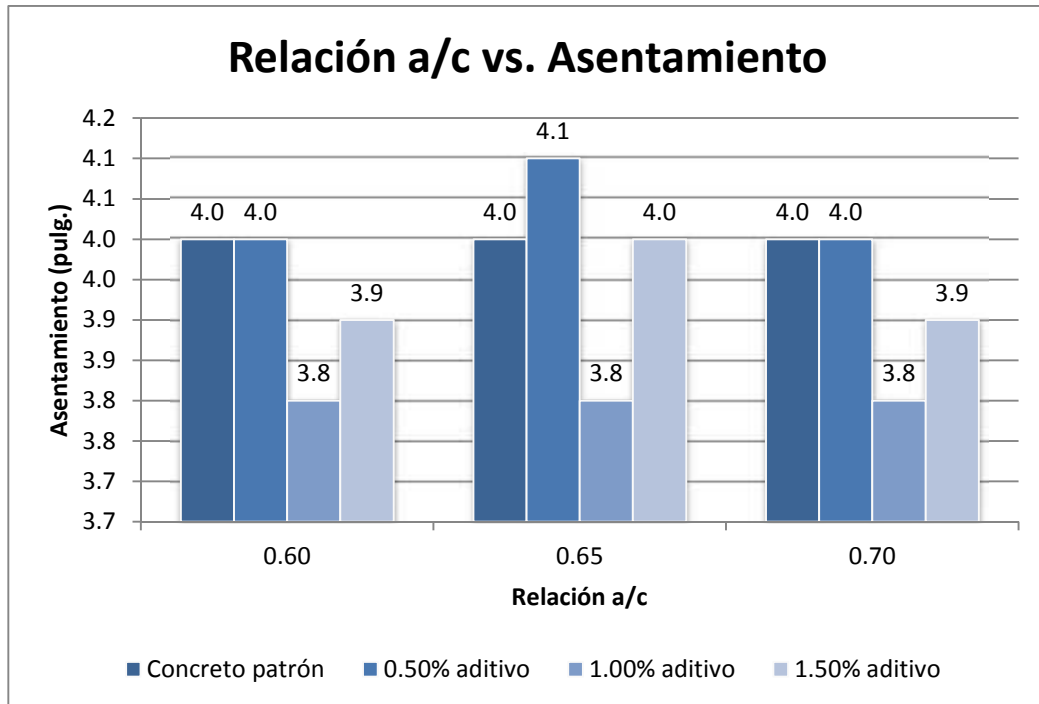


GRÁFICO N°5.1 Asentamiento de cada diseño realizado

5.2.2 Ensayo de peso unitario

En el Cuadro N°5.2 se muestran los resultados de los ensayos de peso unitario realizados en el laboratorio. En el Gráfico N°5.2 se puede apreciar la comparación de los valores del ensayo de peso unitario del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento planteadas en la investigación. El resultado del ensayo de peso unitario del concreto patrón simbolizará el 100% del peso unitario para cada relación a/c y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

CUADRO N°5.2 Resultados del ensayo de peso unitario.

Diseño de mezcla		Peso unitario (kg/m ³)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	2198.34	100.00
	0.50%	2293.69	104.34
	1.00%	2324.41	105.73
	1.50%	2363.61	107.52
0.65	0.00%	2211.05	100.00
	0.50%	2262.96	102.35
	1.00%	2303.22	104.17
	1.50%	2356.19	106.56
0.70	0.00%	2188.80	100.00
	0.50%	2306.40	105.37
	1.00%	2336.07	106.73
	1.50%	2358.31	107.74

Elaboración propia

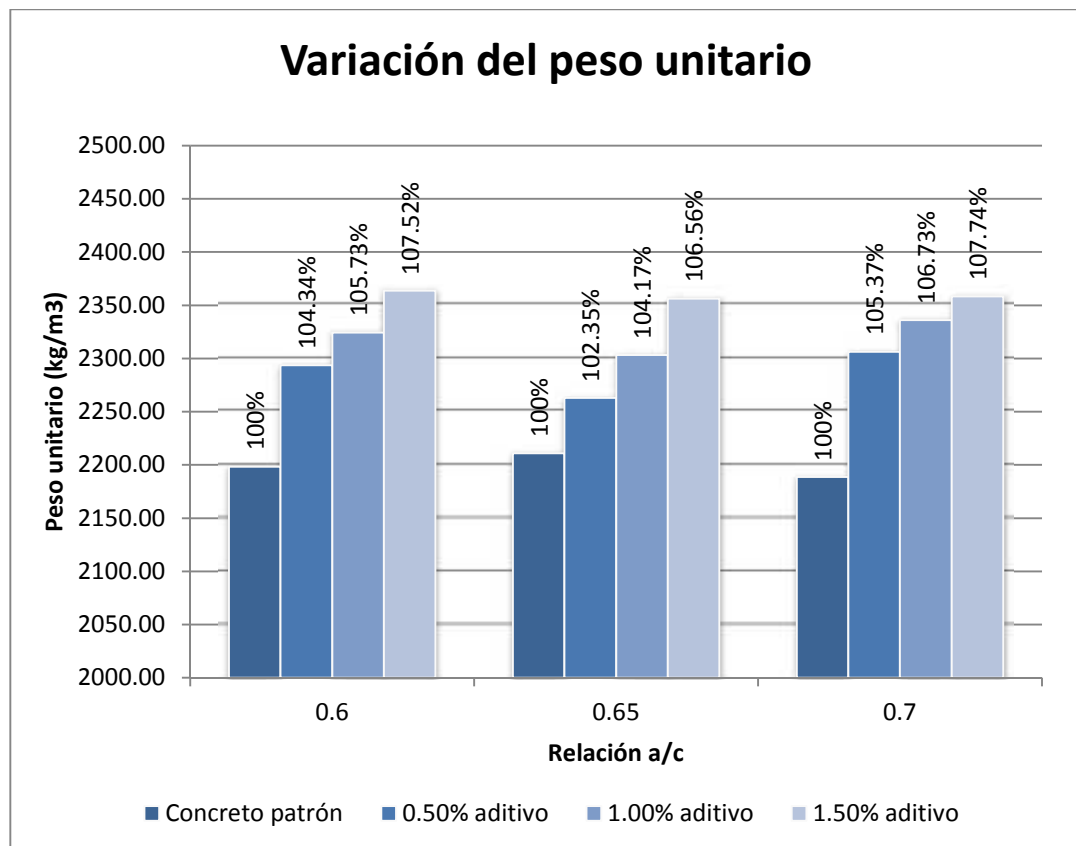


GRÁFICO N°5.2 Peso unitario de cada diseño realizado

5.2.3 Ensayo de exudación

En el Cuadro N°5.3 se muestran los resultados de los ensayos de exudación realizados en el laboratorio. En el Gráfico N°5.3 se puede apreciar la comparación de los valores del ensayo de exudación del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento planteadas en la investigación. El resultado del ensayo de exudación del concreto patrón simbolizará el 100% de la exudación para cada relación a/c y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

CUADRO N°5.3 Resultados del ensayo de exudación.

Diseño de mezcla		Exudación (%)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	0.96	100.00
	0.50%	0.69	72.05
	1.00%	0.14	14.33
	1.50%	0.01	1.15
0.65	0.00%	0.62	100.00
	0.50%	0.42	68.48
	1.00%	0.10	16.82
	1.50%	0.00	0.00
0.70	0.00%	0.77	100.00
	0.50%	0.29	37.27
	1.00%	0.06	8.07
	1.50%	0.00	0.00

Elaboración propia

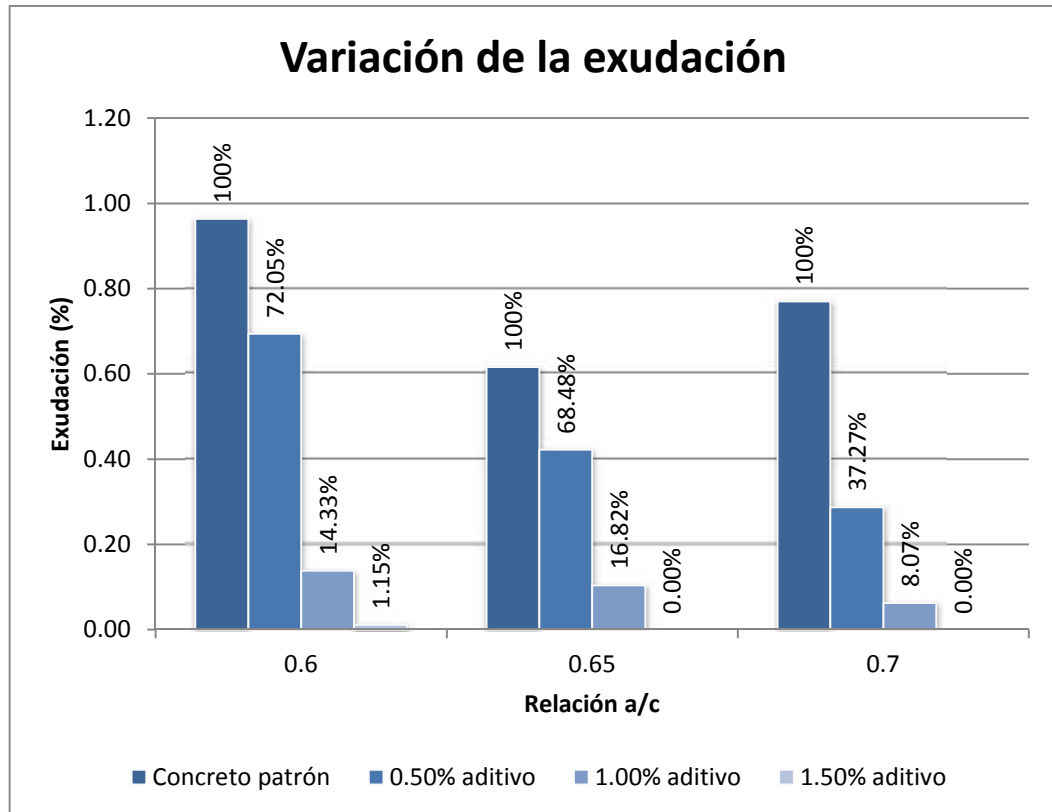


GRÁFICO N°5.3 Exudación de cada diseño realizado

5.3.4 Ensayo de fluidez

En el Cuadro N°5.4 se muestran los resultados de los ensayos de fluidez realizados en el laboratorio. En el Gráfico N°5.4 se puede apreciar la comparación de los valores del ensayo de fluidez del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento planteadas en la investigación. El resultado del ensayo de fluidez del concreto patrón simbolizará el 100% de la fluidez para cada relación a/c y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

CUADRO N°5.4 Resultados del ensayo de fluidez.

Diseño de mezcla		Fluidez (%)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	69.42	100.00
	0.50%	69.67	100.37
	1.00%	61.04	87.93
	1.50%	64.08	92.32
0.65	0.00%	69.93	100.00
	0.50%	73.48	105.09
	1.00%	62.56	89.47
	1.50%	68.66	98.18
0.70	0.00%	68.66	100.00
	0.50%	70.43	102.59
	1.00%	63.83	92.97
	1.50%	67.89	98.89

Elaboración propia

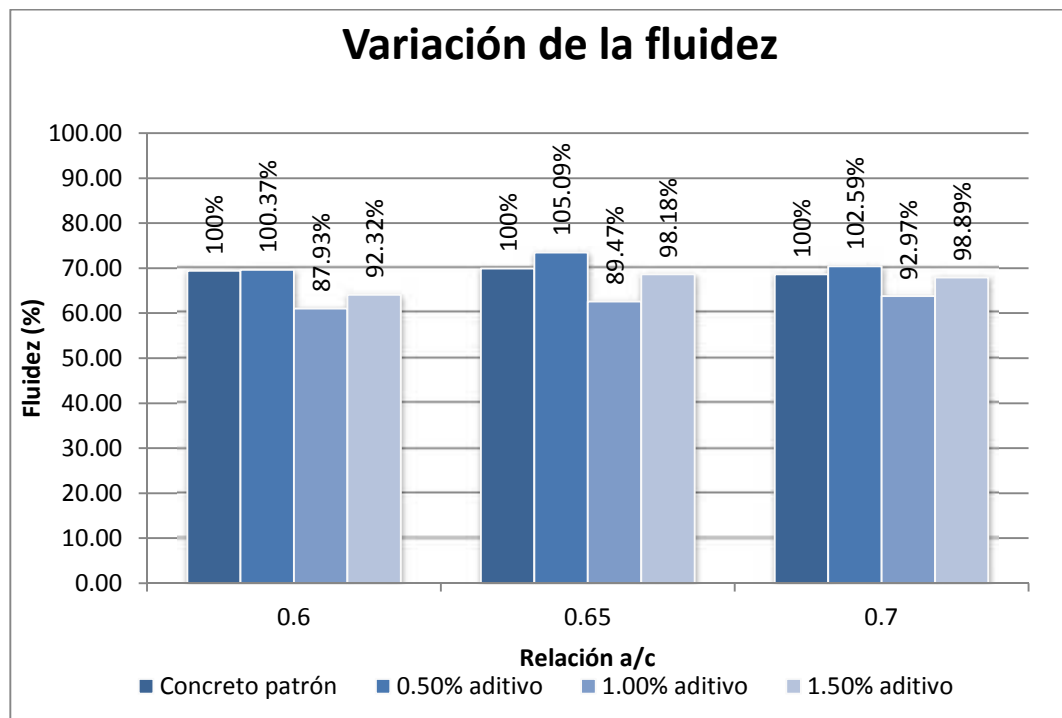


GRÁFICO N°5.4 Fluidez de cada diseño realizado

5.3.5 Contenido de aire

En el Cuadro N°5.5 se muestran los resultados de los ensayos de contenido de aire realizados en el laboratorio. En el Gráfico N°5.5 se puede apreciar la comparación de los valores del ensayo de contenido de aire del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento planteadas en la investigación. El resultado del ensayo de contenido de aire del concreto patrón simbolizará el 100% del contenido de aire para cada relación a/c y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

CUADRO N°5.5 Resultados del ensayo de contenido de aire.

Diseño de mezcla		Contenido de aire (%)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	4.03	100.00
	0.50%	1.01	25.11
	1.00%	0.88	21.87
	1.50%	0.18	4.52
0.65	0.00%	3.25	100.00
	0.50%	2.22	68.36
	1.00%	1.66	50.96
	1.50%	0.41	12.70
0.70	0.00%	4.04	100.00
	0.50%	0.27	6.57
	1.00%	0.20	4.87
	1.50%	0.29	7.19

Elaboración propia

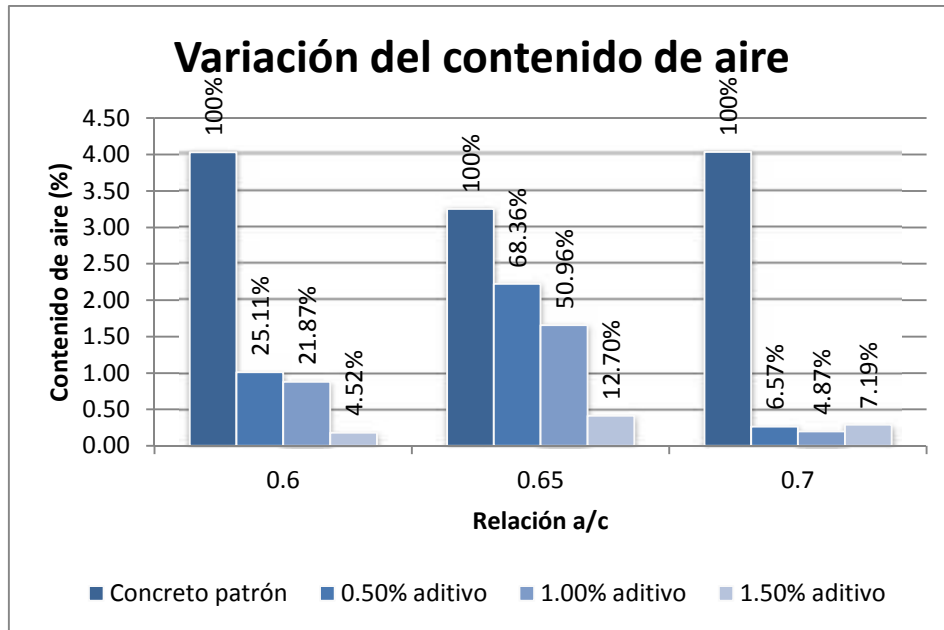


GRÁFICO N°5.5 Contenido de aire de cada diseño realizado.

5.3.6 Tiempo de fragua

En el Cuadro N°5.6 se muestran los resultados de los ensayos de tiempo de fragua realizados en el laboratorio. En los Gráficos N°5.6 y N°5.7 se puede apreciar la comparación de los valores del ensayo de tiempo de fragua del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento planteadas en la investigación. El resultado del ensayo de tiempo de fragua del concreto patrón simbolizará el 100% del tiempo de fragua para cada relación a/c y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

CUADRO N°5.6 Resultados del ensayo de tiempo de fragua.

Diseño de mezcla		Tiempo de fragua inicial		Tiempo de fragua final	
a/c	Aditivo	T.F.I. (h:min)	Variación (%)	T.F.F. (h:min)	Variación (%)
0.60	0.00%	03:25	100.00	04:55	100.00
	0.50%	04:38	135.61	06:20	128.81
	1.00%	05:11	151.71	06:53	140.00
	1.50%	05:25	158.54	07:16	147.80
0.65	0.00%	03:45	100.00	05:49	100.00
	0.50%	04:13	112.44	05:56	102.01
	1.00%	04:38	123.56	06:28	111.17
	1.50%	06:01	160.44	07:32	129.51
0.70	0.00%	03:47	100.00	05:54	100.00
	0.50%	04:46	125.99	06:47	114.97
	1.00%	05:27	144.05	07:10	121.47
	1.50%	05:55	156.39	07:32	127.68

Elaboración propia

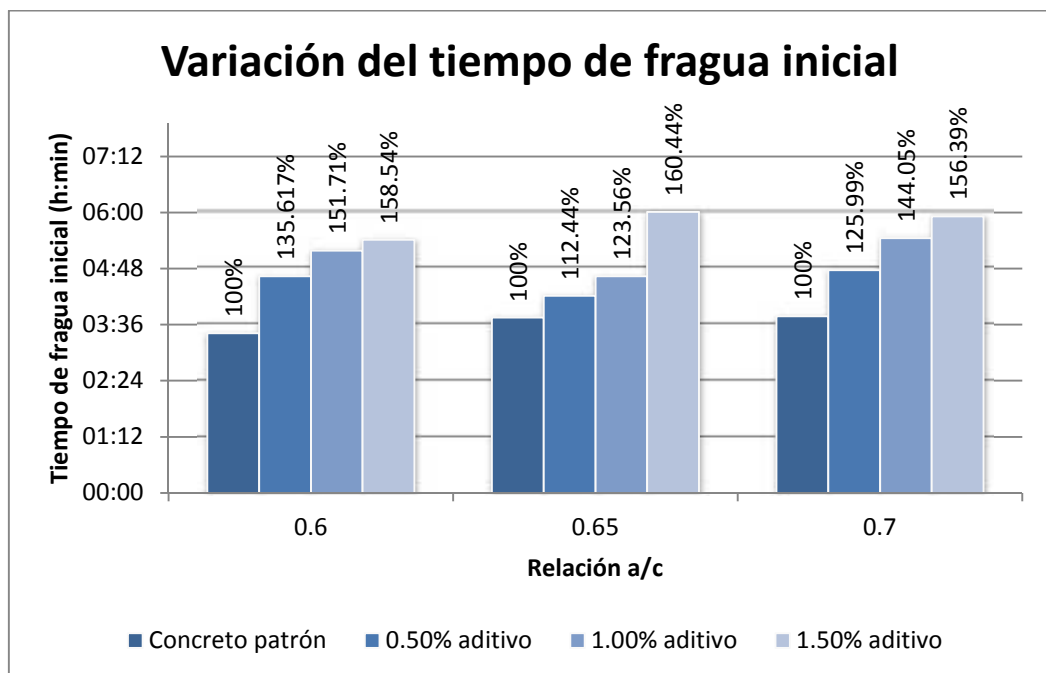


GRÁFICO N°5.6 Tiempo de fragua inicial de cada diseño realizado.

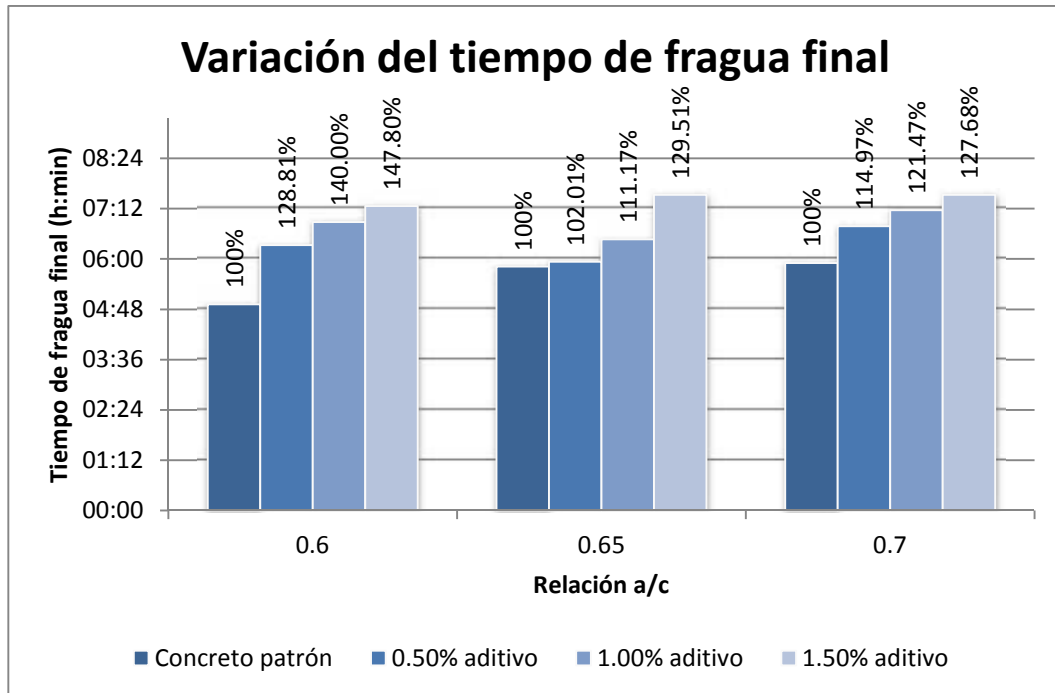


GRÁFICO N°5.7 Tiempo de fragua final de cada diseño realizado.

En el Cuadro N°5.8 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos del concreto en estado fresco para cada diseño de mezcla.

CUADRO N°5.7 Resumen de ensayos del concreto en estado fresco

Diseño de mezcla		Asentamiento (pulg)	Fluidez (%)	Exudación (%)	Peso Unitario (kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Tiempo de fragua	
a/c	Aditivo						Inicial (h:min)	Final (h:min)
0.60	0.00%	4.0	69.42	963.39	2198.34	4.03	03:25	04:55
	0.50%	4.0	69.67	694.11	2293.69	1.01	04:38	06:20
	1.00%	3.8	61.04	138.07	2324.41	0.88	05:11	06:53
	1.50%	3.9	64.08	11.08	2363.61	0.18	05:25	07:16
0.65	0.00%	4.0	69.93	616.30	2211.05	3.25	03:45	05:49
	0.50%	4.1	73.48	422.03	2262.96	2.22	04:13	05:56
	1.00%	3.8	62.56	103.69	2303.22	1.66	04:38	06:28
	1.50%	4.0	68.66	0.00	2356.19	0.41	06:01	07:32
0.70	0.00%	4.0	68.66	770.02	2188.80	4.04	03:47	05:54
	0.50%	4.0	70.43	286.96	2306.40	0.27	04:46	06:47
	1.00%	3.8	63.83	62.12	2336.07	0.20	05:27	07:10
	1.50%	3.9	67.89	0.00	2358.31	0.29	05:55	07:32

Elaboración propia

CAPÍTULO VI: ENSAYOS Y RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

La elaboración de concreto pasa por varias etapas y estados que se deben tener en cuenta para generar buenas propiedades y que este sea clasificado dentro de los parámetros de aprobación para ser considerado un concreto de calidad. Al término del tiempo de fragua, el concreto endurece y empieza a ganar resistencia, es por ello que las principales propiedades del concreto endurecido son la resistencia a la compresión axial y la durabilidad en el tiempo.

6.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

El concreto en estado endurecido genera unas de las propiedades más importantes que son la resistencia y la durabilidad. Por lo general la resistencia se determina por el valor final de una probeta ensayada a compresión, como la resistencia final suele aumentar su valor en un periodo muy largo, la resistencia a la compresión axial a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

Con relación a la propiedad de resistencia analizaremos el comportamiento del concreto en estado endurecido con los ensayos que se detallaran a continuación:

6.1.1 Resistencia a la compresión axial

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 339.034 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.

Con regularidad la resistencia del concreto se asocia únicamente con la resistencia a la compresión axial, esto debido a la gran capacidad del concreto para resistir este tipo de esfuerzos, es por ello que prácticamente todos de los elementos estructurales son diseñados con la finalidad de explotar esta propiedad del concreto. A continuación se muestra la fórmula para el cálculo de la resistencia de una probeta de concreto:

$$R = \frac{4 * P}{\pi * D^2}$$

Donde:

R_c = Resistencia a la compresión, en kg/cm^2 .

P = Carga de rotura, en kg.

D = Diámetro promedio de probeta, en cm.

6.1.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral

REFERENCIAS NORMATIVAS: NTP 339.084 Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia simple del concreto, por compresión diametral.

Como se mencionó anteriormente el concreto posee gran capacidad de soportar esfuerzos de compresión, sin embargo no sucede lo mismo con la capacidad de soportar esfuerzos de tracción.

Existen varios métodos para el cálculo de esta propiedad, los más usados son el ensayo de flexo tracción y el ensayo de tracción directa por hendimiento, más conocido como ensayo de compresión diametral. El segundo en mención es el seleccionado para esta investigación y que será desarrollado en esta sección.

La resistencia a la tracción de una probeta de concreto se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{2 * P}{\pi * D * L}$$

Donde:

R_t = Resistencia a la tracción, en kg/cm^2 .

P = Carga de rotura, en kg.

D = Diámetro promedio de probeta, en kg.

L = Longitud de probeta, en cm.

6.1.3 Modulo elástico estático

La resistencia del concreto a la deformación por carga o más conocido como rigidez del concreto se mide con el concepto de módulo elástico. Si bien el concreto no viene a ser un material completamente elástico, cuando este se encuentra en el estado endurecido y es afectado por esfuerzos de carga, la curva de esfuerzo-deformación es prácticamente una recta, lo cual nos denota la elasticidad del concreto.

El módulo elástico de una muestra de concreto se calcula con la siguiente fórmula:

$$M. E. = \frac{E_2 - E_1}{(D_2 - 0.00005)}$$

Donde:

E_2 = Esfuerzo en kg/cm².

E_1 = Esfuerzo cuando la deformación es de $0.5 \cdot 10^{-4}$, en kg/cm².

D_2 = Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo E_2 .

6.2 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de los ensayos del concreto en estado endurecido descrito anteriormente; cabe resaltar que todos los ensayos fueron realizados de manera que no haya mayor variación al proceso que se detallo en la sección anterior.

Para un mejor análisis de los resultados se presentan gráficos y cuadros estadísticos que nos ayudan con la comparación de datos de los diferentes diseños realizados.

6.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión axial

En esta sección presentaremos los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto endurecido y ensayados a diferentes edades que se han planteado desde el inicio de la investigación.

Para un mejor manejo de los datos y resultados obtenidos se mostraran cuadros y gráficos que nos muestren la comparación entre los diferentes diseños de concreto y las edades a las que fueron ensayadas las muestras.

En el cuadro N°6.1 se muestran los resultados generales promedio del ensayo de resistencia a la compresión axial.

CUADRO N°6.1 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.

a/c	Edad (días)	Resistencia a la compresión axial (kg/cm ²)			
		Concreto patrón	0.50% aditivo	1.00% aditivo	1.50% aditivo
0.60	07	201.81	332.44	382.12	442.56
	14	212.51	348.66	413.08	446.90
	28	279.42	352.63	481.15	500.60
0.65	07	181.03	319.16	347.78	396.80
	14	201.62	328.57	353.05	424.77
	28	256.37	344.82	398.85	476.45
0.70	07	168.80	271.22	335.08	385.46
	14	181.99	285.51	347.10	414.23
	28	218.33	297.76	363.44	437.39

Elaboración propia

En los gráficos N°6.1, N°6.2 y N°6.3 comparamos la resistencia a la compresión axial de las muestras de concreto de todos los diseños planteados y que fueron curadas por el método clásico de inmersión en agua. Estas muestras se ensayaron a 7, 14 y 28 días después de su elaboración.

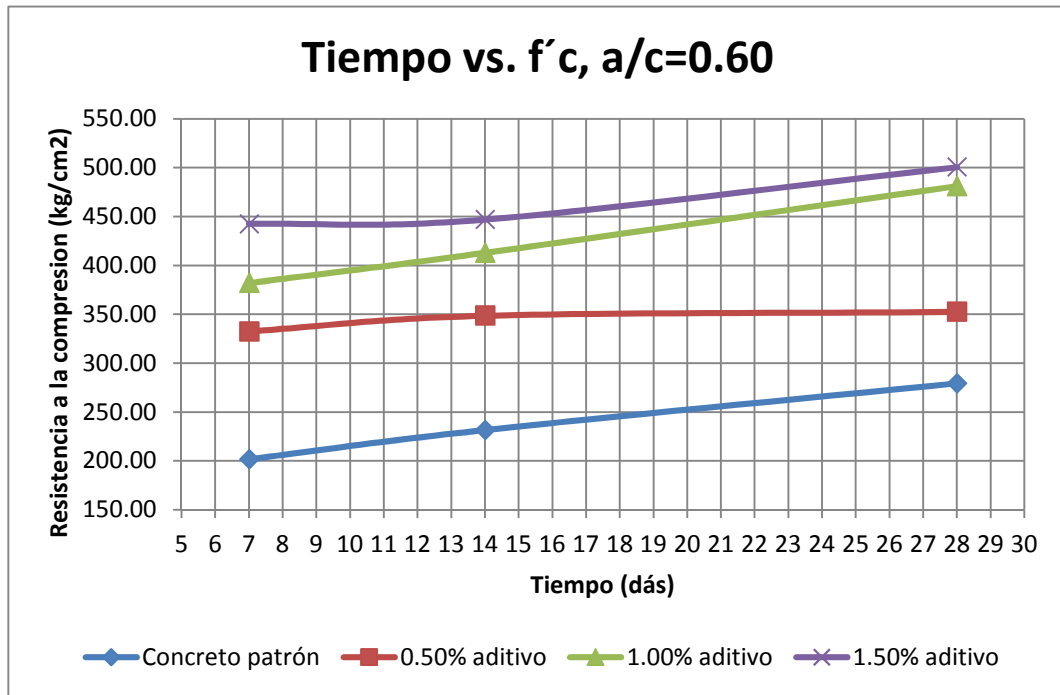


GRÁFICO N°6.1 Resistencia a la compresión para la relación $a/c=0.60$.

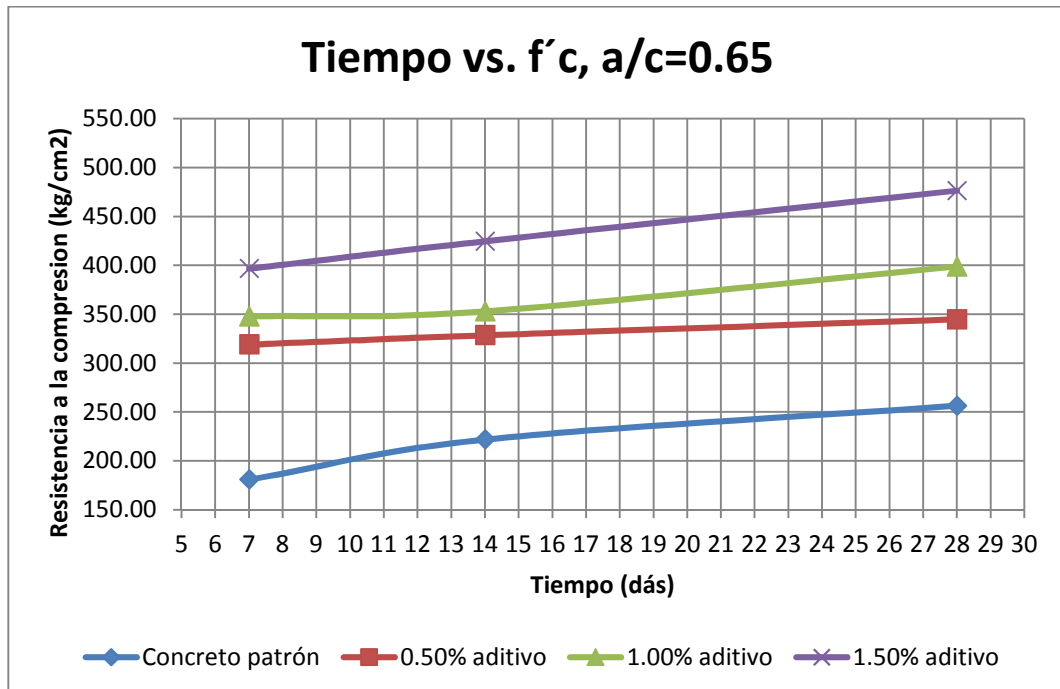


GRÁFICO N°6.2 Resistencia a la compresión para la relación $a/c=0.65$.

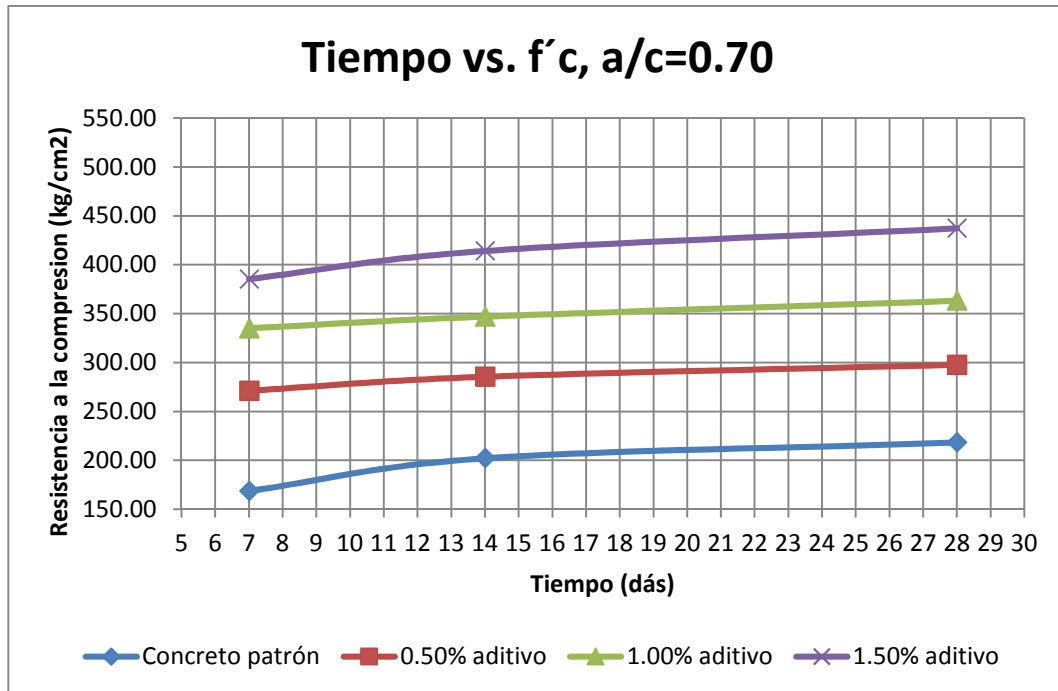


GRÁFICO N°6.3 Resistencia a la compresión para la relación $a/c=0.70$.

Los gráficos N°6.4, N°6.5 y N°6.6 muestran el comportamiento de la resistencia a la compresión de las muestras con respecto a la adición del aditivo superplastificante Chemament 440.

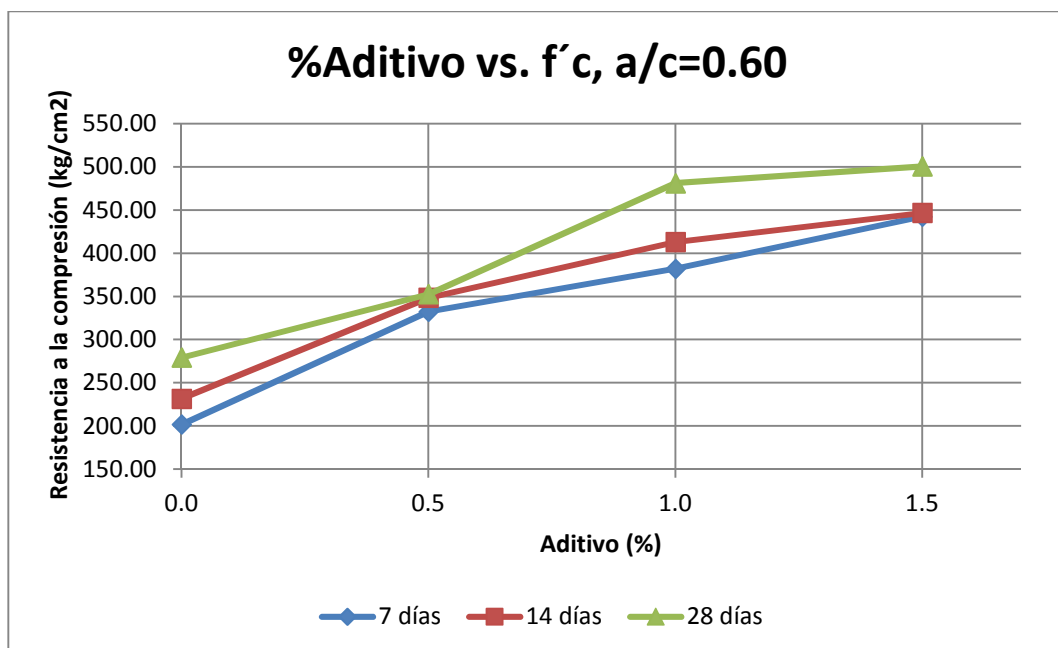


GRÁFICO N°6.4 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.60$.

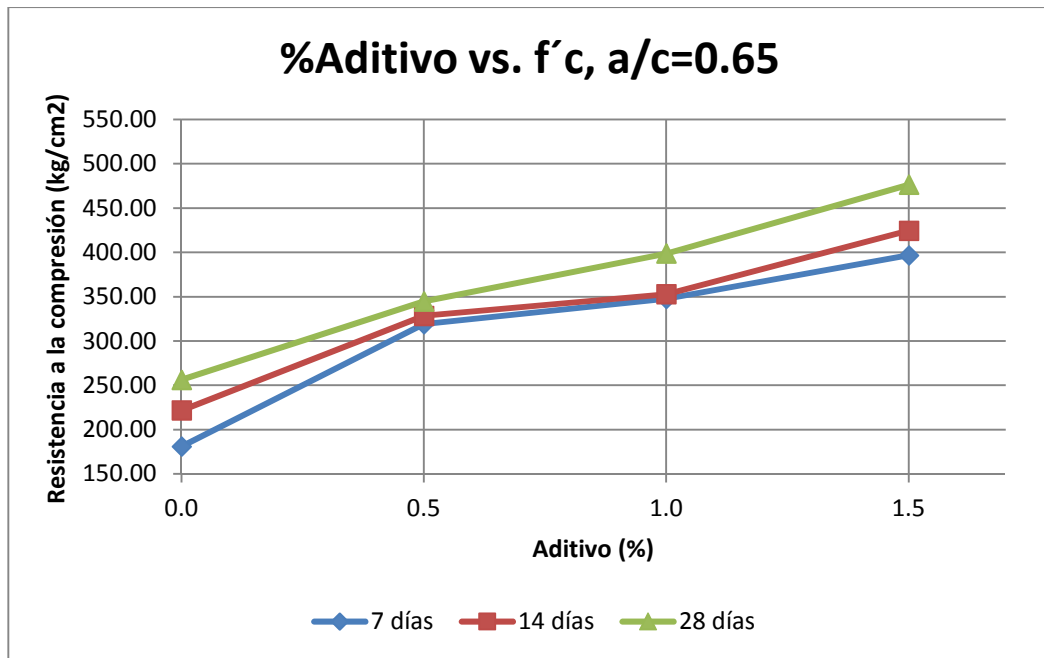


GRÁFICO N°6.5 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.65$.

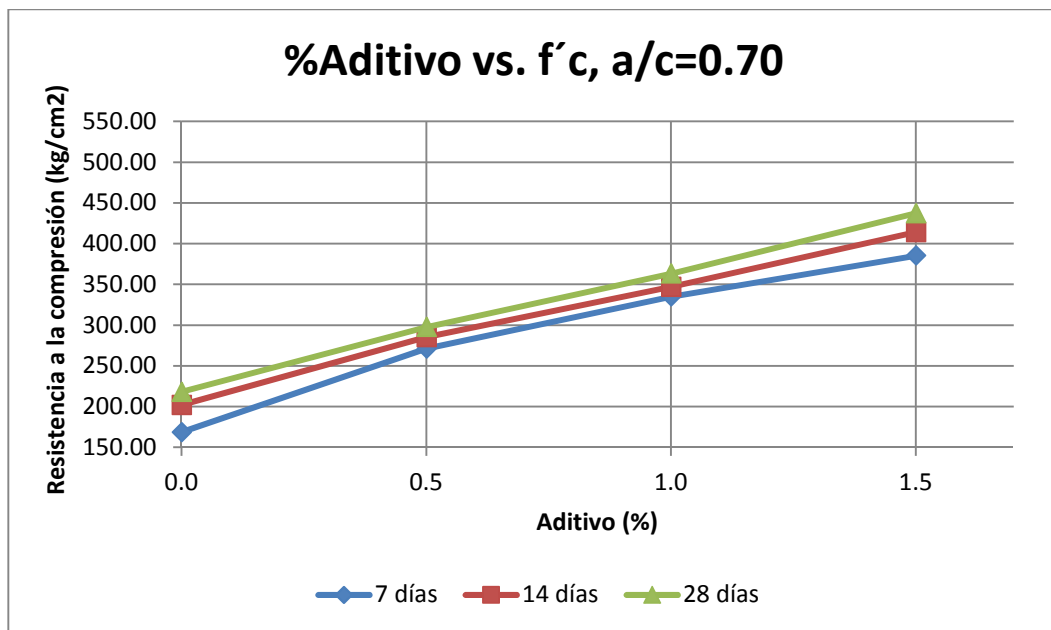


GRÁFICO N°6.6 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.70$.

En el Cuadro N°6.2 se muestra la variación porcentual de la resistencia a la compresión axial con respecto a su edad de rotura y el porcentaje de aditivo. En los Gráficos N°6.7, N°6.8 y N°6.9 se puede apreciar la variación porcentual de la resistencia a la compresión del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las edades de rotura planteadas en la investigación. El resultado del concreto patrón simbolizará el 100% de la resistencia a la compresión para cada relación edad de rotura y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

CUADRO N°6.2 Variación de la resistencia respecto a las edades.

a/c	Edad (días)	Variación de la resistencia a la compresión (%)			
		Concreto patrón	0.50% aditivo	1.00% aditivo	1.50% aditivo
0.60	7	100.00	164.73	189.34	219.29
	14	100.00	150.52	178.33	192.93
	28	100.00	126.20	172.20	179.16
0.65	7	100.00	176.31	192.11	219.19
	14	100.00	148.10	159.13	191.46
	28	100.00	134.50	155.57	185.84
0.70	7	100.00	160.67	198.51	228.35
	14	100.00	141.19	171.65	204.85
	28	100.00	136.38	166.47	200.34

Elaboración propia

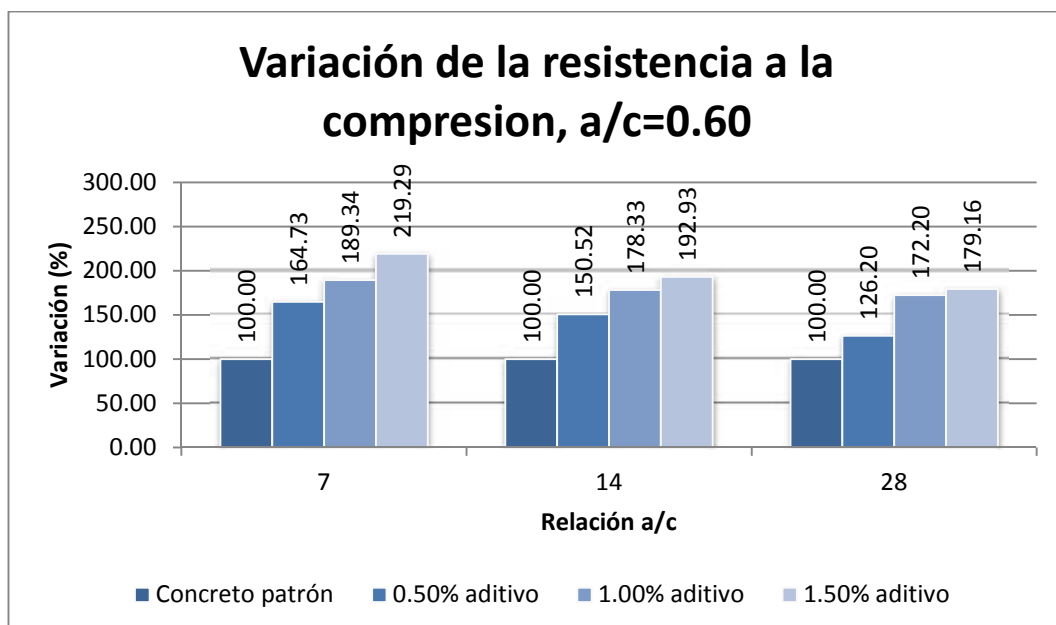


GRÁFICO N°6.7 Variación de la resistencia respecto de las edades de rotura, a/c=0.60.

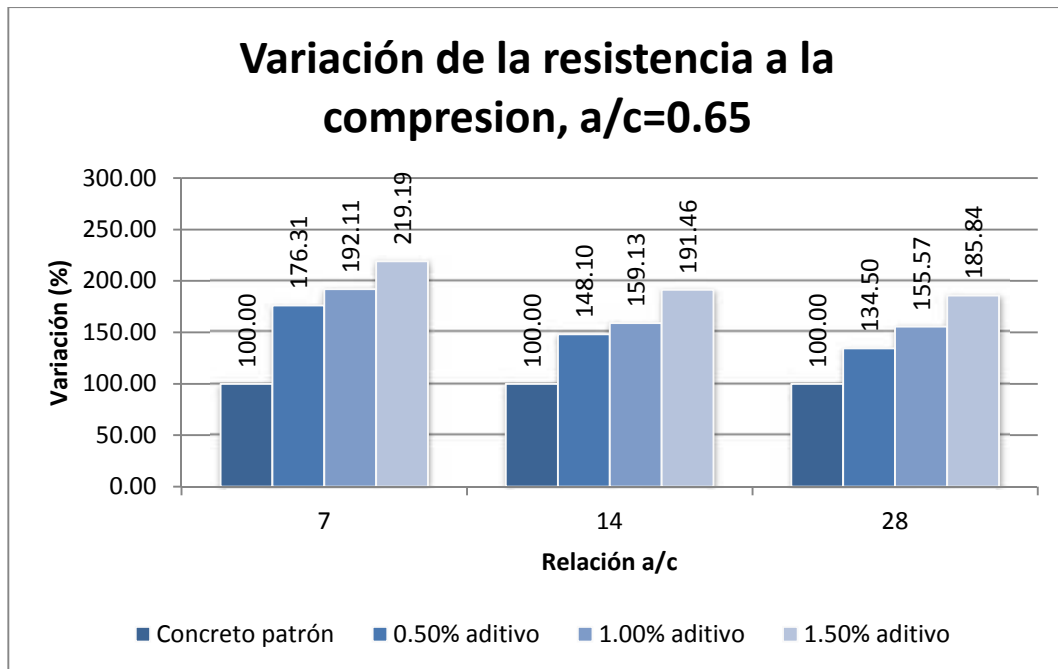


GRÁFICO N°6.8 Variación de la resistencia respecto de las edades de rotura, a/c=0.65.

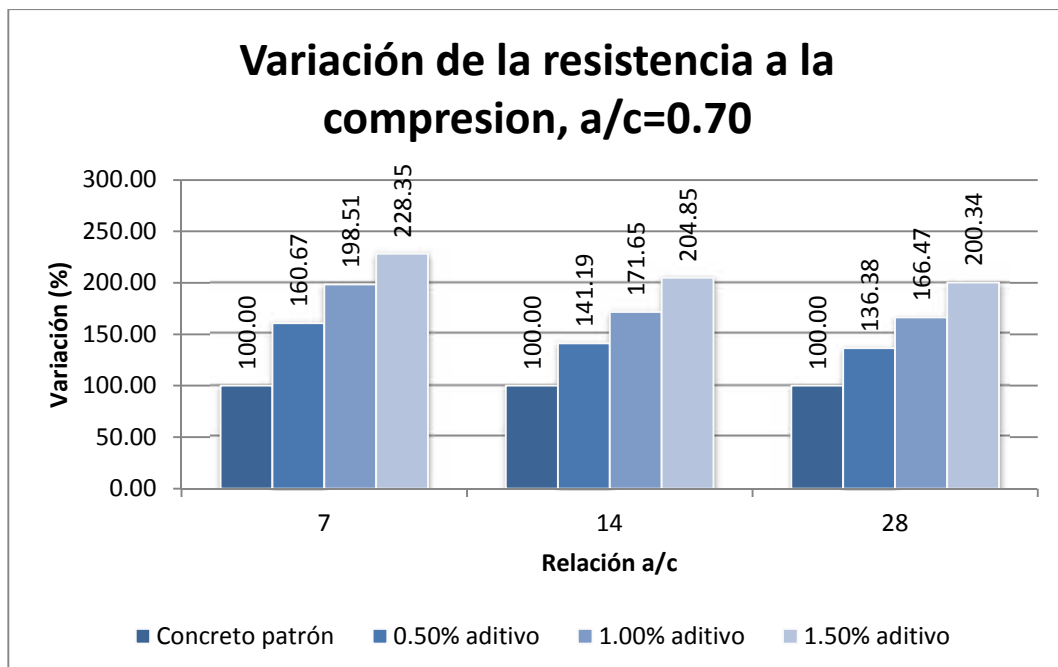


GRÁFICO N°6.9 Variación de la resistencia respecto de las edades de rotura, a/c=0.70.

6.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral

En el Cuadro N°6.3 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral realizados en el laboratorio. En el Gráfico N°6.10 se puede apreciar la comparación de los valores del ensayo de ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón y el concreto elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento planteadas en la investigación. El resultado del ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto patrón simbolizará el 100% de la resistencia a la tracción para cada relación a/c y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto elaborado con aditivo en las dosificaciones 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento. Ensayo realizado a los 28 días.

CUADRO N°6.3 Variación de la resistencia a la tracción.

Diseño de mezcla		Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	25.01	100.00
	0.50%	27.53	110.07
	1.00%	30.83	123.26
	1.50%	36.83	147.28
0.65	0.00%	23.94	100.00
	0.50%	25.43	106.21
	1.00%	28.81	120.32
	1.50%	34.23	142.96
0.70	0.00%	20.03	100.00
	0.50%	22.39	111.76
	1.00%	26.96	134.59
	1.50%	27.67	138.16

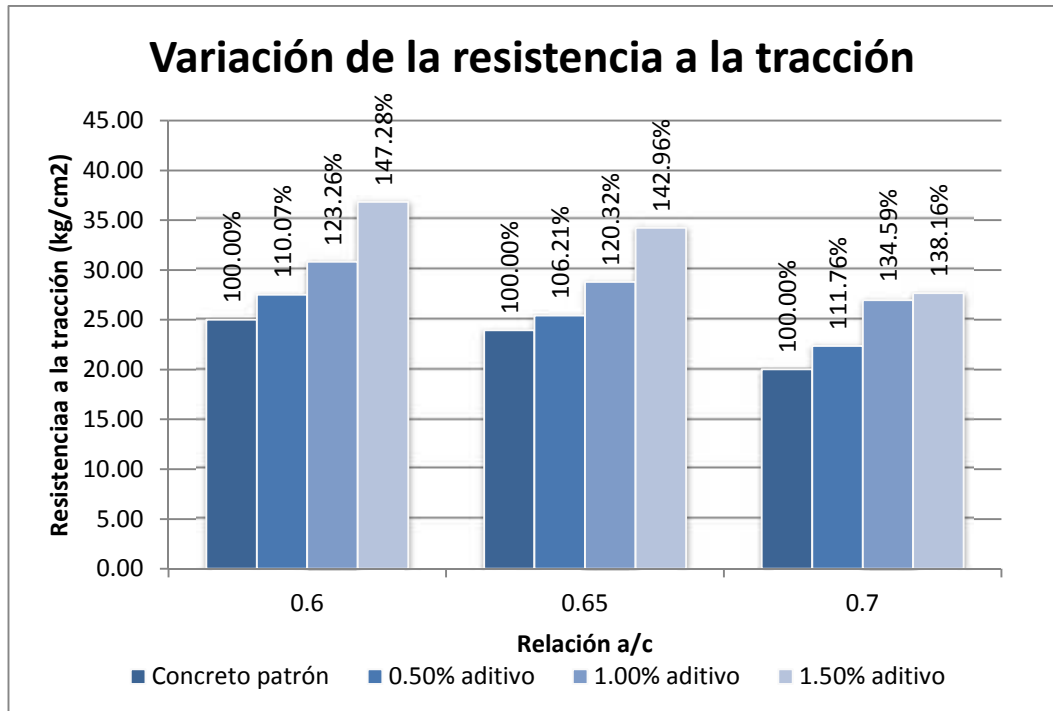


GRÁFICO N°6.10 Variación de la resistencia a la tracción.

6.2.3 Ensayo de modulo elástico estático

En el Cuadro N°6.4 se muestran los resultados del ensayo de módulo elástico realizados en el laboratorio. En el Gráfico N°6.11 se puede apreciar la comparación de los valores del concreto patrón y el elaborado con aditivo, para cada una de las relaciones de agua/cemento. Ensayado a los 28 días.

CUADRO N°6.4 Variación del módulo elástico.

Diseño de mezcla		Módulo de elasticidad (10 ⁵ *kg/cm ²)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	2.43	100.00
	0.50%	2.13	87.67
	1.00%	2.54	104.46
	1.50%	2.71	111.82
0.65	0.00%	2.00	100.00
	0.50%	2.11	105.40
	1.00%	2.29	114.24
	1.50%	2.49	124.38
0.70	0.00%	2.24	100.00
	0.50%	2.20	98.58
	1.00%	2.56	114.34
	1.50%	2.47	110.61

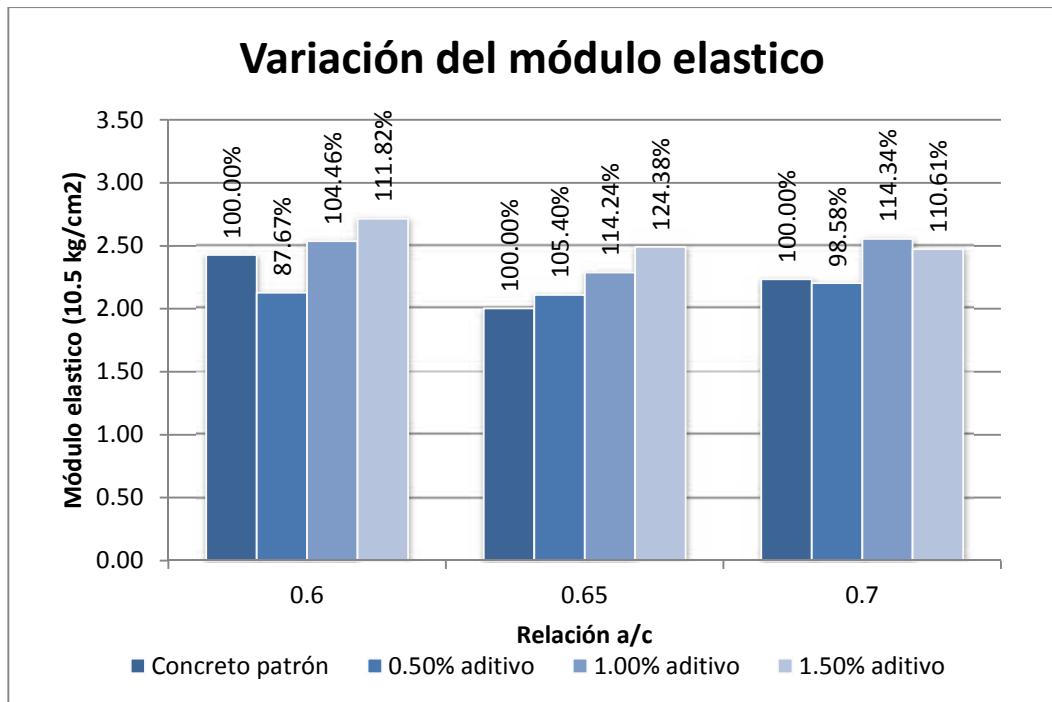


GRÁFICO N°6.11 Variación del módulo de elasticidad.

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados de los ensayos a los agregados (ver capítulo III), al concreto en estado fresco (ver capítulo V) y al concreto en estado endurecido (ver capítulo VI), para cada una de las relaciones agua/cemento planteadas (0.60, 0.65 y 0.70) con la adición del aditivo superplastificante Chemament 440 en las proporciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento.

7.1 AGREGADOS

7.1.1 Agregado fino

El agregado fino utilizado pertenece a la cantera de Trapiche. A este agregado se le practicaron los respectivos ensayos físicos; del ensayo de granulometría se obtuvo una curva dentro de los límites del Huso (C) indicados en la norma NTP 400.037 y con un módulo de finura de 7.25.

7.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso utilizado pertenece a la cantera de UNICON. A este agregado se le practicaron los respectivos ensayos físicos; del ensayo de granulometría se obtuvo una curva dentro de los límites del Huso (1" – 1/2") indicados en la norma NTP 400.037 y con un módulo de finura de 3.40.

7.1.3 Agregado global

Se realizó el ensayo de máxima compacidad del agregado global con la finalidad de hallar la mejor combinación de los agregados, de este ensayo se determinó que el mejor porcentaje de combinación de la arena y piedra son 47.2% y 52.8% respectivamente.

7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

7.2.1 Consistencia (NTP 339.035)

El asentamiento de los diseños planteados en la investigación se encuentran en el rango de 3.5" – 4.5", esta condición se planteado desde el inicio para mantener la trabajabilidad del concreto. Cabe resaltar que para mantener el asentamiento en el rango requerido se redujo el agua de diseño por la adición del aditivo superplastificante Chemament 440.

7.2.2 Peso Unitario (NTP 339.046)

El peso unitario de los diseños de concreto se encuentra dentro del rango de 1700 – 2500 kg/m³, correspondiente a un concreto normal.

El peso unitario de los diseños con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento, muestran los siguientes valores: 2363.61, 2356.19 y 2358.31 kg/m³ y el concreto patrón presenta valores de 2198.34, 2211.05 y 2188.80 kg/m³, para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente. Se observa que la muestra con el contenido más alto de aditivo en términos porcentuales presenta valores de 107.52%, 106.56% y 107.74% respecto a las muestras de concreto patrón con igual relación agua/cemento.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta un incremento del 7% del peso unitario respecto del concreto patrón. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también tienen un incremento del peso unitario con valores intermedios al incremento porcentual de 7% que se menciona para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

7.2.3 Exudación (NTP 339.077)

La exudación de los diseños con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento, muestran los siguientes valores: 0.01%, 0.00% y 0.00% y el concreto patrón presenta valores de 0.96%, 0.62% y 0.77%, para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente. Se observa que la muestra con el contenido más alto de aditivo en términos

porcentuales presenta valores de 1.15%, 0.00% y 0.00% respecto a las muestras de concreto patrón con igual relación agua/cemento.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta una disminución prácticamente del 100% de la exudación respecto del concreto patrón, esta disminución se puede explicar por la alta reducción de agua provocada por la adición del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también tienen una disminución de la exudación con valores intermedios al incremento porcentual aproximado de 100% que se menciona para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

7.2.4 Fluidez (NTP 339.085)

La fluidez de los diseños con aditivo Chema Megament 440, muestran valores que varían en un $\pm 5\%$ con respecto al concreto patrón, para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70. Se observa que esta variación está relacionada directamente con los valores que obtuvimos en el ensayo de asentamiento.

En el cuadro N°7.1, se observan los valores de la prueba y la variación con respecto al diseño de las muestras de concreto patrón.

CUADRO N°7.1 Resultados del ensayo de fluidez.

Diseño de mezcla		Fluidez (%)	Variación (%)
a/c	Aditivo		
0.60	0.00%	69.42	100.00
	0.50%	69.67	100.37
	1.00%	61.04	87.93
	1.50%	64.08	92.32
0.65	0.00%	69.93	100.00
	0.50%	73.48	105.09
	1.00%	62.56	89.47
	1.50%	68.66	98.18
0.70	0.00%	68.66	100.00
	0.50%	70.43	102.59
	1.00%	63.83	92.97
	1.50%	67.89	98.89

Elaboración propia

7.2.5 Contenido de aire (NTP 339.083)

El contenido de aire de los diseños con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento, muestran los siguientes valores: 0.18%, 0.41% y 0.29% y el concreto patrón presenta valores de 4.03%, 3.25% y 4.04%, para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente. Se observa que la muestra con el contenido más alto de aditivo en términos porcentuales presenta valores de 4.52%, 12.70% y 7.19% respecto a las muestras de concreto patrón con igual relación agua/cemento.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta una disminución de casi 95% del contenido de aire respecto del concreto patrón, esta disminución se puede explicar por la reducción de espacios y vacíos generados por la viscosidad del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también tienen una disminución de la exudación con valores intermedios a la disminución porcentual aproximado de 95% que se menciono para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

7.2.6 Tiempo de fragua (NTP 339.082)

- *Tiempo de fragua inicial.*

El tiempo de fragua inicial de los diseños con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento, muestran los siguientes tiempos: 5h:25min, 6h:01min y 05:55min, el concreto patrón presenta valores de 3h:25min, 3h:45min y 3h:47min para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente. Se observa que la muestra con el contenido más alto de aditivo en términos porcentuales presenta valores de 158.54%, 160.44% y 156.39% respecto a las muestras de concreto patrón con igual relación agua/cemento.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta un incremento de aproximadamente 160% del tiempo de fragua inicial respecto del concreto patrón, este incremento se puede explicar por la condición de retardante de fragua del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también presentan un

aumento del tiempo de fragua inicia con valores intermedios al aumento porcentual aproximada de 60% que se menciono para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

- *Tiempo de fragua final.*

El tiempo de fragua final de los diseños con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento, muestran los siguientes tiempos: 7h:16min, 7h:32min y 7:32min, el concreto patrón presenta valores de 4h:55min, 5h:49min y 5h:54min para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente. Se observa que la muestra con el contenido más alto de aditivo en términos porcentuales presenta valores de 147.80%, 129.51% y 127.68% respecto a las muestras de concreto patrón con igual relación agua/cemento.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta un incremento de aproximadamente 30% del tiempo de fragua final respecto del concreto patrón, este incremento se puede explicar por la condición de retardante de fragua del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también presentan un aumento del tiempo de fragua inicia con valores intermedios al aumento porcentual aproximada de 30% que se menciono para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

7.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

7.3.1 Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034)

Para la relación de agua/cemento 0.60 y edades de 7,14 y 28 días, la muestra con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento presenta como resistencia a la compresión axial, los siguientes valores: 442.56 kg/cm², 446.90 kg/cm² y 500.60 kg/cm² en comparación a los valores de 201.81 kg/cm², 212.51 kg/cm² y 279.42 kg/cm² de las muestras de concreto patrón. Representando un 219.29%, 192.93% y 179.16% respectivamente, en comparación al concreto de la muestra patrón.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta un incremento de aproximadamente 97% de la resistencia del concreto patrón, este incremento se puede explicar por la gran capacidad de reducción de agua que permite diseñar concreto de alta resistencia del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también presentan un aumento del tiempo de fragua inicia con valores intermedios al aumento porcentual aproximada de 97% que se menciono para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

En el grafico N°7.1, se observan los valores de la prueba y la variación con respecto al diseño de las muestras de concreto patrón.

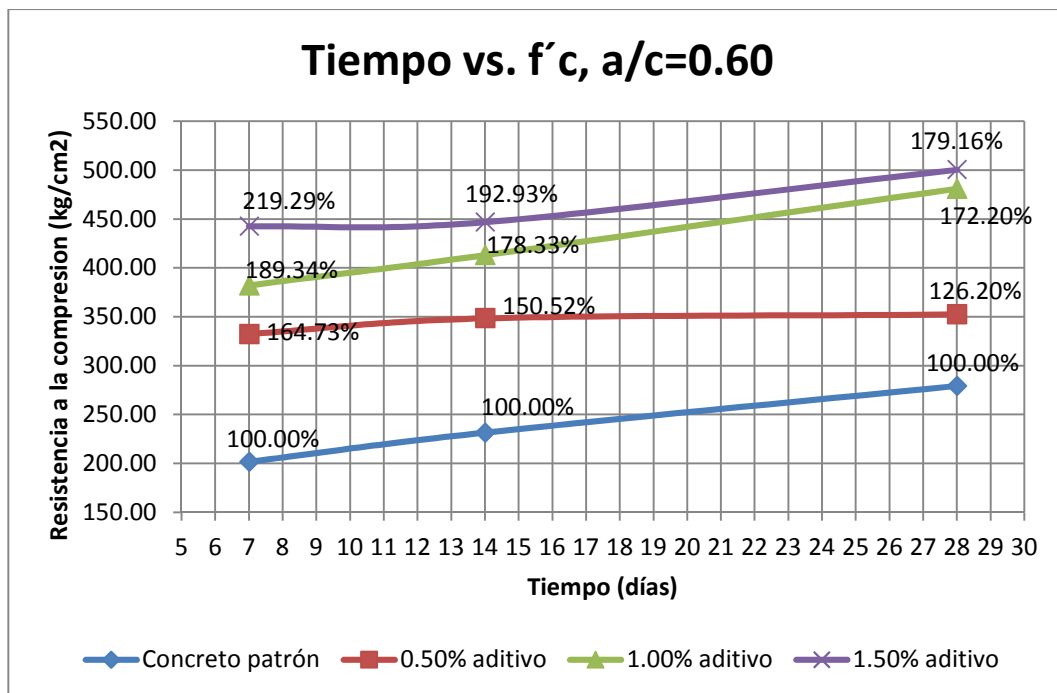


GRÁFICO N°7.1 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación a/c=0.60.

Para la relación de agua/cemento 0.65 y edades de 7,14 y 28 días, la muestra con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento presenta como resistencia a la compresión axial, los siguientes valores: 396.80 kg/cm², 424.77 kg/cm² y 476.45 kg/cm² en comparación a los valores de 181.03 kg/cm², 201.62 kg/cm² y 256.37 kg/cm² de las muestras de concreto patrón. Representando un 219.19%, 191.46% y 185.84% respectivamente, en comparación al concreto de la muestra patrón.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta un incremento de aproximadamente 98% de la resistencia del concreto patrón, este incremento se puede explicar por la gran capacidad de reducción de agua que permite diseñar concreto de alta resistencia del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también presentan un aumento del tiempo de fragua inicia con valores intermedios al aumento porcentual aproximada de 98% que se menciono para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

En el grafico N°7.2, se observan los valores de la prueba y la variación con respecto al diseño de las muestras de concreto patrón.

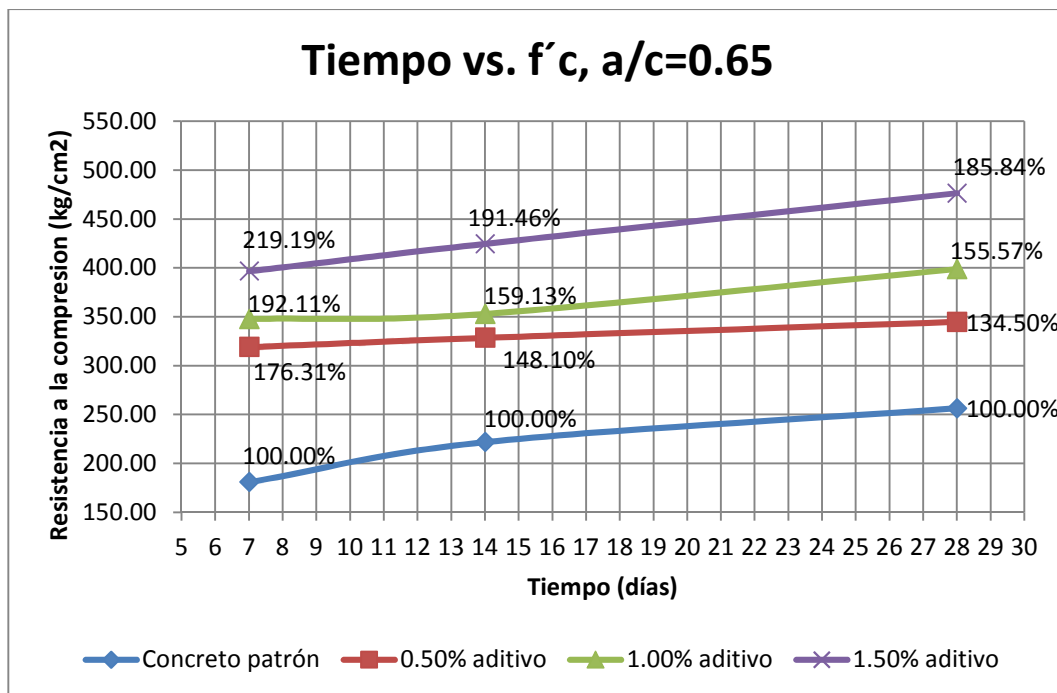


GRÁFICO N°7.2 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación a/c=0.65.

Para la relación de agua/cemento 0.70 y edades de 7,14 y 28 días, la muestra con el más alto contenido de aditivo Chema Megament 440, 1.5% del peso de cemento presenta como resistencia a la compresión axial, los siguientes valores: 385.46 kg/cm², 414.23 kg/cm² y 437.39 kg/cm² en comparación a los valores de 168.80 kg/cm², 181.99 kg/cm² y 218.33 kg/cm² de las muestras de concreto patrón. Representando un 228.35%, 204.85% y 200.34% respectivamente, en comparación al concreto de la muestra patrón.

En promedio se puede concluir que el concreto con aditivo al 1.5% del peso de cemento presenta un incremento de aproximadamente 110% de la resistencia del concreto patrón, este incremento se puede explicar por la gran capacidad de reducción de agua que permite diseñar concreto de alta resistencia del aditivo superplastificante Chema Megament 440. Cabe mencionar que el concreto con aditivo al 0.5% y 1.0% del peso de cemento también presentan un aumento del tiempo de fragua inicia con valores intermedios al aumento porcentual aproximada de 110% que se menciono para el diseño con el más alto contenido de aditivo.

En el grafico N°7.3, se observan los valores de la prueba y la variación con respecto al diseño de las muestras de concreto patrón.

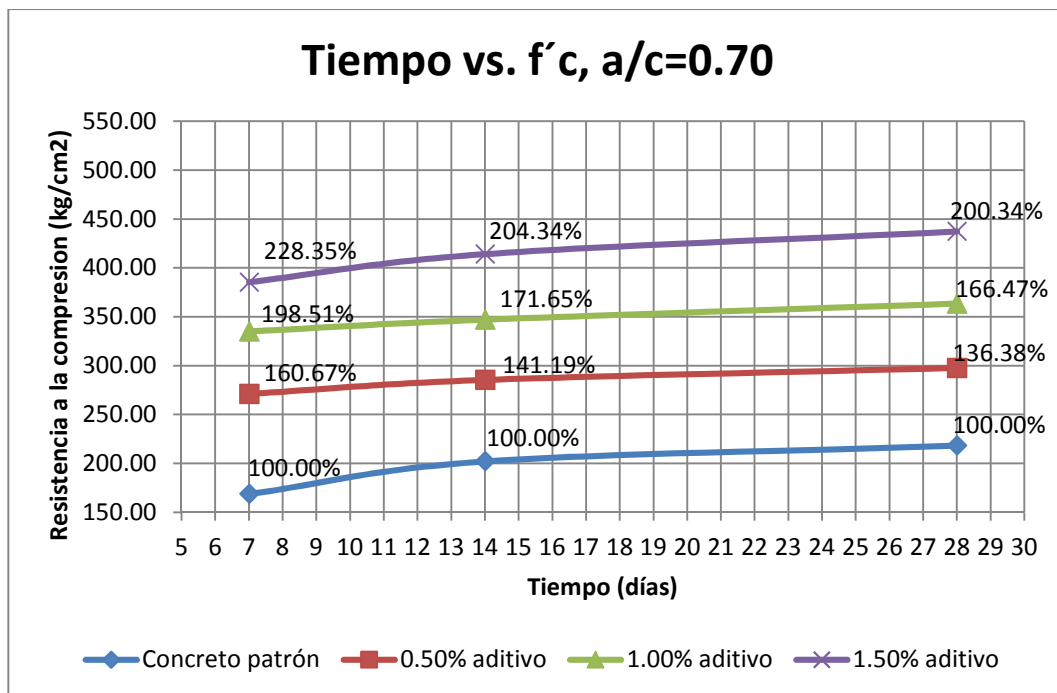


GRÁFICO N°7.3 Resistencia a la compresión a distintas edades, para la relación $a/c=0.70$.

En los tres casos, los valores de la resistencia a la compresión axial de las muestra con aditivo está por encima del concreto patrón, esto se explica por la gran capacidad de reducción de agua que permite diseñar concreto de alta resistencia del aditivo superplastificante Chema Megament 440.

7.3.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

Para la relación agua/cemento 0.60, las muestras con aditivo tienen una resistencia a la compresión diametral de 27.53 kg/cm², 30.83 kg/cm² y 36.83 kg/cm² para 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, respectivamente. En comparación a 25.01 kg/cm² de la muestra de concreto patrón, representando un 110.07%, 123.26% y 147.28%.

Para la relación agua/cemento 0.65, las muestras con aditivo tienen una resistencia a la compresión diametral de 25.43 kg/cm², 28.81 kg/cm² y 34.23 kg/cm² para 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, respectivamente. En comparación a 23.94 kg/cm² de la muestra de concreto patrón, representando un 106.21%, 120.32% y 142.96%.

Para la relación agua/cemento 0.70, las muestras con aditivo tienen una resistencia a la compresión diametral de 22.3 kg/cm², 26.96 kg/cm² y 27.67 kg/cm² para 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, respectivamente. En comparación a 20.03 kg/cm² de la muestra de concreto patrón, representando un 111.76%, 134.59% y 138.16%.

7.3.3 Modulo elástico estático

Para la relación agua/cemento 0.60, las muestras con aditivo tienen modulo elástico de $2.13 \cdot 10^5$ kg/cm², $2.54 \cdot 10^5$ kg/cm² y $2.71 \cdot 10^5$ kg/cm² para 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, respectivamente. En comparación a $2.43 \cdot 10^5$ kg/cm² de la muestra de concreto patrón, representando un 87.67%, 104.46% y 111.82%.

Para la relación agua/cemento 0.65, las muestras con aditivo tienen modulo elástico de $2.11 \cdot 10^5$ kg/cm², $2.29 \cdot 10^5$ kg/cm² y $2.49 \cdot 10^5$ kg/cm² para 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, respectivamente. En comparación a $2.00 \cdot 10^5$ kg/cm² de la muestra de concreto patrón, representando un 105.40%, 114.24% y 124.38%.

Para la relación agua/cemento 0.70, las muestras con aditivo tienen modulo elástico de $2.24 \cdot 10^5$ kg/cm², $2.20 \cdot 10^5$ kg/cm² y $2.56 \cdot 10^5$ kg/cm² para 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, respectivamente. En comparación a $2.24 \cdot 10^5$ kg/cm² de la muestra de concreto patrón, representando un 98.58%, 114.34% y 110.61%.

7.4 ANÁLISIS DE COSTOS

En esta parte del capítulo se analizará la relación beneficio-costos que nos proporciona la adición del aditivo Chemament 440 en la mezcla de concreto.

Este análisis de costos nos muestra la comparación de tal vez los dos puntos más importantes en la producción del concreto; el costo que implica el uso del aditivo en la mezcla y el incremento de la resistencia a la compresión del mismo expresado en soles y kg/cm² respectivamente.

El concreto con aditivo requiere menor cantidad de agua y por ende menor cantidad de cemento en la mezcla, esta reducción de agua varía en función al porcentaje de aditivo añadido y es la relación de la cual depende el costo de fabricación. Así mismo se observa que la resistencia del concreto se incrementa en cuanto se añade en mayor porcentaje el aditivo Chemament 440.

El costo calculado en este análisis se encuentra detallado en los anexos y los precios corresponden a enero de 2017, siendo precios de costo directo (sin IGV). Cabe resaltar que en el análisis solo está tomando en cuenta el costo de materiales más no el costo que puede generar la mano de obra, equipos, transporte y colocación de concreto.

En los cuadros N°7.2, 7.3 y 7.4 se muestra la variación del precio de concreto por m³ de producción para cada una de los diseños planteados en la investigación.

CUADRO N°7.2 Variación porcentual del precio de concreto.

a/c	Concreto patrón	Aditivo 0.5%	Aditivo 1.0%	Aditivo 1.5%
0.60	100.00%	104.85%	109.82%	114.80%
0.65	100.00%	104.84%	109.75%	114.67%
0.70	100.00%	104.77%	109.63%	114.49%
Variación promedio	100.00%	104.82%	109.73%	114.65%

Elaboración propia

CUADRO N°7.3 Variación porcentual de la resistencia del concreto (28 días).

a/c	Concreto patrón	Aditivo 0.5%	Aditivo 1.0%	Aditivo 1.5%
0.60	100.00%	126.20%	172.20%	179.16%
0.65	100.00%	134.50%	155.58%	185.84%
0.70	100.00%	128.14%	166.46%	200.33%
Variación promedio	100.00%	129.61%	164.75%	188.45%

Elaboración propia

CUADRO N°7.4 Variación del precio de concreto por cada kg/cm².

a/c	Concreto patrón	Aditivo 0.5%	Aditivo 1.0%	Aditivo 1.5%
0.60	0.79	0.66	0.50	0.51
0.65	0.81	0.63	0.57	0.50
0.70	0.89	0.73	0.59	0.51
Variación promedio	0.83	0.67	0.55	0.51

Elaboración propia

CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo el estudio del comportamiento del concreto con aditivo superplastificante Chemament 440, en dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para las relaciones agua/cemento 0.60, 0.65 y 0.70.

Se realizaron los ensayos y se evaluaron los resultados de las pruebas realizadas tanto a los agregados como al concreto en estado fresco y endurecido.

1. De las pruebas a los agregados:
 - a. Con las pruebas de granulometría se pudo comprobar que ambos agregados, tanto de forma individual como agrupados, en lo que conocemos como agregado global, se encuentran dentro de los estándares requeridos (uso granulométrico).
 - b. Los ensayos de peso unitario compactado al agregado global arrojaron como resultado final la mejor combinación de agregados 47.2% de agregado fino y 52.8% de agregado grueso.
2. Del diseño del concreto patrón:
 - a. En los ensayos de asentamiento obtuvimos un requerimiento de agua de 230 lt/m³ de concreto, lo que nos asegura un asentamiento de aprox. 4", dentro del rango requerido 3.5" - 4.5".
 - b. Se cambia el porcentaje de participación de los agregados con los resultados de las pruebas de compresión axial (46.5% Arena y 53.5% Piedra) esta vez se toma en cuenta la resistencia a la compresión del concreto.
3. De los ensayos al concreto fresco:
 - a. El concreto con aditivo Chemament 440 requiere menor cantidad de agua para mantenerse con asentamiento de 3.5" – 4.5". En el diseño del concreto con aditivo en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para cada una de las relaciones de a/c planteadas, se registro que el requerimiento de agua es de aprox. 89.7%, 80.3% y 72.5% respectivamente, respecto del requerimiento de agua del concreto patrón (100%).

- b. El peso unitario, usando el aditivo Chemament 440, sufrió pequeños incrementos para cada una de las dosificaciones. Se alcanzó como máximo el 107.7% para el diseño con relación $a/c=0.7$ y aditivo al 1.5% del peso del cemento, respecto al peso unitario del concreto patrón (100%). Por lo tanto, el peso unitario de concreto, se mantiene prácticamente constante con respecto al concreto patrón.
- c. La exudación se reduce notablemente con la adición del aditivo Chemament 440. En el diseño del concreto con aditivo en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para cada una de las relaciones de a/c planteadas, se registró que la exudación es aprox. 59.33%, 13.1% y 0.4% respectivamente, respecto de la exudación del concreto patrón (100%).
- d. La fluidez del concreto se mantiene prácticamente constante en cada uno de los diseños realizados tanto con los concretos patrones para cada relación a/c y los diseños con aditivo. En los registros obtuvimos valores de fluidez que fluctúan entre 87.9% y 105.1% con respecto a la fluidez del concreto patrón (100%).
- e. En el diseño del concreto con aditivo en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para cada una de las relaciones de a/c planteadas se registró que el contenido de aire es aprox. 33.3%, 25.9% y 8.14% respectivamente, respecto del contenido de aire del concreto patrón 100%. Por lo tanto, se concluye que el contenido de aire se reduce considerablemente a medida que se aumenta la cantidad de aditivo en la mezcla.
- f. Se aceleró el proceso de fraguado inicial y final del concreto con aditivo Chemament 440, para todas sus dosificaciones. El tiempo de fraguado inicial registró como promedio 141.0% y el tiempo de fraguado final, un promedio de 124.8%, con respecto al concreto patrón.

Para el tiempo de fraguado inicial con dosificaciones de aditivo al 0.5%, 1.0% y 1.5% para cada relación a/c , se registró que el T.F.I. es de aprox. 124.7%, 139.8%, 158.5% respectivamente, con respecto al concreto patrón. De igual manera, para el tiempo de fraguado final con dosificaciones de aditivo 0.5%, 1.0% y 1.5% se registró que el

T.F.F. es de aprox. 115.3%, 124.2% y 135.0% respectivamente, con respecto al del concreto patrón (100%).

4. De los ensayos al concreto endurecido:

- a. La resistencia a la compresión axial del concreto registró un valor promedio de 161.9% a la edad de 28 días en todas las dosificaciones de la investigación con aditivo, con respecto a la resistencia del concreto patrón.

Para las probetas ensayadas a los 7 días con aditivo en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para cada una de las relaciones de a/c planteadas, se registraron valores promedio de resistencia de 167.2%, 193.3% y 222.3% respectivamente, con respecto a la resistencia del concreto patrón. Para las probetas ensayadas a los 28 días se registraron valores promedio de 132.4%, 164.8% y 188.5% respectivamente para los dosificaciones mencionadas, con respecto a la resistencia del concreto patrón.

Se concluye que el aditivo da mayores incrementos para la relación a/c=0.7 con 1.5% de aditivo a la edad de 28 días con una resistencia que representa el 200.3% respecto del concreto patrón para la misma relación de agua/cemento.

- b. En el concreto con aditivo en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento, para cada una de las relaciones de a/c planteadas, se registro que la resistencia a la tracción es aprox. 109.4%, 126.1% y 132.4% respectivamente, respecto de la resistencia a la tracción del concreto patrón. En conclusión se observo un incremento en general para cada dosificación planteada en la investigación, siendo el diseño con relación a/c=0.6 y aditivo al 1.5% el que registra la mayor resistencia a la tracción con 147.3%.
- c. El modulo elástico estático (M.E.E.) del concreto endurecido tuvo un comportamiento variable. Para el concreto con aditivo en porcentaje de 0.5% se registraron valores 87.7% para la relación a/c=0.6, con respecto al M.E.E. del concreto patrón.

Para las dosificaciones de 1.0% y 1.5%, solo se han registrado incrementos variables para todas las relaciones a/c planteadas, siendo el diseño con relación a/c=0.65 y aditivo al 1.5% el que

registra una mayor resistencia igual a 124.4%, con respecto al concreto patrón.

5. Del análisis de costos:

- a. Con respecto a la variación del costo total por m^3 de concreto, se evidencia que para preparar el concreto con aditivo en dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% para cada relación a/c, se incrementan los costos en promedio 4.82%, 9.73% y 14.65% respectivamente.
- b. En relación al costo/beneficio se observa que a mayor dosificación porcentual del aditivo el costo por kg/cm^2 de resistencia es menor en otros términos el beneficio expresado en resistencia adquiere una mayor importancia si el aditivo es mayor, y en ello se observa comparando el costo del concreto patrón de 0.83 soles por kg/cm^2 y el del concreto con 1.5% de aditivo el costo se reduce a 0.51 soles por kg/cm^2 en promedio.

RECOMENDACIONES

- a. Se puede hacer uso del aditivo Chemament 440 si se requiere de concreto muy fluido, ya que se pudo comprobar que el aditivo investigado reduce hasta 28.56% de agua del diseño del concreto patrón.
- b. Por el alto grado que se obtuvo en la disminución de la exudación, siendo en algunos casos imperceptible se recomienda el uso del aditivo en la fabricación de concreto para pavimento rígido, ya que en estos casos se requiere de una exudación prácticamente nula.
- c. Se recomienda usar el aditivo como retardante de fragua, ya que aumenta el tiempo de fragua inicial y el final hasta en 60.44% y 47.80% respectivamente, estos casos extremos se dieron con la mayor dosificación de aditivo, 1.5% del peso de cemento.
- d. En el caso del aditivo propiamente como superplastificante con el objetivo de alcanzar altas resistencias a la compresión, se recomienda el uso para todas las dosificaciones estudiadas según el requerimiento, pero en especial para el concreto con alta relación agua/cemento, ya que porcentualmente en este caso se manifiesta el mayor incremento, en datos estadísticos se alcanzó hasta un 200.34% de la resistencia alcanzada por el concreto sin aditivo con la misma relación a/c a los 28 días del vaciado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ari Queque Ismael, "Estudio de las propiedades de los súper plastificantes", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima, 2001.
2. Cachay Huamán Rafael, "Diseño de mezclas, método del agregado global y modulo de finura para concreto de mediana a alta resistencia", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima-Perú, 1997.
3. Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM), "Análisis químico instrumental en la industria del cemento", Editorial Martegraf E.I.R.L., Lima, 1997.
4. Torres Castro Guillermo Enrique, "determinación de las propiedades del concreto por la adición de aditivo superplastificante y reductor de agua con cemento Portland tipo IP", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima, 1996.
5. Huaynalaya Rashuamán Max, "Estudio del concreto de mediana a baja resistencia, utilizando cemento Portland tipo I y aditivo superplastificante", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima 2016.
6. Calixto Silva Ricardo Armando, "Estado del arte del concreto para optimizar su eficiencia con el uso de aditivos", Informe de suficiencia para optar el Título profesional, FIC-UNI, Lima 2013.
7. Montero Valenzuela Rafael Hilber, "Estudio del concreto de mediana a baja resistencia y su correlación", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima, 2000.
8. Riva López Enrique, "Diseño de Mezclas", Editorial ICG, Lima-Perú, 2013.
9. Riva López Enrique, "Materiales para el Concreto", Editorial ICG, Lima-Perú, 2008.
10. Palomares Carmona Jaime Paul, "Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango – superplastificante y cemento portland tipo I", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima-Perú, 2009.
11. Torres Castro Guillermo Enrique, "Determinación de las propiedades del concreto por la adición de aditivo Superplastificante y reductor de agua con cemento Portland tipo IP", Tesis para optar el Título Profesional, FIC-UNI, Lima, 1996.

AGREGADO FINO

Procedencia: Cantera Trapiche

1) Peso específico:

CUADRO A.1 Datos y resultados del Peso específico del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la arena superficialmente seca	gr	500.0
Peso de la arena superficialmente seca + Peso de balón + Peso de agua	gr	954.5
Peso de balón	gr	142.5
Peso de agua (W)	gr	312.0
Peso de arena seca al horno (A)	gr	494.5
Volumen del balón (V)	cm ³	500.0
Peso específico de masa A/(V-W)	gr/cm ³	2.6303
Peso específico de masa superficialmente seco 500/(V-W)	gr/cm ³	2.6596
Peso específico aparente A/(V-W)-(500-A)	gr/cm ³	2.7096

2) Porcentaje de absorción

CUADRO A.2 Datos y resultados del Porcentaje de absorción del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la arena superficialmente seca	gr	500.0
Peso de arena seca al horno (A)	gr	494.5
Porcentaje de absorción (500-A)*100/A	%	1.11

3) Contenido de humedad

CUADRO A.3 Datos y resultados del Contenido de humedad del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra en estado ambiental	gr	500
Peso de la muestra seca al horno	gr	488
Peso del agua perdida	gr	12
Contenido de humedad	%	2.45

4) Peso unitario suelto

CUADRO A.4 Datos y resultados del P.U.S. del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	gr	5572.00
Peso del recipiente	gr	1577.20
Peso de la muestra	gr	3994.80
Volumen del recipiente	m ³	0.0028
Peso unitario suelto	kg/m ³	1426.71

5) Peso unitario compactado

CUADRO A.5 Datos y resultados del P.U.C. del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	gr	6179.00
Peso del recipiente	gr	1577.20
Peso de la muestra	gr	4601.80
Volumen del recipiente	m ³	0.0028
Peso unitario compactado	kg/m ³	1643.50

6) Porcentaje que pasa la malla N°200

CUADRO A.6 Datos y resultados del porcentaje que pasa la malla N°200.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso seco inicial	gr	500.0
Peso seco final	gr	462.5
Peso unitario compactado	%	7.5

7) Granulometría

CUADRO A.7 Resultados obtenidos del ensayo de granulometría del agregado fino.

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
Tamiz N°	mm				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	30.00	3.00	3.00	97.00
N° 8	2.380	176.00	17.60	20.60	79.40
N° 16	1.190	298.00	29.80	50.40	49.60
N° 30	0.595	265.00	26.50	76.90	23.10
N° 50	0.297	150.00	15.00	91.90	8.10
N° 100	0.149	55.00	5.50	97.40	2.60
Fondo		26.00	2.60	100.00	0.00

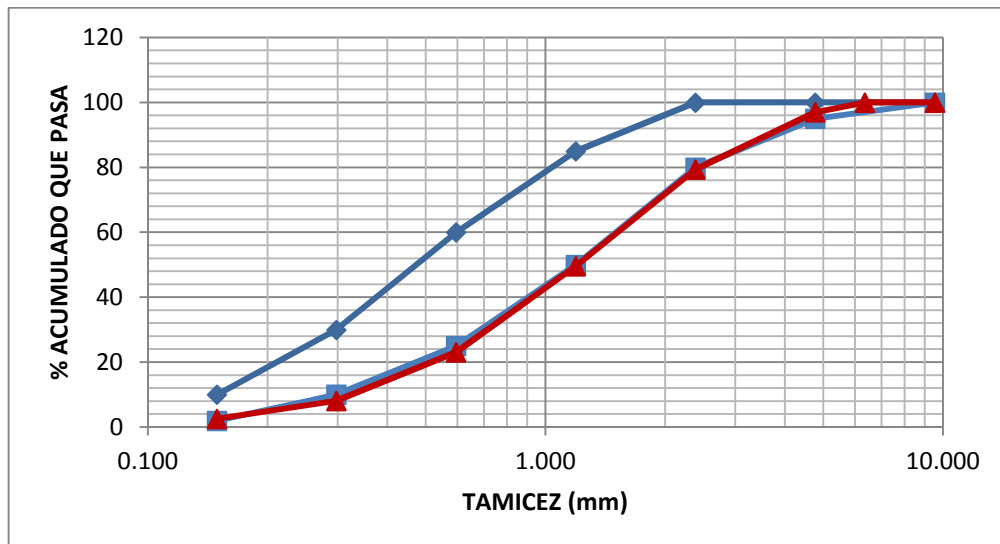


GRÁFICO A.1 Curva granulométrica del Agregado fino.

8) Módulo de finura

$$M.F. = \frac{0 + 3 + 20.60 + 50.40 + 76.90 + 91.90 + 97.40}{100} = 3.40$$

AGREGADO GRUESO

Procedencia: Cantera UNICON

1) Peso específico

CUADRO A.8 Datos y resultados del Peso específico del agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra secada al horno A	gr	3964.5
Peso de la muestra saturada superficialmente seca B	gr	4000.0
Peso de la muestra saturada en agua + peso de canastilla	gr	--
Peso de canastilla	gr	--
Peso de la muestra saturada en agua C	cm ³	2447.5
Peso específico de masa A/(B-C)	gr/cm ³	2.5536
Peso específico de masa superficialmente seco B/(B-C)	gr/cm ³	2.5765
Peso específico aparente A/(A-C)	gr/cm ³	2.6134

2) Porcentaje de absorción

CUADRO A.9 Datos y resultados del Porcentaje de absorción del agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra saturada superficialmente seca B	gr	4000.0
Peso de la muestra secada al horno A	gr	3964.5
Porcentaje de absorción $(B-A)*100/A$	%	0.895

3) Contenido de humedad

CUADRO A.10 Datos y resultados del Contenido de humedad del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra en estado ambiental	gr	681.5
Peso de la muestra seca al horno	gr	678.5
Peso del agua perdida	gr	3.0
Contenido de humedad	%	0.44

4) Peso unitario suelto

CUADRO A.11 Datos y resultados del P.U.S. del agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	17.81
Peso del recipiente	kg	4.70
Peso de la muestra	kg	13.11
Volumen del recipiente	m ³	0.0094
Peso unitario suelto	kg/m ³	1394.68

5) Peso unitario compactado

CUADRO A.12 Datos y resultados del P.U.C. del agregado grueso.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	19.26
Peso del recipiente	kg	4.70
Peso de la muestra	kg	14.56
Volumen del recipiente	m ³	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m ³	1548.94

6) Granulometría

CUADRO A.13 Resultados obtenidos del ensayo de granulometría del agregado fino.

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
Tamiz N°	mm				
1 1/2"	38.10	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	316.1	3.16	3.16	96.84
3/4"	19.00	2770.9	27.71	30.87	69.13
1/2"	12.70	5398.9	53.99	84.86	15.14
3/8"	9.53	1075.5	10.76	95.62	4.38
N° 4	4.76	421.0	4.21	99.83	0.17
N° 8	2.38	0.0	0.00	99.83	0.17
N° 16	1.19	0.0	0.00	99.83	0.17
Fondo		17.4	0.17	100.00	0.00

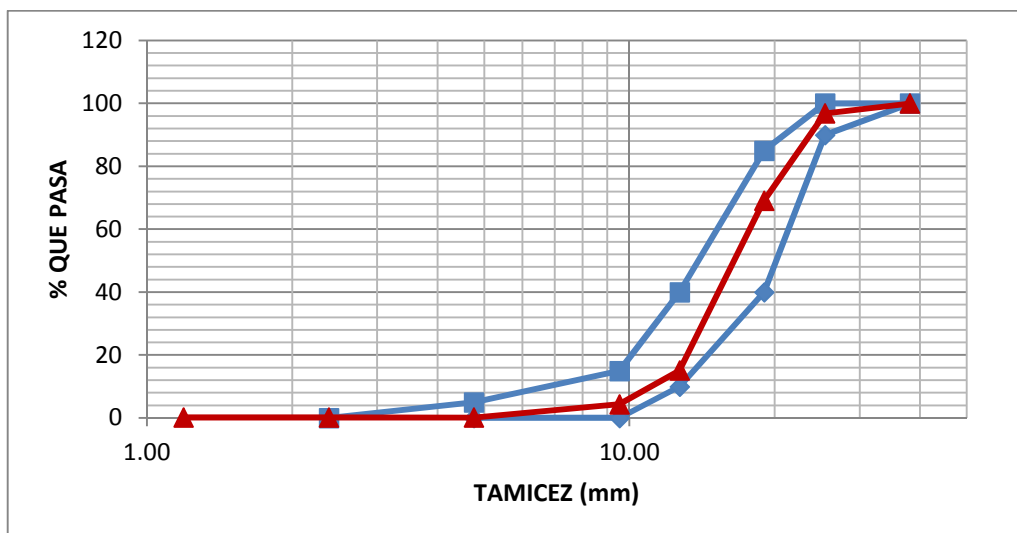


GRÁFICO A.2 Curva granulométrica del Agregado grueso.

7) Módulo de finura

$$M.F. = \frac{0 + 30.87 + 95.62 + 99.83 + 99.83 + 99.83 + 100 + 100 + 100}{100} = 7.25$$

AGREGADO GLOBAL

CUADRO A.14 Cálculos y resultados para P.U.C. del Agregado global.

%Arena	%Piedra	Arena (kg)	Piedra (kg)	P.U.C. (kg/m ³)
44	56	25.0	31.8	2002.34
47	53	25.0	28.2	2012.94
50	50	25.0	25.0	2004.46
53	47	25.0	22.2	1975.86
56	44	25.0	19.6	1912.29

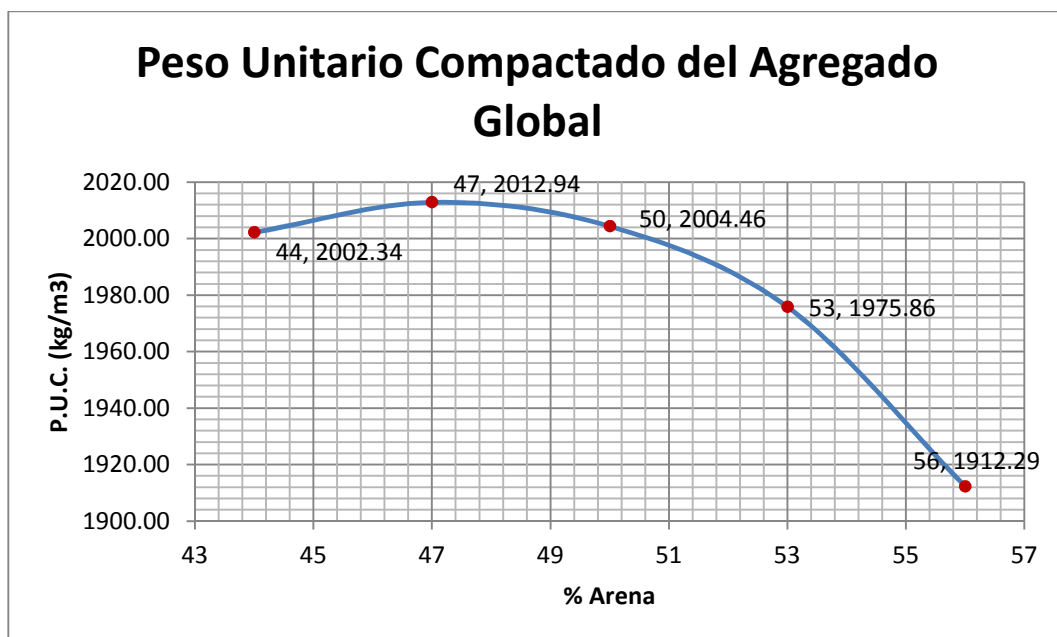


GRÁFICO A.3 Curva del P.U.C. vs. %Arena.

Del gráfico obtenemos:

Agregado fino = **47.2%**

Agregado grueso = **52.8%**

CUADRO A.15 Análisis granulométrico del Agregado global.

Malla		46.5%	53.5%	% Acumulado global	
Tamiz N°	mm	%Ret. Arena	%Ret. Piedra	Retenido	Pasa
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	1.69	1.69	98.31
3/4"	19.00	0.00	14.82	16.52	83.48
1/2"	12.70	0.00	28.88	45.40	54.60
3/8"	9.525	0.00	5.75	51.15	48.85
N° 4	4.760	1.40	2.25	54.80	45.20
N° 8	2.380	8.18	0.09	63.08	36.92
N° 16	1.190	13.86	0.00	76.94	23.06
N° 30	0.595	12.32	0.00	89.26	10.74
N° 50	0.297	6.98	0.00	96.23	3.77
N° 100	0.149	2.56	0.00	98.79	1.21
Fondo		1.21	0.00	100.00	0.00

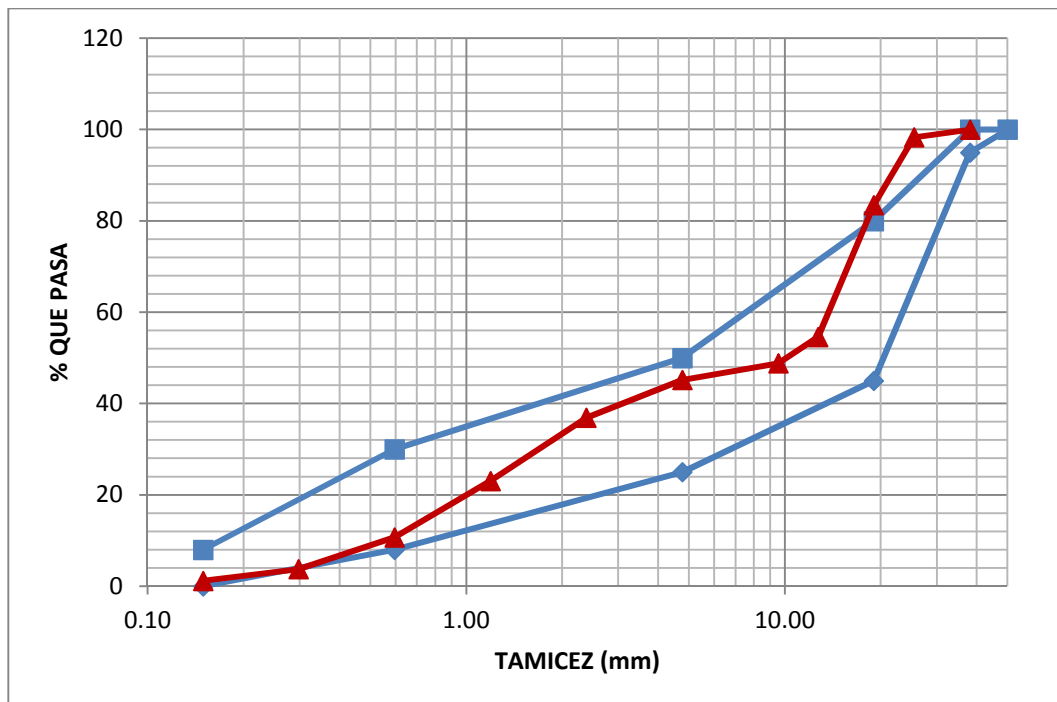


GRÁFICO A.4 Curva granulométrica del Agregado global.

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DEL AGUA PATRÓN

1) Información básica para el diseño de concreto

Cemento Portland

- Tipo : I Marca "Sol"
- Peso específico : $3.15 \text{ gr/cm}^3 = 3150 \text{ kg/m}^3$

Agregado fino

- Porcentaje en mezcla : 47.2%
- Peso específico de masa : $2.63 \text{ gr/cm}^3 = 2630 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 1.11%
- Contenido de humedad : 2.45%

Agregado grueso

- Porcentaje de mezcla : 52.8%
- Peso específico de masa : $2.55 \text{ gr/cm}^3 = 2255 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 0.89%
- Contenido de humedad : 0.44%
- Tamaño nominal máximo : 1"

2) Diseño de mezcla con 230 litros de agua

- Usamos el agua igual a 230 litros por m^3 .

$$a/c = \frac{230 \text{ k}}{c_t} = 0.65$$

$$c_t = 353.85 \text{ k}$$

- Usamos el porcentaje de agregados y sus propiedades.

	Agregado grueso	Agregado fino	Cemento
Porcentaje	53.50%	46.50%	--
Peso específico	2.55 kg/cm^3	2.63 kg/cm^3	3.15 kg/cm^3
Absorción	0.90%	1.11%	--
Humedad	0.44%	2.45%	--

a) Volumen absoluto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{P_e} = \frac{353.85 \text{ k}}{3150 \text{ k} / \text{m}^3} = 0.1123 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{230 \text{ lt}}{P_e} = \frac{230 \text{ lt}}{1000 \text{ lt} / \text{m}^3} = 0.2300 \text{ m}^3$$

$$C_t + A + P = 1 \text{ m}^3$$

$$A = 1 - 0.1123 - 0.2300 = 0.6577 \text{ m}^3$$

$$A = 47.20\% * 0.6577 = 0.3104 \text{ m}^3$$

$$P = 52.80\% * 0.6577 = 0.3472 \text{ m}^3$$

b) Diseño seco

- Cemento = 353.85 kg
- Agua = 230 lt

$$A = P_e * V_a = 2630 \text{ k} / \text{m}^3 * 0.3104 \text{ m}^3 = 816.40 \text{ k}$$

$$P = P_e * V_p = 2550 \text{ k} / \text{m}^3 * 0.3472 \text{ m}^3 = 885.48 \text{ k}$$

c) Diseño unitario suelto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{230 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6500$$

$$A = \frac{816.40 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.3072$$

$$P = \frac{885.48 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5025$$

d) Diseño de obra o diseño húmedo

- Cemento = 353.85 kg

En esta sección corregiremos la cantidad de agua en el diseño, esto debido al porcentaje de humedad y absorción de cada agregado.

- Corrección por agregado fino:

$$\frac{(\%H - \%A) \cdot \rho_n \cdot P_a}{100} = \frac{(2.45 - 1.11) \cdot 804.29}{100} = 10.94 \text{ l}$$

- Corrección por agregado grueso:

$$\frac{(\%H - \%A) \cdot \rho_n \cdot P_p}{100} = \frac{(0.44 - 0.90) \cdot 897.22}{100} = -4.07 \text{ l}$$

$$A - a = 10.94 - 4.07 = 6.87 \text{ l}$$

Se puede observar que la arena aporta agua a la mezcla, mientras la piedra hace lo contrario. La suma nos resulta el agua aportada por ambos agregados. La corrección final se hace restando el agua aportado por los agregados al agua patrón.

$$A = 230 - 6.87 = 223.13 \text{ l}$$

- Calculo de agregados húmedos:

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) \cdot P_a = \left(1 + \frac{2.45}{100}\right) \cdot 816.40 = 836.40 \text{ k}$$

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) \cdot P_p = \left(1 + \frac{0.44}{100}\right) \cdot 885.48 = 889.38 \text{ k}$$

- e) Diseño unitario de obra (D.U.O.)

$$C = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{223.13 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6306$$

$$A = \frac{836.40 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.3638$$

$$P = \frac{889.38 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5135$$

f) Diseño para laboratorio

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.6306 + 2.3638 + 2.5135 = 6.5078$$

Se realizaron vaciados de 25 kg de mezcla, el peso necesario para realizar el ensayo de asentamiento para obtener el agua patrón.

$$n = \frac{25 \text{ k}}{6.5078} = 3.84 \text{ k}$$

Los pesos a usar en el laboratorio son:

$$C_c = (D.U.O._{c_c}) * 3.84 = 1 * 3.84 = 3.84 \text{ k}$$

$$A_a = (D.U.O._a) * 3.84 = 0.6306 * 3.84 = 2.42 \text{ k}$$

$$A_s = (D.U.O._s) * 3.84 = 2.3638 * 3.84 = 9.08 \text{ k}$$

$$P = (D.U.O._p) * 3.84 = 2.5135 * 3.84 = 9.66 \text{ k}$$

3) Cuadro de resultados

En el cuadro B.1 se muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del diseño de concreto patrón para 220, 230 y 240 litros de agua por m³, para la relación agua/cemento=0.65. Cabe mencionar que el procedimiento para obtener el diseño de concreto para los valores agua de 220 y 240 lt/m³ es el mismo al detallado anteriormente para 230 lt/m³.

CUADRO B.1 Diseño de concreto para la relación $a/c=0.65$.

a/c	Material	Volumen absoluto (m ³)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño para laboratorio (25 kg)
0.65	Cemento	0.0998	314.29	1.0000	314.29	1.0000	3.40
	Agua	0.2200	220.00	0.7000	213.12	0.6781	2.30
	Arena	0.3163	831.88	2.6469	852.26	2.7118	9.22
	Piedra	0.3639	928.00	2.9527	932.08	2.9657	10.08
Asentamiento = 2.5"							
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	223.35	0.6312	2.43
	Arena	0.3058	804.29	2.2730	824.00	2.3287	8.95
	Piedra	0.3519	897.22	2.5356	901.17	2.5468	9.79
Asentamiento = 4.0"							
0.65	Cemento	0.1088	342.86	1.0000	342.86	1.0000	3.75
	Agua	0.2400	240.00	0.7000	233.42	0.6808	2.55
	Arena	0.3028	796.33	2.3226	815.84	2.3795	8.93
	Piedra	0.3484	888.34	2.5910	892.25	2.6024	9.76
Asentamiento = 5.2"							

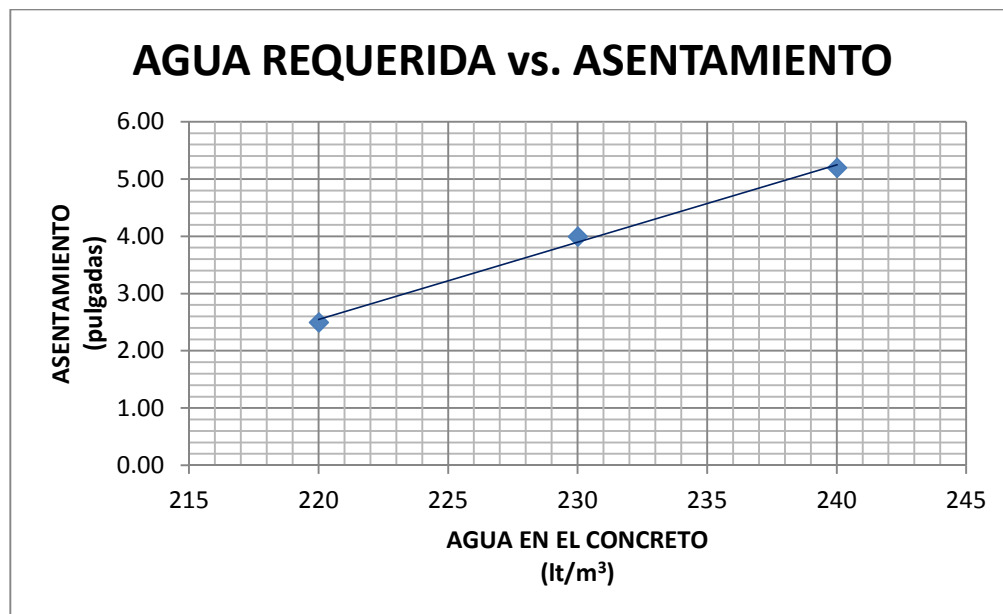


GRÁFICO B.1 Asentamiento vs. Agua en el concreto.

Del gráfico, el agua patrón es **230 litros** por m³ de concreto.

MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN ARENA/PIEDRA

1) Información básica para el diseño de concreto

Cemento Portland

- Tipo : I Marca "Sol"
- Peso específico : $3.15 \text{ gr/cm}^3 = 3150 \text{ kg/m}^3$

Agregado fino

- Peso específico de masa : $2.63 \text{ gr/cm}^3 = 2630 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 1.11%
- Contenido de humedad : 2.45%

Agregado grueso

- Peso específico de masa : $2.55 \text{ gr/cm}^3 = 22553 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 0.89%
- Contenido de humedad : 0.44%
- Tamaño nominal máximo : 1"

Agua

- Agua patrón : 230 lt/m³ de concreto

Agregados

Se realizara el diseño de mezcla tomando como referencia el porcentaje de participación de los agregados obtenido en la curva de P.U.C. del agregado global, a ello se agregaran dos diseños adicionales que corresponden al $\pm 3\%$ de los agregados mencionados anteriormente.

CUADRO B.2 Porcentajes de participación de los agregados.

%Agregados	Diseño 01	Diseño 02	Diseño 03
Arena	44.20%	47.20%	50.20%
Piedra	55.80%	52.80%	49.80%

2) Diseño de mezclas con %Arena = 47.20% y %Piedra = 52.80%.

- Usamos el agua igual a 230 litros por m³.

$$\frac{a}{c} = \frac{230 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.65$$

$$C_t = 353.85 \text{ k}$$

a) Volumen absoluto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{P_e} = \frac{353.85 \text{ k}}{3150 \text{ k} / \text{m}^3} = 0.1123 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{230 \text{ lt}}{P_e} = \frac{230 \text{ lt}}{1000 \text{ lt} / \text{m}^3} = 0.2300 \text{ m}^3$$

$$C_t + A + P = 1 \text{ m}^3$$

$$A = 1 - 0.1123 - 0.2300 = 0.6577 \text{ m}^3$$

$$A = 47.20\% * 0.6577 = 0.3104 \text{ m}^3$$

$$P = 52.80\% * 0.6577 = 0.3472 \text{ m}^3$$

b) Diseño seco

- o Cemento = 353.85 kg
- o Agua = 230 lt

$$A = P_e * V_a = 2630 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.3104 \text{ m}^3 = 816.40 \text{ k}$$

$$P = P_e * V_p = 2550 \text{ k} / \text{m}^3 * 0.3472 \text{ m}^3 = 885.48 \text{ k}$$

c) Diseño unitario suelto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{230 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6500$$

$$A = \frac{816.40 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.3072$$

$$P = \frac{885.48 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5025$$

d) Diseño de obra o diseño húmedo

- Cemento = 353.85 kg

En esta sección corregiremos la cantidad de agua en el diseño, esto debido al porcentaje de humedad y absorción de cada agregado.

- Corrección por agregado fino:

$$\frac{(\%H - \%A_{\text{fino}}) * P_a}{100} = \frac{(2.45 - 1.11) * 804.29}{100} = 10.94 \text{ l}$$

- Corrección por agregado grueso:

$$\frac{(\%H - \%A_{\text{grueso}}) * P_g}{100} = \frac{(0.44 - 0.90) * 897.22}{100} = -4.07 \text{ l}$$

$$A_a = 10.94 - 4.07 = 6.87 \text{ l}$$

Se puede observar que la arena aporta agua a la mezcla, mientras la piedra hace lo contrario. La suma nos resulta el agua aportada por ambos agregados. La corrección final se hace restando el agua aportado por los agregados al agua patrón.

$$A = 230 - 6.87 = 223.13 \text{ l}$$

- Calculo de agregados húmedos:

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) * P_a = \left(1 + \frac{2.45}{100}\right) * 816.40 = 836.40 \text{ k}$$

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) * P_g = \left(1 + \frac{0.44}{100}\right) * 885.48 = 889.38 \text{ k}$$

e) Diseño unitario de obra (D.U.O.)

$$C_l = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{223.13 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6306$$

$$A = \frac{836.40 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.3638$$

$$P = \frac{889.38 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5135$$

f) Diseño para laboratorio

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.6306 + 2.3638 + 2.5135 = 6.5078$$

Se realizaron vaciados de 25 kg de mezcla, el peso necesario para realizar el ensayo de asentamiento para obtener el agua patrón.

$$n = \frac{25 \text{ k}}{6.5078} = 3.84 \text{ k}$$

Los pesos a usar en el laboratorio son:

$$C_t = (D.U.O._{c_t}) * 3.84 = 1 * 3.84 = 3.84 \text{ k}$$

$$A = (D.U.O._a} * 3.84 = 0.6306 * 3.84 = 2.42 \text{ k}$$

$$A = (D.U.O._a} * 3.84 = 2.3638 * 3.84 = 9.08 \text{ k}$$

$$P = (D.U.O._p} * 3.84 = 2.5135 * 3.84 = 9.66 \text{ k}$$

3) Cuadro de resultados

En el cuadro B.3 se muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del diseño de concreto patrón para porcentajes de arena de 44.20%, 47.20% y 50.20%, para la relación agua/cemento=0.65. Cabe mencionar que el procedimiento para obtener el diseño de concreto para los porcentajes de arena de 44.20% y 50.20% es el mismo al detallado anteriormente para 47.20%.

CUADRO B.3 Porcentajes de participación de los agregados.

a/c	Material	Volumen absoluto (m3)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño para laboratorio (25 kg)
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	224.06	0.6332	2.43
	Arena	0.2907	764.51	2.1606	783.24	2.2135	8.51
	Piedra	0.3670	935.80	2.6446	939.91	2.6563	10.21
Arena = 44.20%, Piedra = 55.80%							
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	223.13	0.6306	2.42
	Arena	0.3104	816.40	2.3072	836.40	2.3638	9.08
	Piedra	0.3472	885.48	2.5025	889.38	2.5135	9.66
Arena = 47.20%, Piedra = 52.80%							
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	222.21	0.6280	2.41
	Arena	0.3301	868.29	2.4539	889.57	2.5140	9.65
	Piedra	0.3275	835.17	2.3603	838.85	2.3707	9.10
Arena = 50.20%, Piedra = 49.80%							

CUADRO B.4 Resistencia a los 7 días de curado, para distintas relaciones a/c.

% Arena	% Piedra	Resistencia (kg/cm2)
44.2	55.8	184.1
47.2	52.8	191.6
50.2	49.8	134.9

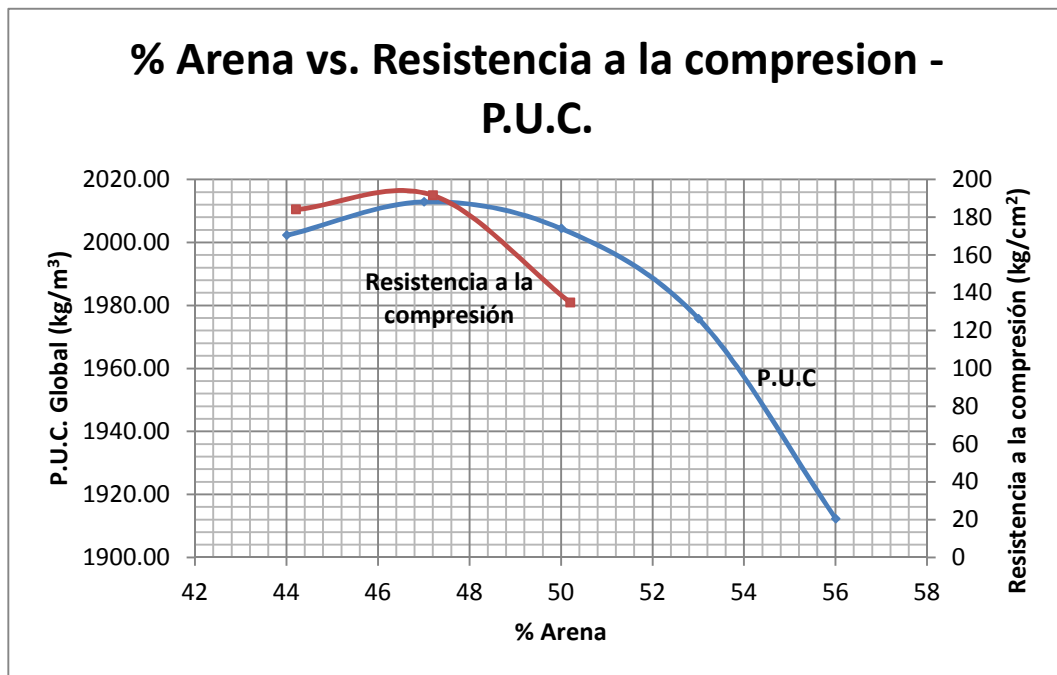
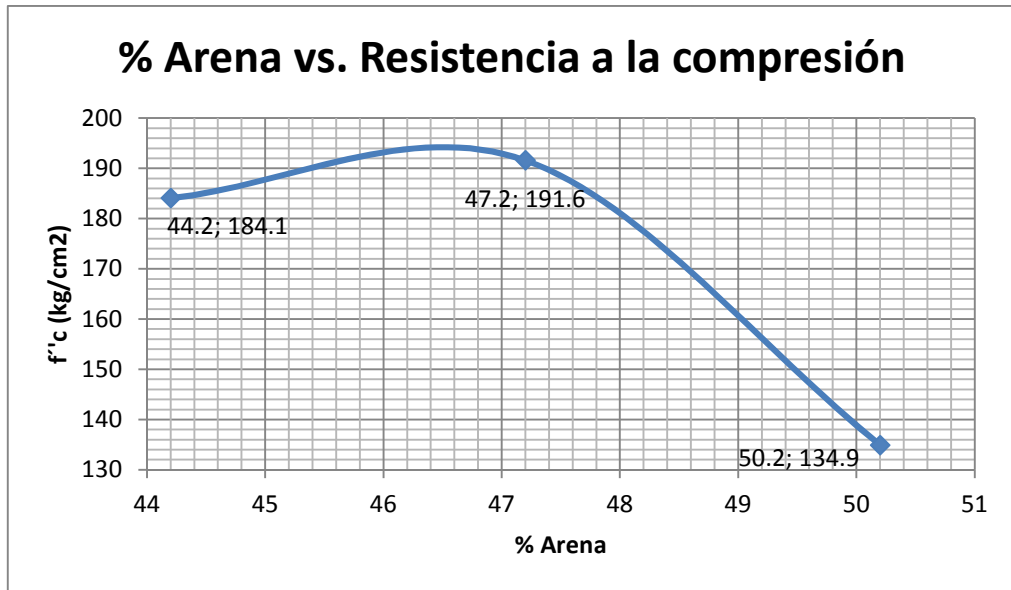


GRÁFICO B.2 %Arena vs. Resistencia a la compresión (7 días).

GRÁFICO B.3 %Arena vs. Resistencia a la compresión (7 días).

Del gráfico se tiene:

Agregado fino = **46.5%**

Agregado grueso = **53.5%**

DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO PATRÓN

1) Información básica para el diseño de concreto

Relaciones de agua/cemento

- Se realizaron diseños de concreto para las relaciones a/c = 0.60, 0.65 y 0.70.

Cemento Portland

- Tipo : I Marca "Sol"
- Peso específico : $3.15 \text{ gr/cm}^3 = 3150 \text{ kg/m}^3$

Agregado fino

- Porcentaje de combinación : 46.50%
- Peso específico de masa : $2.63 \text{ gr/cm}^3 = 2630 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 1.11%
- Contenido de humedad : 2.45%

Agregado grueso

- Porcentaje de combinación : 53.50%
- Peso específico de masa : $2.55 \text{ gr/cm}^3 = 2255 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 0.89%
- Contenido de humedad : 0.44%
- Tamaño nominal máximo : 1"

Agua

- Agua patrón : 230 lt/m^3 de concreto

2) Diseño de mezcla para la relación a/c = 0.65.

- Usamos el agua igual a 230 litros por m³.

$$\frac{a}{c} = \frac{230 \text{ l}}{353.85 \text{ k}} = 0.65$$

$$C_t = 353.85 \text{ k}$$

a) Volumen absoluto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{P_e} = \frac{353.85 \text{ k}}{3150 \text{ k/m}^3} = 0.1123 \text{ m}^3$$

$$A = \frac{230 \text{ l}}{P_e} = \frac{230 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.2300 \text{ m}^3$$

$$C_t + A + P = 1 \text{ m}^3$$

$$A = 1 - 0.1123 - 0.2300 = 0.6577 \text{ m}^3$$

$$A = 46.50\% * 0.6577 = 0.3058 \text{ m}^3$$

$$P = 53.50\% * 0.6577 = 0.3519 \text{ m}^3$$

b) Diseño seco

- o Cemento = 353.85 kg
- o Agua = 230 lt

$$A = P_e * V_a = 2630 \text{ k/m}^3 * 0.3058 \text{ m}^3 = 804.29 \text{ k}$$

$$P = P_e * V_p = 2550 \text{ k/m}^3 * 0.3519 \text{ m}^3 = 897.22 \text{ k}$$

c) Diseño unitario suelto

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{230 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6500$$

$$A = \frac{804.29 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.2730$$

$$P = \frac{897.22 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5356$$

d) Diseño de obra o diseño húmedo

- o Cemento = 353.85 kg

En esta sección corregiremos la cantidad de agua en el diseño, esto debido al porcentaje de humedad y absorción de cada agregado.

- Corrección por agregado fino:

$$\frac{(\%H - \%A_{\text{ón}}) * P_{\text{a}}}{100} = \frac{(2.45 - 1.11) * 804.29}{100} = 10.78 \text{ l}$$

- Corrección por agregado grueso:

$$\frac{(\%H - \%A_{\text{ón}}) * P_{\text{p}}}{100} = \frac{(0.44 - 0.90) * 897.22}{100} = -4.13 \text{ l}$$

$$A_{\text{a}} = 10.78 - 4.13 = 6.65 \text{ l}$$

Se puede observar que la arena aporta agua a la mezcla, mientras la piedra hace lo contrario. La suma nos resulta el agua aportada por ambos agregados. La corrección final se hace restando el agua aportado por los agregados al agua patrón.

$$A = 230 - 6.87 = 223.35 \text{ l}$$

- Calculo de agregados húmedos:

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) * P_{\text{a}} = \left(1 + \frac{2.45}{100}\right) * 804.29 = 824.00 \text{ k}$$

$$\left(1 + \frac{\%H}{100}\right) * P_{\text{p}} = \left(1 + \frac{0.44}{100}\right) * 897.22 = 901.17 \text{ k}$$

e) Diseño unitario de obra (D.U.O.)

$$C_t = \frac{353.85 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 1.0000$$

$$A = \frac{223.35 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 0.6312$$

$$A = \frac{824.00 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.3287$$

$$P = \frac{901.17 \text{ k}}{353.85 \text{ k}} = 2.5468$$

f) Diseño para laboratorio

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.6312 + 2.3287 + 2.5468 = 6.5067$$

Se realizaron vaciados de 25 kg de mezcla, el peso necesario para realizar el ensayo de asentamiento para obtener el agua patrón.

$$n = \frac{25 \text{ k}}{6.5078} = 3.84 \text{ k}$$

Los pesos a usar en el laboratorio son:

$$C_t = (D.U.O._{C_t}) * 3.84 = 1 * 3.84 = 3.84 \text{ k}$$

$$A = (D.U.O._{A}) * 3.84 = 0.6312 * 3.84 = 2.43 \text{ k}$$

$$A = (D.U.O._{A}) * 3.84 = 2.3287 * 3.84 = 8.95 \text{ k}$$

$$P = (D.U.O._{P}) * 3.84 = 2.5468 * 3.84 = 9.79 \text{ kg}$$

3) Cuadro de resultados

En el cuadro B.5 se muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del diseño de concreto patrón para las relación agua/cemento=0.60, 0.65 y 0.70.

CUADRO B.5 Diseño de mezcla, para las relaciones a/c=0.60, 0.65 y 0.70.

a/c	Material	Volumen absoluto (m3)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño para laboratorio (25 kg)
0.60	Cemento	0.1217	383.33	1.0000	383.33	1.0000	4.15
	Agua	0.2300	230.00	0.6000	223.44	0.5829	2.42
	Arena	0.3015	792.85	2.0683	812.27	2.1190	8.80
	Piedra	0.3468	884.45	2.3073	888.34	2.3174	9.62
Asentamiento = 4"							
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	223.35	0.6312	2.43
	Arena	0.3058	804.29	2.2730	824.00	2.3287	8.95
	Piedra	0.3519	897.22	2.5356	901.17	2.5468	9.79
Asentamiento = 4"							
0.70	Cemento	0.1043	328.57	1.0000	328.57	1.0000	3.57
	Agua	0.2300	230.00	0.7000	223.27	0.6795	2.43
	Arena	0.3095	814.11	2.4777	834.05	2.5384	9.07
	Piedra	0.3561	908.17	2.7640	912.17	2.7762	9.92
Asentamiento = 4"							

DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO CON ADITIVO CHEMAMENT 440

1) Información básica para el diseño de concreto

Cemento Portland

- Tipo : I Marca "Sol"
- Peso específico : $3.15 \text{ gr/cm}^3 = 3150 \text{ kg/m}^3$

Agregado fino

- Porcentaje de combinación : 46.50%
- Peso específico de masa : $2.63 \text{ gr/cm}^3 = 2630 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 1.11%
- Contenido de humedad : 2.45%

Agregado grueso

- Porcentaje de combinación : 53.50%
- Peso específico de masa : $2.55 \text{ gr/cm}^3 = 22553 \text{ kg/m}^3$
- Porcentaje de absorción : 0.89%
- Contenido de humedad : 0.44%
- Tamaño nominal máximo : 1"

Agua

- Agua patrón : 230 lt/m^3 de concreto

Aditivo Superplastificante

- Tipo : Superplastificante Marca "Chema"
- Dosificación : 0.60%, 0.65% y 0.70 del peso de cemento

2) Diseño de mezcla para la relación a/c = 0.65, con aditivo 0.50%.

Este diseño se obtiene a partir del concreto patrón, con la adición del aditivo Chemament 440 con 0.50% del peso de cemento, ocasionando la reducción del agua que mediante pruebas en el laboratorio se determinara la cantidad de agua reducida.

- Usamos el agua igual a 230 litros por m³.

$$\frac{a}{c} = \frac{230 \text{ k}}{c_e} = 0.65$$

$$C_i = 353.85 \text{ k}$$

- Calculamos la cantidad de aditivo que equivale por metro cúbico de mezcla de concreto.

$$D_{da} = 1.2 \text{ k / l}$$

$$W_a = 0.50\% * W_{ce} = 0.50\% * 380 = 1.90 \frac{\text{k}}{\text{m}^3} \text{ da}$$

$$V_i \text{ da} = \frac{0.50\% * W_{ce}}{1.2 \frac{\text{k}}{\text{l}}} = 0.00158 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}$$

Posteriormente mediante las pruebas en el laboratorio se determina la reducción de agua para esta dosificación con el objetivo de mantener el asentamiento del concreto en el rango de 3.5" – 4.5". Como resultado de las pruebas, se obtuvo una reducción del 10.24% respecto del concreto patrón.

3) Cuadro de resultados

En el cuadro B.6 se muestra el resumen de todos los resultados obtenidos del diseño de concreto con aditivo en las dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso de cemento para las relación agua/cemento=0.60, 0.65 y 0.70.

CUADRO B.6 Diseño de mezcla con aditivo Chemament, para la relación a/c=0.60.

a/c	Material	Volumen absoluto (m3)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (25 kg)
0.6	Cemento	0.1217	383.33	1.0000	383.33	1.0000	4.15
	Agua	0.2300	230.00	0.6000	223.44	0.5829	2.42
	Arena	0.3015	792.85	2.0683	812.27	2.1190	8.80
	Piedra	0.3468	884.45	2.3073	888.34	2.3174	9.62
Asentamiento = 4"							
0.6	Cemento	0.1217	383.33	1.0000	383.33	1.0000	4.27
	Agua	0.2300	168.93	0.4407	162.39	0.4236	1.81
	Arena	0.3007	790.96	2.0634	810.34	2.1139	9.03
	Piedra	0.3460	882.34	2.3018	886.23	2.3119	9.87
	Aditivo	0.0015	1.92	0.0050	1.92	0.0050	0.02
	Aditivo = 0.5 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m3				Reducción de agua = 21.70 lt/m3 (9.43%)			
0.6	Cemento	0.1217	383.33	1.0000	383.33	1.0000	4.27
	Agua	0.2300	168.93	0.4407	162.41	0.4237	1.81
	Arena	0.3000	789.07	2.0584	808.40	2.1089	9.01
	Piedra	0.3452	880.24	2.2963	884.11	2.3064	9.86
	Aditivo	0.0031	3.83	0.0100	3.83	0.0100	0.04
	Aditivo = 1.0 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m3				Reducción de agua = 43.57 lt/m3 (18.94%)			
0.6	Cemento	0.1217	383.33	1.0000	383.33	1.0000	4.28
	Agua	0.2300	168.93	0.4407	162.42	0.4237	1.81
	Arena	0.2993	787.18	2.0535	806.46	2.1038	9.00
	Piedra	0.3444	878.13	2.2908	881.99	2.3008	9.84
	Aditivo	0.0046	5.75	0.0150	5.75	0.0150	0.06
	Aditivo = 1.5 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m3				Reducción de agua = 61.07 lt/m3 (26.55%)			

CUADRO B.7 Diseño de mezcla con aditivo Chemament, para la relación a/c=0.65.

a/c	Material	Volumen absoluto (m ³)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño lab (25 kg)
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.84
	Agua	0.2300	230.00	0.6500	223.35	0.6312	2.43
	Arena	0.3058	804.29	2.2730	824.00	2.3287	8.95
	Piedra	0.3519	897.22	2.5356	901.17	2.5468	9.79
Asentamiento = 4"							
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.95
	Agua	0.2300	168.93	0.4774	162.29	0.4587	1.81
	Arena	0.3052	802.55	2.2681	822.21	2.3236	9.18
	Piedra	0.3511	895.28	2.5301	899.22	2.5413	10.04
	Aditivo	0.0014	1.77	0.0050	1.77	0.0050	0.02
	Aditivo = 0.5 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m ³				Reducción de agua = 23.56 lt/m ³ (10.24%)			
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.95
	Agua	0.2300	168.93	0.4774	162.31	0.4587	1.81
	Arena	0.3045	800.81	2.2631	820.42	2.3186	9.17
	Piedra	0.3503	893.33	2.5246	897.26	2.5357	10.03
	Aditivo	0.0029	3.54	0.0100	3.54	0.0100	0.04
	Aditivo = 1.0 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m ³				Reducción de agua = 45.09 lt/m ³ (19.60%)			
0.65	Cemento	0.1123	353.85	1.0000	353.85	1.0000	3.96
	Agua	0.2300	168.93	0.4774	162.32	0.4587	1.82
	Arena	0.3038	799.06	2.2582	818.64	2.3135	9.16
	Piedra	0.3496	891.38	2.5191	895.31	2.5302	10.01
	Aditivo	0.0043	5.31	0.0150	5.31	0.0150	0.06
	Aditivo = 1.5 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m ³				Reducción de agua = 63.23 lt/m ³ (27.49%)			

CUADRO B.8 Diseño de mezcla con aditivo Chemament, para la relación a/c=0.70.

a/c	Material	Volumen absoluto (m3)	D.S. (kg)	D.U.S.	D.O. (kg)	D.U.O.	Diseño lab (25 kg)
0.7	Cemento	0.1043	328.57	1.0000	328.57	1.0000	3.57
	Agua	0.2300	230.00	0.7000	223.27	0.6795	2.43
	Arena	0.3095	814.11	2.4777	834.05	2.5384	9.07
	Piedra	0.3561	908.17	2.7640	912.17	2.7762	9.92
Asentamiento = 4"							
0.7	Cemento	0.1043	328.57	1.0000	328.57	1.0000	3.68
	Agua	0.2300	168.93	0.5141	162.21	0.4937	1.81
	Arena	0.3089	812.49	2.4728	832.39	2.5334	9.31
	Piedra	0.3554	906.36	2.7585	910.35	2.7706	10.18
	Aditivo	0.0013	1.64	0.0050	1.64	0.0050	0.02
	Aditivo = 0.5 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m3				Reducción de agua = 25.50 lt/m3 (11.09%)			
0.7	Cemento	0.1043	328.57	1.0000	328.57	1.0000	3.68
	Agua	0.2300	168.93	0.5141	162.23	0.4937	1.82
	Arena	0.3083	810.87	2.4679	830.73	2.5283	9.30
	Piedra	0.3547	904.55	2.7530	908.53	2.7651	10.17
	Aditivo	0.0026	3.29	0.0100	3.29	0.0100	0.04
	Aditivo = 1.0 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m3				Reducción de agua = 47.28 lt/m3 (20.56%)			
0.7	Cemento	0.1043	328.57	1.0000	328.57	1.0000	3.68
	Agua	0.2300	168.93	0.5141	162.24	0.4938	1.82
	Arena	0.3077	809.25	2.4629	829.07	2.5233	9.29
	Piedra	0.3540	902.75	2.7475	906.72	2.7596	10.16
	Aditivo	0.0040	4.93	0.0150	4.93	0.0150	0.06
	Aditivo = 1.5 % peso de cemento				Asentamiento = 4.0"		
Agua inicial = 230 lt/m3				Reducción de agua = 65.69 lt/m3 (28.56%)			

Consistencia:

CUADRO C.1 Resultados del ensayo de asentamiento.

Relación a/c	Asentamiento del concreto (pulg.)			
	Concreto patrón	0.50% aditivo	1.00% aditivo	1.50% aditivo
0.60	4.0	4.0	3.8	3.9
0.65	4.0	4.1	3.8	4.0
0.70	4.0	4.0	3.8	3.9
Asentamiento: 3.5"-4.5"				

Peso unitario:

CUADRO C.2 Datos y resultados del ensayo de peso unitario.

Diseño de mezcla		Peso total (kg) muestra + balde	Peso del balde (kg)	Peso de la muestra (kg)	Peso unitario (kg/m ³)
a/c	Aditivo				
0.60	0.00%	25.71	4.96	20.75	2198.34
	0.50%	26.61	4.96	21.65	2293.69
	1.00%	26.90	4.96	21.94	2324.41
	1.50%	27.27	4.96	22.31	2363.61
0.65	0.00%	25.83	4.96	20.87	2211.05
	0.50%	26.32	4.96	21.36	2262.96
	1.00%	26.70	4.96	21.74	2303.22
	1.50%	27.20	4.96	22.24	2356.19
0.70	0.00%	25.62	4.96	20.66	2188.80
	0.50%	26.73	4.96	21.77	2306.40
	1.00%	27.01	4.96	22.05	2336.07
	1.50%	27.22	4.96	22.26	2358.31
Volumen del recipiente o balde = 0.0094 m³					

Fluidez:

CUADRO C.3 Datos y resultados del ensayo de peso fluidez.

Diseño de mezcla		D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dprom (cm)	Fluidez (%)
a/c	Aditivo						
0.60	0.00%	16.5	16.6	16.8	16.8	42.4	69.42
	0.50%	16.6	16.5	16.7	17.0	42.4	69.67
	1.00%	15.5	16.0	16.1	15.8	40.3	61.04
	1.50%	16.0	16.2	16.1	16.3	41.0	64.08
0.65	0.00%	17.0	16.8	16.5	16.6	42.5	69.93
	0.50%	17.0	17.2	17.1	17.0	43.4	73.48
	1.00%	15.9	16.0	16.0	16.1	40.6	62.56
	1.50%	16.7	16.8	16.5	16.4	42.2	68.66
0.70	0.00%	16.5	16.7	16.7	16.5	42.2	68.66
	0.50%	16.6	16.7	16.9	16.9	42.6	70.43
	1.00%	16.0	16.3	16.4	15.8	41.0	63.83
	1.50%	16.5	16.7	16.4	16.5	42.0	67.89

Contenido de aire:

CUADRO C.4 Resultados del ensayo de contenido de aire.

Diseño de mezcla		Contenido de aire (%)
a/c	Aditivo	
0.60	0.00%	4.03
	0.50%	1.01
	1.00%	0.88
	1.50%	0.18
0.65	0.00%	3.25
	0.50%	2.22
	1.00%	1.66
	1.50%	0.41
0.70	0.00%	4.04
	0.50%	0.27
	1.00%	0.20
	1.50%	0.29

Exudación:**CUADRO C.5** Resultados del ensayo de contenido de aire.

Diseño de mezcla		Cant. de agua (ml)	Masa neta de agua (W)	Masa total (M)	Masa de la muestra (S)	Exudación (%)
a/c	Aditivo					
0.60	0.00%	21.9	2.42	25.00	23.47	0.96
	0.50%	14.9	2.21	25.00	24.30	0.69
	1.00%	2.7	1.99	25.00	24.56	0.14
	1.50%	0.2	1.81	25.00	24.90	0.01
0.65	0.00%	14.1	2.43	25.00	23.58	0.62
	0.50%	8.9	2.19	25.00	24.03	0.42
	1.00%	2	1.98	25.00	24.38	0.10
	1.50%	0	1.79	25.00	24.83	0.00
0.70	0.00%	17.5	2.43	25.00	23.39	0.77
	0.50%	6.1	2.18	25.00	24.41	0.29
	1.00%	1.2	1.96	25.00	24.66	0.06
	1.50%	0	1.77	25.00	24.85	0.00

Tiempo de fragua:

1. Para la relación a/c = 0.60:

1.1 Tiempo de fraguado del concreto patrón

CUADRO C.6 Resultados del ensayo de tiempo de fragua para el concreto patrón a/c=0.60.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
12:40	Inicio			
15:50	03:10	54	0.250	216
16:33	03:53	183	0.250	732
17:04	04:24	178	0.100	1780
17:33	04:53	172	0.050	3440
17:53	05:13	190	0.025	7600

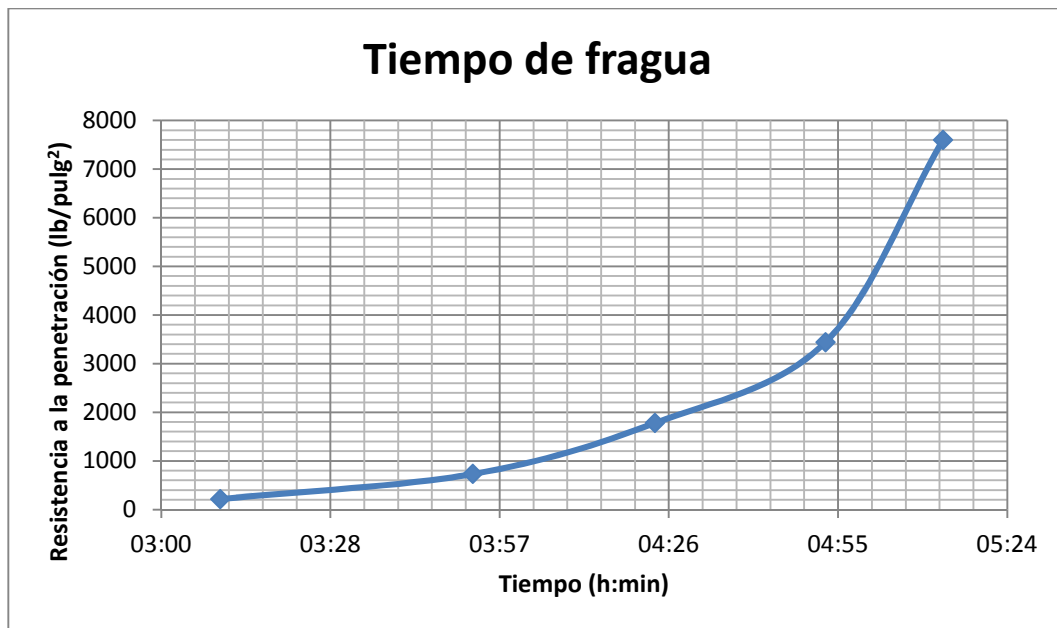


GRÁFICO C.1 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto patrón a/c=0.60.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **03h: 25min**

Tiempo de fraguado final = **04h: 55min**

1.2 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 0.5% aditivo.

CUADRO C.7 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.60 + 0.5% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
11:18				
15:15	03:57	120	1	120
15:45	04:27	125	0.5	250
16:15	04:57	160	0.25	640
16:45	05:27	150	0.1	1500
17:15	05:57	125	0.05	2500
17:45	06:27	110	0.025	4400

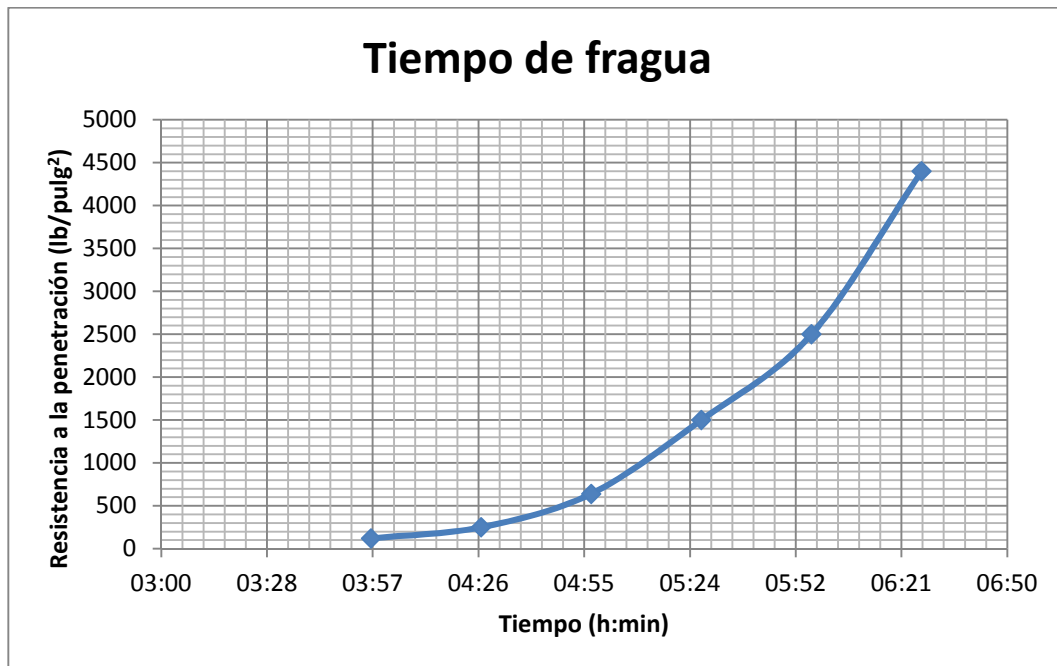


GRÁFICO C.2 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.60 + 0.5% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **04h: 38min**

Tiempo de fraguado final = **06h: 20min**

1.3 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 1.0% aditivo.

CUADRO C.8 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.60 + 1.0% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
10:20				
14:20	04:00	70	1	70
14:50	04:30	140	0.5	280
15:20	05:00	180	0.25	720
15:50	05:30	134	0.1	1340
16:20	06:00	120	0.05	2400
16:50	06:30	102	0.025	4080

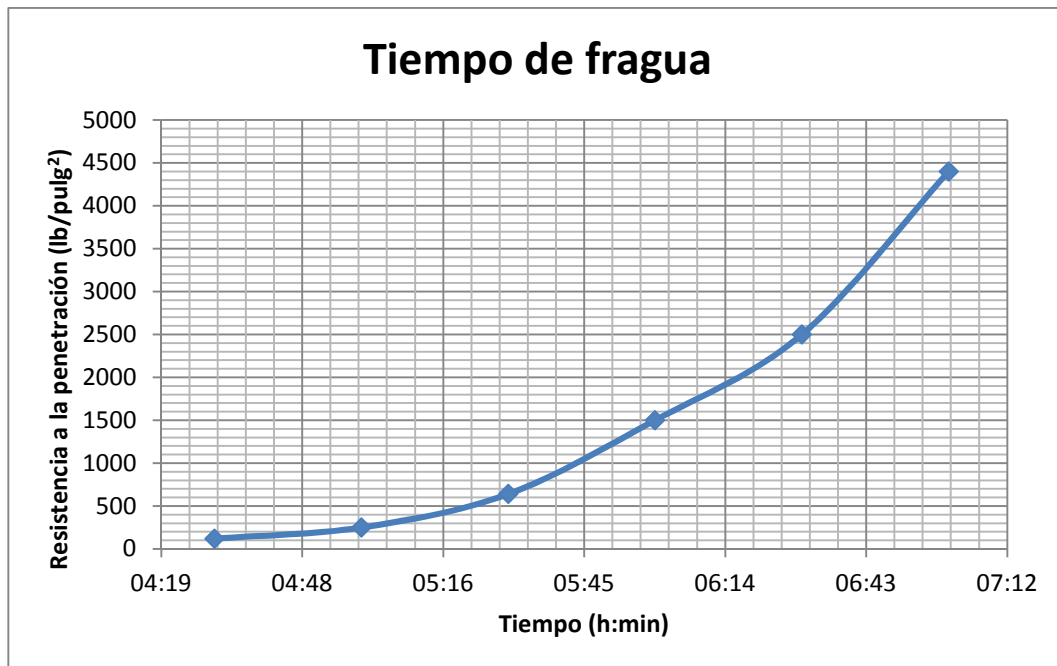


GRÁFICO C.3 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.60 + 1.0% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **05h: 11min**

Tiempo de fraguado final = **06h: 53min**

1.3 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 1.5% aditivo.

CUADRO C.9 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.60 + 1.5% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
10:25				
14:32	04:07	100	1	100
15:15	04:50	150	0.5	300
16:00	05:35	107	0.25	428
16:45	06:20	115	0.1	1150
17:25	07:00	155	0.05	3100
18:11	07:46	145	0.025	5800

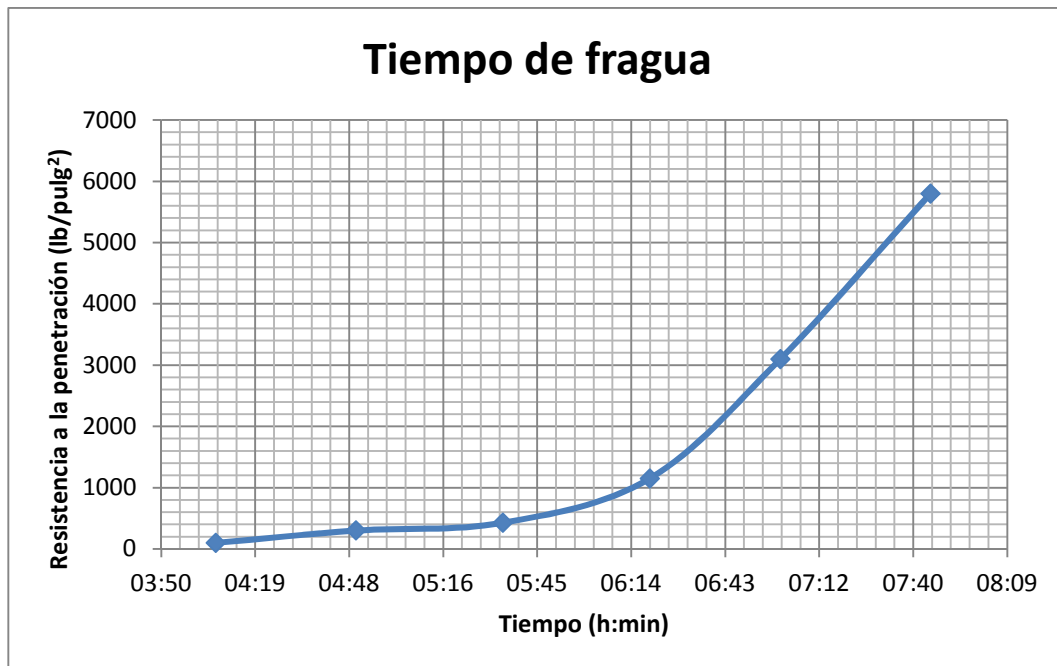


GRÁFICO C.4 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.60 + 1.5% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **05h: 25min**

Tiempo de fraguado final = **07h: 15min**

2. Para la relación a/c = 0.65:

2.1 Tiempo de fraguado del concreto patrón.

CUADRO C.10 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.65.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
11:15				
14:26	03:11	72	0.5	144
15:03	03:48	104	0.25	416
15:30	04:15	150	0.25	600
15:56	04:41	85	0.1	850
16:26	05:11	66	0.05	1320
17:00	05:45	90	0.025	3600
17:26	06:11	150	0.025	6000

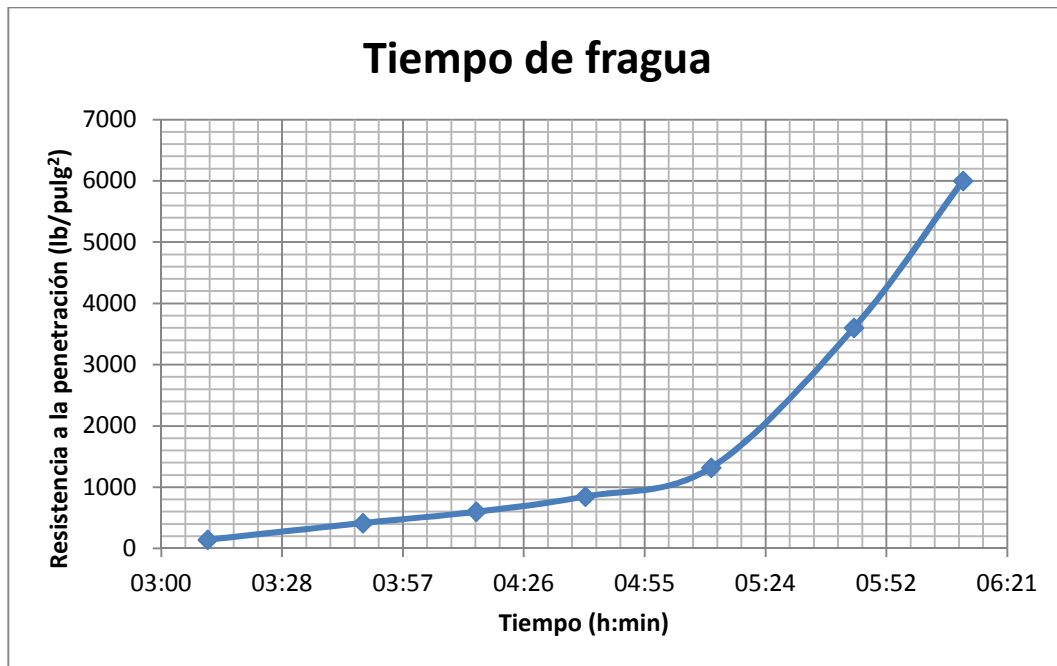


GRÁFICO C.5 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.65.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **03h: 45min**

Tiempo de fraguado final = **05h: 49min**

2.2 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 0.5% aditivo.

CUADRO C.11 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.65 + 0.5% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
10:45				
14:15	03:30	88	1	88
14:45	04:00	124	0.5	248
15:15	04:30	145	0.25	580
15:45	05:00	134	0.1	1340
16:15	05:30	122	0.05	2440
16:45	06:00	106	0.025	4240

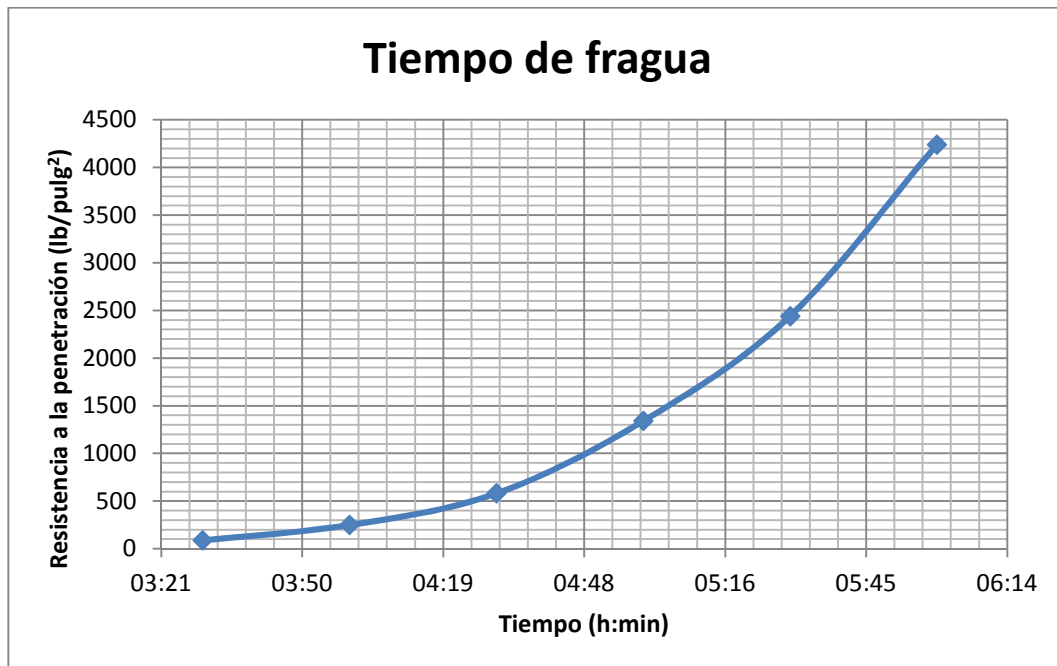


GRÁFICO C.6 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.65 + 0.5% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **04h: 13min**

Tiempo de fraguado final = **05h: 56min**

2.3 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 1.0% aditivo.

CUADRO C.12 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.65 + 1.0% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
10:20				
14:20	04:00	70	1	70
14:50	04:30	140	0.5	280
15:20	05:00	180	0.25	720
15:50	05:30	134	0.1	1340
16:20	06:00	120	0.05	2400
16:50	06:30	102	0.025	4080

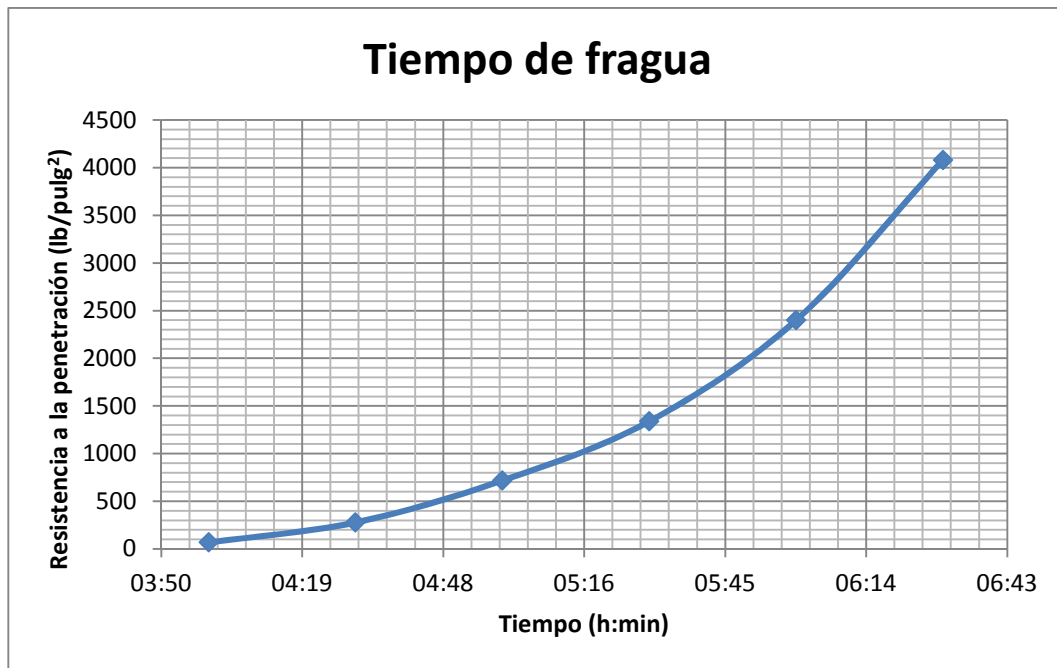


GRÁFICO C.7 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.65 + 1.0% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **04h: 38min**

Tiempo de fraguado final = **06h: 28min**

2.4 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 1.5% aditivo.

CUADRO C.13 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.65 + 1.5% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
09:30				
15:00	05:30	180	1	180
15:30	06:00	190	0.5	380
16:00	06:30	200	0.25	800
16:30	07:00	178	0.1	1780
17:00	07:30	190	0.05	3800
17:30	08:00	150	0.025	6000

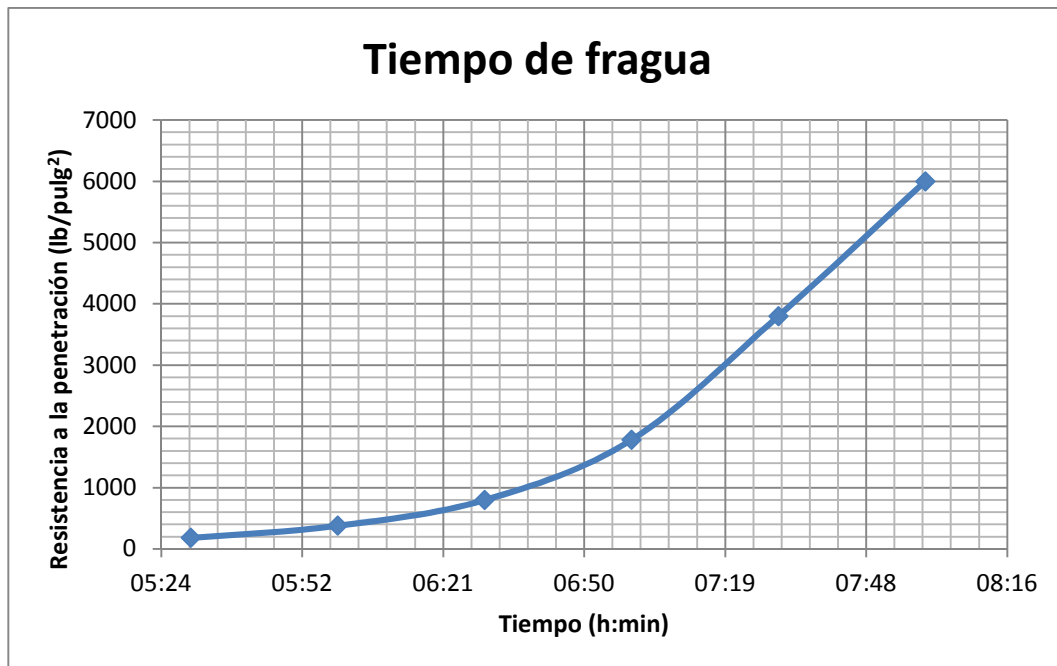


GRÁFICO C.8 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.65 + 1.5% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **06h: 01min**

Tiempo de fraguado final = **07h: 32min**

3. Para la relación a/c = 0.70:

3.1 Tiempo de fraguado del concreto patrón.

CUADRO C.14 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.70.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
11:05				
14:11	03:06	53	0.5	106
14:41	03:36	52	0.25	208
15:11	04:06	175	0.25	700
15:48	04:43	152	0.1	1520
16:11	05:06	100	0.05	2000
16:48	05:43	70	0.025	2800
17:15	06:10	140	0.025	5600

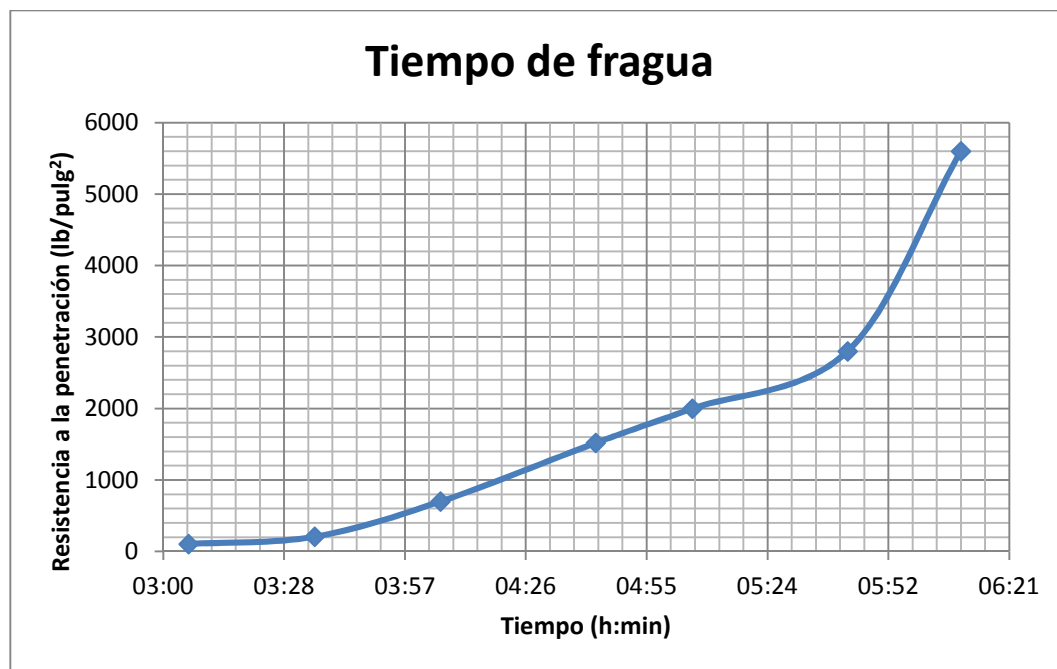


GRÁFICO C.9 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.70.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **03h: 47min**

Tiempo de fraguado final = **05h: 54min**

3.2 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 0.5% aditivo.

CUADRO C.15 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.70 + 0.5% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
11:56				
16:06	04:10	130	0.5	260
16:36	04:40	78	0.25	312
17:06	05:10	70	0.1	700
17:36	05:40	70	0.05	1400
18:06	06:10	63	0.025	2520
18:36	06:40	93	0.025	3720
19:06	07:10	120	0.025	4800

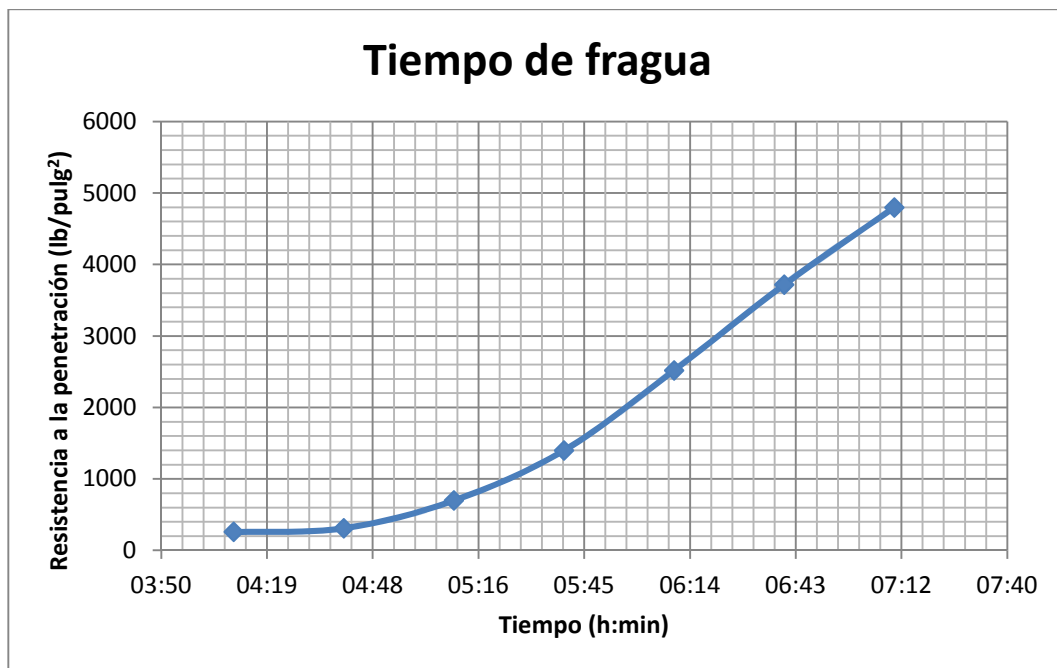


GRÁFICO C.10 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.70 + 0.5% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **04h: 46min**

Tiempo de fraguado final = **06h: 53min**

3.3 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 1.0% aditivo.

CUADRO C.16 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.70 + 1.0% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
11:35				
15:40	04:05	120	1	120
16:50	05:15	105	0.5	210
17:07	05:32	115	0.25	460
17:32	05:57	100	0.1	1000
18:10	06:35	130	0.05	2600
18:50	07:15	105	0.025	4200

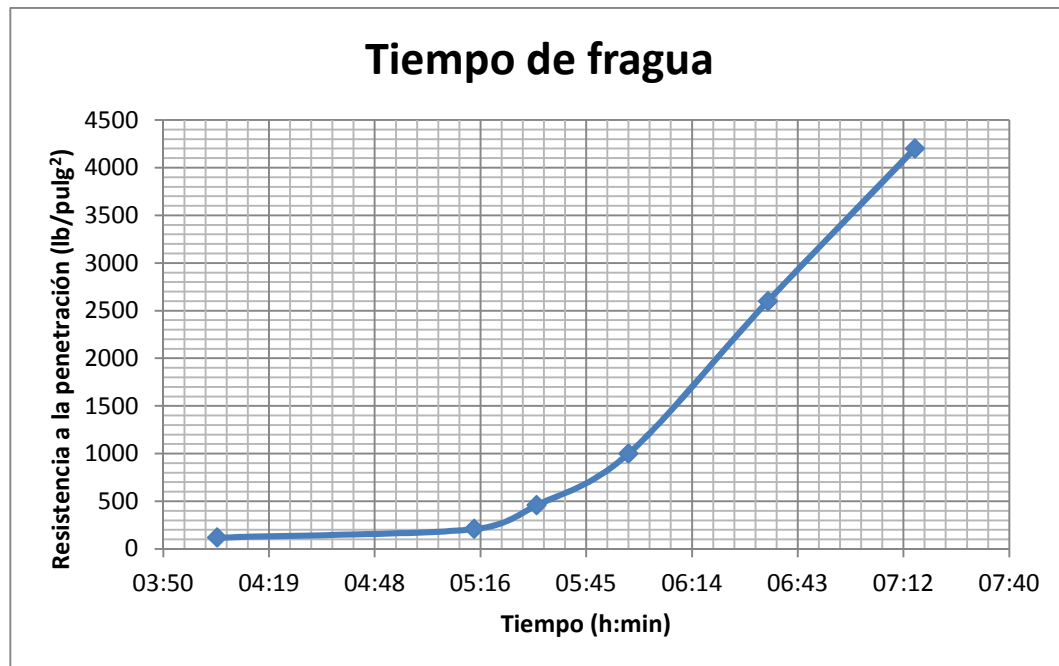


GRÁFICO C.11 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.70 + 1.0% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **05h: 27min**

Tiempo de fraguado final = **07h: 10min**

3.4 Tiempo de fraguado del concreto patrón + 1.5% aditivo.

CUADRO C.17 Resultados del ensayo de tiempo de fragua, para el concreto a/c=0.70 + 1.5% aditivo.

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg ²)	Resistencia (lb/pulg ²)
10:30				
15:30	05:00	105	1	105
16:00	05:30	120	0.5	240
16:30	06:00	108	0.25	432
17:00	06:30	105	0.1	1050
17:30	07:00	145	0.05	2900
18:00	07:30	98	0.025	3920

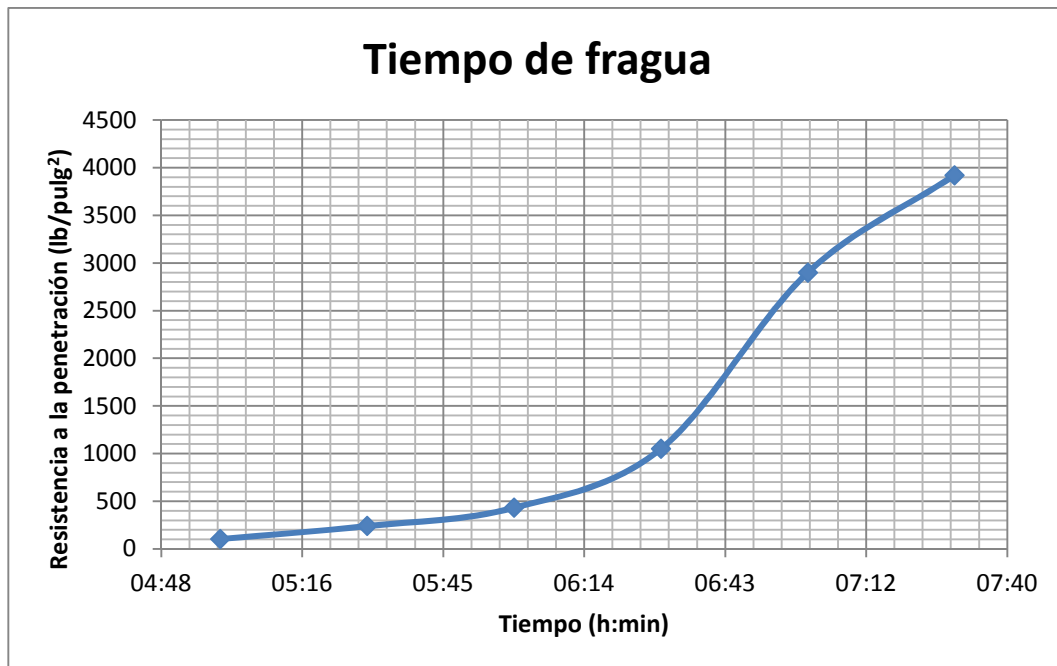


GRÁFICO C.12 Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua, para concreto a/c=0.70 + 1.5% aditivo.

Del gráfico se tiene:

Tiempo de fraguado inicial = **05h: 55min**

Tiempo de fraguado final = **07h: 32min**

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

1. Resistencia a la compresión del concreto patrón, para $a/c=0.60$.

CUADRO D.1 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para $a/c=0.60$.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	16201.2	10.11	10.10	80.20	202.02	201.81
	15845.5	10.10	10.09	80.04	197.97	
	16509.4	10.11	10.12	80.36	205.45	
14	18392.2	10.17	10.15	81.07	226.86	231.64
	18785.5	10.11	10.17	80.75	232.63	
	19087.4	10.16	10.16	81.07	235.43	
28	23309.8	10.07	10.08	79.72	292.39	279.42
	21407.5	10.28	10.23	82.60	259.18	
	22814.2	10.09	10.06	79.72	286.17	
	23173.6	10.08	10.07	79.72	290.68	
	22648.3	10.19	10.22	81.79	276.90	
	21966.4	10.11	10.08	80.04	274.45	
	22056.2	10.15	10.12	80.67	273.40	
	22533.7	10.06	10.08	79.64	282.93	
	21711.0	10.07	10.09	79.80	272.06	
	22107.8	10.26	10.24	82.52	267.92	
	21835.2	10.08	10.11	80.04	272.81	
	21946.6	10.22	10.18	81.71	268.58	
	21481.7	10.15	10.20	81.31	264.19	
	21589.1	10.16	10.23	81.63	264.47	
	23222.9	10.20	10.24	82.03	283.09	
	22829.8	10.23	10.23	82.19	277.75	
23595.5	10.08	10.06	79.64	296.27		
23695.1	10.24	10.22	82.19	288.28		
24515.0	10.12	10.10	80.28	305.38		
24432.0	10.33	10.33	83.81	291.52		

2. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.60 con 0.5% aditivo

CUADRO D.2 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.60 + 0.5% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	26025.3	10.08	10.08	79.80	326.12	332.44
	27145.9	10.06	10.08	79.64	340.84	
	26258.3	10.06	10.06	79.49	330.35	
14	27395.0	10.08	10.10	79.96	342.61	348.66
	28574.6	10.09	10.09	79.96	357.36	
	27640.3	10.08	10.09	79.88	346.02	
28	29273.1	10.10	10.10	80.12	365.37	352.63
	27390.3	10.10	10.10	80.12	341.87	
	29571.0	10.09	10.09	79.96	369.82	
	28552.2	10.08	10.09	79.88	357.44	
	28170.6	10.10	10.09	80.04	351.96	
	29093.7	10.10	10.12	80.28	362.42	
	28910.5	10.09	10.08	79.88	361.92	
	27820.5	10.11	10.11	80.28	346.56	
	23652.4	10.11	10.10	80.20	294.93	
	28893.7	10.11	10.11	80.28	359.92	
	26641.4	10.09	10.10	80.04	332.85	
	26954.6	10.09	10.08	79.88	337.44	
	28095.5	10.08	10.08	79.80	352.07	
	29330.2	10.12	10.11	80.36	365.00	
	30051.5	10.10	10.11	80.20	374.72	
	29618.1	10.09	10.10	80.04	370.05	
	27329.5	10.11	10.10	80.20	340.78	
29098.0	10.10	10.10	80.12	363.19		
27256.4	10.10	10.09	80.04	340.54		
29122.2	10.09	10.10	80.04	363.85		

3. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.60 con 1.0% aditivo

CUADRO D.3 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.60 + 1.0% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	30694.6	10.11	10.10	80.20	382.74	382.12
	30398.5	10.08	10.09	79.88	380.55	
	30691.5	10.10	10.10	80.12	383.08	
14	33334.0	10.11	10.11	80.28	415.24	413.08
	32514.4	10.09	10.12	80.20	405.43	
	33436.0	10.08	10.09	79.88	418.57	
28	38328.7	10.09	10.09	79.96	479.35	481.15
	36204.9	10.11	10.10	80.20	451.44	
	39474.3	10.08	10.08	79.80	494.66	
	35347.7	10.12	10.09	80.20	440.76	
	38225.6	10.11	10.11	80.28	476.17	
	38352.3	10.11	10.11	80.28	477.75	
	39222.6	10.08	10.08	79.80	491.50	
	39888.1	10.10	10.08	79.96	498.85	
	38655.9	10.10	10.11	80.20	482.01	
	38933.0	10.11	10.12	80.36	484.50	
	39338.2	10.11	10.11	80.28	490.03	
	36059.2	10.10	10.10	80.12	450.07	
	37118.8	10.12	10.11	80.36	461.93	
	38565.0	10.11	10.12	80.36	479.92	
	39972.9	10.08	10.08	79.80	500.90	
	39895.1	10.10	10.10	80.12	497.95	
	37537.3	10.08	10.08	79.80	470.38	
39832.6	10.09	10.10	80.04	497.66		
39077.2	10.11	10.10	80.20	487.26		
40852.6	10.10	10.10	80.12	509.90		

4. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.60 con 1.5% aditivo

CUADRO D.4 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.60 + 1.5% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	35760.1	10.11	10.11	80.28	445.46	442.56
	35762.0	10.11	10.11	80.28	445.48	
	35198.7	10.12	10.14	80.60	436.73	
14	35708.1	10.10	10.08	79.96	446.58	446.90
	36472.9	10.11	10.10	80.20	454.79	
	35129.6	10.08	10.10	79.96	439.34	
28	42166.0	10.08	10.08	79.80	528.39	500.60
	38336.6	10.11	10.10	80.20	478.03	
	37402.0	10.12	10.12	80.44	464.99	
	34303.8	10.10	10.10	80.12	428.16	
	38595.9	10.09	10.10	80.04	482.21	
	39669.2	10.11	10.10	80.20	494.64	
	35475.6	10.12	10.11	80.36	441.48	
	40929.7	10.10	10.10	80.12	510.86	
	39734.7	10.09	10.08	79.88	497.43	
	41533.9	10.11	10.12	80.36	516.87	
	43095.2	10.11	10.10	80.20	537.36	
	40667.3	10.11	10.09	80.12	507.59	
	40862.9	10.08	10.10	79.96	511.04	
	41136.2	10.10	10.11	80.20	512.93	
	41497.7	10.09	10.11	80.12	517.95	
	40033.9	10.11	10.10	80.20	499.19	
	42334.3	10.11	10.10	80.20	527.87	
39608.0	10.11	10.10	80.20	493.88		
43139.0	10.10	10.09	80.04	538.97		
41669.2	10.08	10.08	79.80	522.16		

5. Resistencia a la compresión del concreto patrón, para a/c=0.65.

CUADRO D.5 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.65.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	14566.2	10.11	10.10	80.20	181.63	181.03
	13867.4	10.10	10.09	80.04	173.26	
	15123.2	10.11	10.12	80.36	188.20	
14	16733.0	10.19	10.07	80.60	207.62	221.86
	18442.5	10.17	10.10	80.67	228.60	
	18889.1	10.34	10.14	82.35	229.36	
28	23647.0	10.29	10.23	82.68	286.02	256.37
	20899.0	10.11	10.11	80.28	260.34	
	22970.0	10.29	10.23	82.68	277.83	
	24800.0	10.24	10.19	81.95	302.61	
	24729.0	10.11	10.10	80.20	308.35	
	19959.0	10.10	10.09	80.04	249.37	
	22205.0	10.11	10.12	80.36	276.33	
	21573.0	10.16	10.16	81.07	266.09	
	24522.0	10.19	10.16	81.31	301.58	
	24227.0	10.30	10.27	83.08	291.61	
	21573.0	10.16	10.16	81.07	266.09	
	23647.0	10.29	10.23	82.68	286.02	
	20899.0	10.11	10.11	80.28	260.34	
	24522.0	10.19	10.16	81.31	301.58	
	19959.0	10.10	10.09	80.04	249.37	
	24729.0	10.11	10.10	80.20	308.35	
	24800.0	10.24	10.19	81.95	302.61	
	24227.0	10.30	10.27	83.08	291.61	
22205.0	10.11	10.12	80.36	276.33		
22970.0	10.29	10.23	82.68	277.83		

6. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.65 con 0.5% aditivo

CUADRO D.6 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.65 + 0.5% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	26023.0	10.17	10.18	81.31	320.04	319.16
	26073.0	10.12	10.13	80.52	323.83	
	25252.0	10.12	10.13	80.52	313.63	
14	25644.3	10.05	10.05	79.33	323.27	328.57
	25645.3	10.07	10.06	79.56	322.32	
	27035.0	10.06	10.06	79.49	340.13	
28	27250.7	10.11	10.11	80.28	339.46	344.82
	25242.5	10.10	10.10	80.12	315.06	
	26691.1	10.10	10.09	80.04	333.48	
	27758.2	10.10	10.09	80.04	346.81	
	28804.8	10.10	10.11	80.20	359.17	
	26361.8	10.09	10.09	79.96	329.69	
	25714.5	10.10	10.09	80.04	321.27	
	25664.6	10.10	10.08	79.96	320.97	
	29034.9	10.10	10.10	80.12	362.40	
	27342.4	10.12	10.11	80.36	340.26	
	27006.6	10.11	10.10	80.20	336.75	
	26163.4	10.12	10.12	80.44	325.27	
	32853.8	10.10	10.11	80.20	409.66	
	27646.9	10.11	10.10	80.20	344.73	
	28178.0	10.09	10.09	79.96	352.40	
	25836.8	10.10	10.10	80.12	322.48	
	30641.3	10.09	10.08	79.88	383.59	
28146.9	10.11	10.10	80.20	350.97		
27946.0	10.10	10.09	80.04	349.15		
28183.0	10.09	10.08	79.88	352.81		

7. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.65 con 1.0% aditivo

CUADRO D.7 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.65 + 1.0% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1(cm)	Diámetro 2(cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	27234.3	10.08	10.09	79.88	340.94	347.78
	28691.8	10.11	10.10	80.20	357.76	
	27502.9	10.08	10.08	79.80	344.64	
14	27264.9	10.09	10.10	80.04	340.64	353.05
	28056.8	10.10	10.11	80.20	349.84	
	29596.0	10.12	10.10	80.28	368.67	
28	32576.4	10.11	10.10	80.20	406.20	398.85
	31602.0	10.13	10.13	80.60	392.11	
	31338.1	10.10	10.09	80.04	391.53	
	31369.4	10.10	10.10	80.12	391.54	
	30871.3	10.09	10.08	79.88	386.47	
	31029.2	10.10	10.10	80.12	387.29	
	31130.7	10.11	10.12	80.36	387.41	
	30686.5	10.08	10.09	79.88	384.15	
	34371.7	10.12	10.11	80.36	427.74	
	30605.7	10.10	10.11	80.20	381.63	
	33953.9	10.10	10.10	80.12	423.80	
	33246.8	10.10	10.09	80.04	415.38	
	32777.3	10.10	10.10	80.12	409.11	
	34281.5	10.10	10.09	80.04	428.31	
	27382.3	10.08	10.09	79.88	342.79	
	32615.7	10.11	10.11	80.28	406.29	
	33293.7	10.12	10.10	80.28	414.73	
30141.8	10.08	10.09	79.88	377.34		
32234.8	10.10	10.10	80.12	402.34		
33851.6	10.12	10.12	80.44	420.85		

8. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.65 con 1.5% aditivo

CUADRO D.8 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.65 + 1.5% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	32105.4	10.06	10.07	79.56	403.52	396.80
	31738.9	10.11	10.12	80.36	394.98	
	31492.8	10.11	10.12	80.36	391.91	
14	34567.8	10.09	10.10	80.04	431.89	424.77
	33256.8	10.10	10.10	80.12	415.10	
	34236.5	10.10	10.10	80.12	427.32	
28	37864.9	10.08	10.10	79.96	473.55	476.45
	36649.8	10.10	10.11	80.20	456.99	
	38944.2	10.10	10.10	80.12	486.08	
	38474.9	10.08	10.11	80.04	480.70	
	37762.7	10.10	10.12	80.28	470.40	
	39931.4	10.11	10.11	80.28	497.42	
	37756.7	10.11	10.15	80.60	468.47	
	39148.5	10.10	10.10	80.12	488.63	
	37126.8	10.12	10.08	80.12	463.40	
	37994.0	10.10	10.11	80.20	473.75	
	40635.1	10.12	10.13	80.52	504.69	
	37449.6	10.09	10.09	79.96	468.35	
	39829.9	10.12	10.10	80.28	496.15	
	38771.7	10.09	10.08	79.88	485.37	
	37123.5	10.08	10.08	79.80	465.20	
	36550.9	10.10	10.12	80.28	455.31	
	38859.1	10.12	10.11	80.36	483.58	
39444.2	10.08	10.09	79.88	493.79		
36573.5	10.11	10.11	80.28	455.59		
37094.6	10.11	10.12	80.36	461.62		

9. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.70.

CUADRO D.9 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.70.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	14945.1	10.09	10.36	82.11	182.00	168.80
	12675.8	10.24	10.12	81.39	155.74	
	14135.0	10.11	10.55	83.81	168.66	
14	17516.8	10.16	10.14	80.91	216.49	202.21
	16474.4	10.10	10.13	80.36	205.02	
	14920.8	10.12	10.14	80.60	185.13	
28	20190.4	10.15	10.19	81.23	248.55	218.33
	20186.4	10.30	10.31	83.40	242.03	
	16904.2	10.28	10.29	83.08	203.47	
	18410.5	10.30	10.30	83.32	220.95	
	16238.1	10.27	10.30	83.08	195.45	
	16560.3	10.09	10.10	80.04	206.90	
	17878.0	10.29	10.33	83.48	214.15	
	18491.9	10.24	10.31	82.92	223.01	
	17595.2	10.10	10.12	80.28	219.18	
	18127.4	10.34	10.35	84.05	215.67	
	18319.9	10.10	10.09	80.04	228.89	
	16322.2	10.36	10.35	84.22	193.82	
	18734.1	10.24	10.28	82.68	226.59	
	18121.7	10.27	10.33	83.32	217.49	
	18579.0	10.29	10.32	83.40	222.76	
19712.8	10.11	10.10	80.20	245.80		
16995.2	10.34	10.37	84.22	201.81		
16916.5	10.09	10.10	80.04	211.35		
17049.5	10.11	10.12	80.36	212.17		
17739.7	10.22	10.21	81.95	216.46		

10. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.65 con 0.5% aditivo

CUADRO D.10 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.70 + 0.5% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	14945.1	10.09	10.36	82.11	182.00	168.80
	12675.8	10.24	10.12	81.39	155.74	
	14135.0	10.11	10.55	83.81	168.66	
14	17516.8	10.16	10.14	80.91	216.49	202.21
	16474.4	10.10	10.13	80.36	205.02	
	14920.8	10.12	10.14	80.60	185.13	
28	20190.4	10.15	10.19	81.23	248.55	218.33
	20186.4	10.30	10.31	83.40	242.03	
	16904.2	10.28	10.29	83.08	203.47	
	18410.5	10.30	10.30	83.32	220.95	
	16238.1	10.27	10.30	83.08	195.45	
	16560.3	10.09	10.10	80.04	206.90	
	17878.0	10.29	10.33	83.48	214.15	
	18491.9	10.24	10.31	82.92	223.01	
	17595.2	10.10	10.12	80.28	219.18	
	18127.4	10.34	10.35	84.05	215.67	
	18319.9	10.10	10.09	80.04	228.89	
	16322.2	10.36	10.35	84.22	193.82	
	18734.1	10.24	10.28	82.68	226.59	
	18121.7	10.27	10.33	83.32	217.49	
	18579.0	10.29	10.32	83.40	222.76	
	19712.8	10.11	10.10	80.20	245.80	
	16995.2	10.34	10.37	84.22	201.81	
16916.5	10.09	10.10	80.04	211.35		
17049.5	10.11	10.12	80.36	212.17		
17739.7	10.22	10.21	81.95	216.46		

11. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.65 con 1.0% aditivo

CUADRO D.11 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.70 + 1.0% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2(cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	27130.4	10.06	10.07	79.56	340.99	335.08
	27793.4	10.08	10.08	79.80	348.28	
	25091.0	10.05	10.06	79.41	315.98	
14	28025.8	10.09	10.09	79.96	350.50	347.10
	27567.4	10.10	10.12	80.28	343.40	
	27778.6	10.08	10.10	79.96	347.41	
28	29010.7	10.10	10.11	80.20	361.74	363.44
	28953.0	10.10	10.08	79.96	362.09	
	27974.9	10.11	10.11	80.28	348.48	
	28284.2	10.11	10.11	80.28	352.33	
	29267.2	10.10	10.12	80.28	364.58	
	28290.2	10.09	10.08	79.88	354.16	
	27041.7	10.10	10.10	80.12	337.52	
	29491.1	10.12	10.11	80.36	367.00	
	28644.5	10.08	10.10	79.96	358.24	
	29643.7	10.08	10.10	79.96	370.73	
	30343.7	10.11	10.10	80.20	378.36	
	32229.6	10.09	10.10	80.04	402.67	
	29493.0	10.09	10.09	79.96	368.85	
	25850.2	10.12	10.10	80.28	322.01	
	31371.5	10.11	10.10	80.20	391.18	
	29515.5	10.11	10.11	80.28	367.67	
29324.0	10.09	10.08	79.88	367.10		
30967.4	10.10	10.11	80.20	386.14		
27592.5	10.11	10.10	80.20	344.06		
29190.5	10.11	10.10	80.20	363.98		

12. Resistencia a la compresión del concreto, para a/c=0.65 con 1.5% aditivo

CUADRO D.12 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión, para a/c=0.70 + 1.5% aditivo.

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7	30240.9	10.11	10.11	80.28	376.71	385.46
	31653.0	10.12	10.10	80.28	394.30	
	30753.0	10.08	10.08	79.80	385.37	
14	33294.8	10.10	10.09	80.04	415.98	414.23
	33395.9	10.09	10.10	80.04	417.24	
	32806.8	10.10	10.10	80.12	409.48	
28	34622.4	10.09	10.09	79.96	433.00	437.39
	35222.1	10.08	10.09	79.88	440.93	
	36305.7	10.08	10.07	79.72	455.40	
	33979.2	10.10	10.09	80.04	424.53	
	36746.2	10.08	10.09	79.88	460.01	
	36334.9	10.12	10.12	80.44	451.72	
	34675.9	10.10	10.12	80.28	431.95	
	35745.9	10.08	10.10	79.96	447.05	
	35633.3	10.11	10.10	80.20	444.32	
	36341.5	10.11	10.14	80.52	451.36	
	35633.9	10.10	10.09	80.04	445.21	
	29535.3	10.09	10.10	80.04	369.01	
	36037.9	10.10	10.09	80.04	450.25	
	35087.9	10.10	10.08	79.96	438.82	
	36578.4	10.11	10.11	80.28	455.65	
	37725.0	10.11	10.12	80.36	469.47	
	35709.4	10.11	10.11	80.28	444.83	
33786.8	10.10	10.12	80.28	420.88		
34157.4	10.09	10.08	79.88	427.61		
30974.7	10.11	10.11	80.28	385.85		

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

1. Resistencia a la tracción del concreto para la relación a/c=0.60.

CUADRO D.13 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción, para a/c=0.60.

Diseño	Edad (días)	Carga (kg/cm ²)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Patrón	28	7750	10.08	10.12	20.60	23.71	25.01
		8200	10.15	10.19	20.50	25.04	
		8500	10.10	10.09	20.40	26.28	
0.5% aditivo	28	9250	10.10	10.11	20.30	28.71	27.53
		8500	10.09	10.11	20.30	26.39	
		8900	10.11	10.10	20.40	27.49	
1.0% aditivo	28	10200	10.12	10.11	20.30	31.62	30.83
		10050	10.10	10.10	20.30	31.21	
		9550	10.09	10.11	20.30	29.65	
1.5% aditivo	28	12300	10.11	10.11	20.00	38.73	36.83
		11850	10.12	10.12	20.10	37.09	
		11100	10.08	10.09	20.20	34.69	

2. Resistencia a la tracción del concreto para la relación a/c=0.65.

CUADRO D.14 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción, para a/c=0.65.

Diseño	Edad (días)	Carga (kg/cm ²)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Patrón	28	7800	10.09	10.11	20.20	24.34	23.94
		8150	10.11	10.10	20.10	25.54	
		7000	10.11	10.10	20.10	21.94	
0.5% aditivo	28	7750	10.09	10.10	20.20	24.19	25.43
		8070	10.10	10.10	20.15	25.24	
		8650	10.11	10.10	20.30	26.85	
1.0% aditivo	28	9600	10.11	10.09	20.20	29.96	28.81
		9550	10.11	10.10	20.20	29.78	
		8550	10.10	10.10	20.20	26.68	
1.5% aditivo	28	10450	10.10	10.10	20.10	32.77	34.23
		10550	10.09	10.10	20.10	33.10	
		11750	10.11	10.11	20.10	36.81	

3. Resistencia a la tracción del concreto para la relación a/c=0.70.

CUADRO D.15 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción, para a/c=0.70.

Diseño	Edad (días)	Carga (kg/cm ²)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Patrón	28	6900	10.10	10.12	20.30	21.40	
		6550	10.12	10.11	20.20	20.41	
		5850	10.08	10.09	20.20	18.28	20.03
0.5% aditivo	28	6950	10.10	10.10	20.30	21.58	
		6950	10.08	10.09	20.40	21.51	
		7700	10.08	10.08	20.20	24.07	22.39
1.0% aditivo	28	8300	10.11	10.12	20.20	25.86	
		8550	10.12	10.11	20.20	26.64	
		9100	10.11	10.10	20.20	28.38	26.96
1.5% aditivo	28	9400	10.12	10.11	20.10	29.43	
		8150	10.12	10.11	20.20	25.39	
		9050	10.13	10.10	20.20	28.20	27.67

MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO

1. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.60.

CUADRO D.16 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.60.

Carga (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.4	0.3	0.00035	0.00089	10.82	0.03
4000	0.9	0.9	0.00090	0.00229	21.64	0.07
6000	1.4	1.4	0.00140	0.00356	32.46	0.12
8000	1.0	2.0	0.00150	0.00381	43.29	0.12
10000	2.4	2.5	0.00245	0.00622	54.11	0.20
12000	2.9	3.0	0.00295	0.00749	64.93	0.24
14000	3.5	3.6	0.00355	0.00902	75.75	0.29
16000	4.0	4.1	0.00405	0.01029	86.57	0.33
18000	4.5	4.6	0.00455	0.01156	97.39	0.38
20000	5.1	5.2	0.00515	0.01308	108.22	0.42
22000	5.6	5.7	0.00565	0.01435	119.04	0.47
24000	6.3	6.3	0.00630	0.01600	129.86	0.52
Diámetro = 15.34 cm			Carga máx. = 23987.32 kg			
Longitud = 30.80 cm			f'c (28 días) = 325.10 kg/cm²			

Calculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 15.86 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 129.79 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00052$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.43 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

2. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.60 con 0.5% aditivo

CUADRO D.17 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.60 + 0.5% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.50	0.40	0.00045	0.00114	10.72	0.04
4000	1.10	1.00	0.00105	0.00267	21.45	0.09
6000	1.60	1.50	0.00155	0.00394	32.17	0.13
8000	2.20	2.20	0.00220	0.00559	42.89	0.18
10000	2.80	2.90	0.00285	0.00724	53.62	0.23
12000	3.50	3.60	0.00355	0.00902	64.34	0.29
14000	4.00	4.20	0.00410	0.01041	75.06	0.34
16000	4.60	4.80	0.00470	0.01194	85.79	0.39
18000	5.40	5.40	0.00540	0.01372	96.51	0.44
20000	5.90	5.90	0.00590	0.01499	107.23	0.48
22000	6.40	6.50	0.00645	0.01638	117.96	0.53
24000	7.00	7.00	0.00700	0.01778	128.68	0.57
26000	7.40	7.60	0.00750	0.01905	139.40	0.61
28000	8.50	8.40	0.00845	0.02146	150.13	0.69
Diámetro = 15.41 cm				Carga máx. = 27932.88 kg		
Longitud = 31.00 cm				f'c (28 días) = 377.35 kg/cm²		

Calculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 13.59 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 149.77 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00069$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.13 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

3. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.60 con 1.0% aditivo

CUADRO D.18 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.60 + 1.0% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
3000	0.6	0.6	0.00060	0.00152	16.03	0.05
6000	1.4	1.3	0.00135	0.00343	32.07	0.11
9000	2.1	2.1	0.00210	0.00533	48.10	0.17
12000	2.9	2.9	0.00290	0.00737	64.13	0.24
15000	3.6	3.6	0.00360	0.00914	80.17	0.30
18000	4.1	4.4	0.00425	0.01080	96.20	0.35
21000	5	5.1	0.00505	0.01283	112.23	0.42
24000	5.9	5.9	0.00590	0.01499	128.26	0.49
27000	6.7	6.6	0.00665	0.01689	144.30	0.55
30000	7.4	7.4	0.00740	0.01880	160.33	0.61
33000	8.3	8.3	0.00830	0.02108	176.36	0.68
Diámetro = 15.44 cm				Carga máx. = 32220.74 kg		
Longitud = 30.80 cm				f'c (28 días) = 432.08 kg/cm²		

Calculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 16.17 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 172.20 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00067$$

$$M.E.E = \frac{S_1 - S_0}{e_1 - e_2}$$

$$M.E.E = 2.54 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

4. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.60 con 1.0% aditivo

CUADRO D.19 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.60 + 1.5% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
3000	0.5	0.5	0.00050	0.00127	16.15	0.04
6000	1.3	1.3	0.00130	0.00330	32.30	0.11
9000	2	2.1	0.00205	0.00521	48.44	0.17
12000	2.8	2.9	0.00285	0.00724	64.59	0.23
15000	3.4	3.4	0.00340	0.00864	80.74	0.28
18000	3.9	4	0.00395	0.01003	96.89	0.32
21000	4.8	4.9	0.00485	0.01232	113.04	0.40
24000	5.6	5.6	0.00560	0.01422	129.18	0.46
27000	6.3	6.4	0.00635	0.01613	145.33	0.52
30000	7.1	7.2	0.00715	0.01816	161.48	0.59
33000	8	8.1	0.00805	0.02045	177.63	0.66
36000	8.60	8.60	0.00860	0.02184	193.78	0.70
39000	9.20	9.20	0.00920	0.02337	209.92	0.75
Diámetro = 15.44 cm			Carga máx. = 32220.74 kg			
Longitud = 30.80 cm			f'c (28 días) = 432.08 kg/cm²			

Calculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 18.37 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 207.21 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00075$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.71 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

5. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.65.

CUADRO D.16 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.65.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.40	0.40	0.00040	0.00102	10.73	0.03
4000	0.90	1.00	0.00095	0.00241	21.46	0.08
6000	1.60	1.60	0.00160	0.00406	32.19	0.13
8000	2.20	2.30	0.00225	0.00572	42.92	0.19
10000	2.80	2.90	0.00285	0.00724	53.65	0.24
12000	3.40	3.50	0.00345	0.00876	64.38	0.28
14000	4.10	4.20	0.00415	0.01054	75.11	0.34
16000	4.80	4.70	0.00475	0.01207	85.84	0.39
18000	5.40	5.50	0.00545	0.01384	96.57	0.45
20000	6.20	6.30	0.00625	0.01588	107.30	0.52
22000	6.80	6.90	0.00685	0.01740	118.03	0.56
Diámetro = 15.44 cm			Carga máx. = 32220.74 kg			
Longitud = 30.80 cm			f'c (28 días) = 432.08 kg/cm²			

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 14.76 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 116.12 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00056$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.00 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

6. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.65 con 0.5% aditivo

CUADRO D.19 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.65 + 0.5% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.20	0.40	0.00030	0.00076	10.78	0.02
4000	0.90	0.90	0.00090	0.00229	21.56	0.07
6000	1.50	1.60	0.00155	0.00394	32.34	0.13
8000	2.10	2.20	0.00215	0.00546	43.12	0.18
10000	2.70	2.80	0.00275	0.00699	53.90	0.23
12000	3.30	3.40	0.00335	0.00851	64.68	0.28
14000	4.00	4.00	0.00400	0.01016	75.46	0.33
16000	4.70	4.70	0.00470	0.01194	86.23	0.39
18000	5.30	5.40	0.00535	0.01359	97.01	0.44
20000	6.10	6.10	0.00610	0.01549	107.79	0.50
22000	6.30	6.30	0.00630	0.01600	118.57	0.52
24000	7.10	7.20	0.00715	0.01816	129.35	0.59
Diámetro = 15.37 cm			Carga máx. = 23755.5 kg			
Longitud = 30.90 cm			f'c (28 días) = 323.02 kg/cm²			

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 16.32 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 128.03 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00058$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.11 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

7. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.65 con 1.0% aditivo

CUADRO D.19 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.65 + 1.0% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.3	0.4	0.00035	0.00089	10.87	0.03
4000	0.9	0.9	0.00090	0.00229	21.74	0.07
6000	1.4	1.4	0.00140	0.00356	32.61	0.11
8000	2	2	0.00200	0.00508	43.48	0.16
10000	2.5	2.6	0.00255	0.00648	54.36	0.21
12000	3.4	3.4	0.00340	0.00864	65.23	0.28
14000	3.8	3.8	0.00380	0.00965	76.10	0.31
16000	4.3	4.4	0.00435	0.01105	86.97	0.36
18000	4.7	5	0.00485	0.01232	97.84	0.40
20000	5.4	5.5	0.00545	0.01384	108.71	0.45
22000	6	6.1	0.00605	0.01537	119.58	0.50
24000	6.7	6.7	0.00670	0.01702	130.45	0.55
26000	7.3	7.3	0.00730	0.01854	141.32	0.60
Diámetro = 15.37 cm			Carga máx. = 23755.5 kg			
Longitud = 30.90 cm			f'c (28 días) = 323.02 kg/cm²			

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 16.01 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 138.05 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00058$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.29 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

8. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.65 con 1.5% aditivo

CUADRO D.20 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.65 + 1.5% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
3000	0.6	0.5	0.00055	0.00140	16.34	0.05
6000	1.3	1.3	0.00130	0.00330	32.68	0.11
9000	2.1	2.1	0.00210	0.00533	49.02	0.17
12000	3	2.9	0.00295	0.00749	65.35	0.24
15000	3.7	3.7	0.00370	0.00940	81.69	0.30
18000	4.5	4.5	0.00450	0.01143	98.03	0.37
21000	5.3	5.3	0.00530	0.01346	114.37	0.43
24000	6.1	6.1	0.00610	0.01549	130.71	0.50
27000	7	6.9	0.00695	0.01765	147.05	0.57
30000	7.8	7.7	0.00775	0.01969	163.39	0.64
<i>Diámetro = 15.29 cm</i>			<i>Carga máx. = 32843.1 kg</i>			
<i>Longitud = 31.00 cm</i>			<i>f'c (28 días) = 443.1 kg/cm²</i>			

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 17.65 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 178.87 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00070$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.49 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

9. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.70.

CUADRO D.16 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.70.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.4	0.5	0.00045	0.00114	10.84	0.04
4000	1	1	0.00100	0.00254	21.69	0.08
6000	1.5	1.6	0.00155	0.00394	32.53	0.13
8000	2.1	2.2	0.00215	0.00546	43.37	0.18
10000	2.8	2.8	0.00280	0.00711	54.21	0.23
12000	3.4	3.5	0.00345	0.00876	65.06	0.28
14000	4	4.1	0.00405	0.01029	75.90	0.33
16000	4.6	4.6	0.00460	0.01168	86.74	0.38
18000	5.2	5.3	0.00525	0.01334	97.58	0.43
20000	5.8	5.9	0.00585	0.01486	108.43	0.48
22000	6.3	6.4	0.00635	0.01613	119.27	0.52
Diámetro = 15.33 cm				Carga máx. = 21854.7 kg		
Longitud = 31.00 cm				f'c (28 días) = 294.76 kg/cm²		

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 14.00 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 118.48 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00052$$

$$M. E. E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M. E. E = 2.24 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

10. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.70 con 0.5% aditivo

CUADRO D.20 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.70 + 0.5% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
2000	0.5	0.5	0.00050	0.00127	10.72	0.04
4000	1.1	1.1	0.00110	0.00279	21.45	0.09
6000	1.7	1.7	0.00170	0.00432	32.17	0.14
8000	2.4	2.3	0.00235	0.00597	42.89	0.19
10000	3	2.9	0.00295	0.00749	53.62	0.24
12000	3.5	3.5	0.00350	0.00889	64.34	0.29
14000	4.1	4.1	0.00410	0.01041	75.06	0.33
16000	4.6	4.6	0.00460	0.01168	85.79	0.38
18000	5.2	5.2	0.00520	0.01321	96.51	0.42
20000	5.8	5.8	0.00580	0.01473	107.23	0.47
22000	6.4	6.4	0.00640	0.01626	117.96	0.52
24000	7	7	0.00700	0.01778	128.68	0.57
26000	7.8	7.8	0.00780	0.01981	139.40	0.64
Diámetro = 15.41 cm			Carga máx. = 24527.32 kg			
Longitud = 31.10 cm			f'c (28 días) = 332.34 kg/cm²			

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 12.73 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 131.51 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00059$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.20 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

11. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.70 con 1.0% aditivo

CUADRO D.20 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.70 + 1.0% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
3000	0.6	0.6	0.00060	0.00152	16.10	0.05
6000	1.2	1.3	0.00125	0.00318	32.19	0.10
9000	2	2.1	0.00205	0.00521	48.29	0.17
12000	2.7	2.8	0.00275	0.00699	64.38	0.23
15000	3.5	3.5	0.00350	0.00889	80.48	0.29
18000	4.2	4.4	0.00430	0.01092	96.57	0.35
21000	5.1	5.1	0.00510	0.01295	112.67	0.42
24000	6	6	0.00600	0.01524	128.77	0.49
27000	6.8	6.8	0.00680	0.01727	144.86	0.56
30000	7.5	7.5	0.00750	0.01905	160.96	0.61
Diámetro = 15.41 cm			Carga máx. = 29381.76 kg			
Longitud = 31.00 cm			f'c (28 días) = 394.62 kg/cm²			

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 16.35 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 157.64 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00060$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.56 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

12. Módulo elástico estático del concreto para la relación a/c=0.70 con 1.5% aditivo

CUADRO D.20 Resultados del ensayo de M.E.E., para a/c=0.70 + 1.5% aditivo.

Fuerza (kg)	Lectura		Deformación		Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitario (cm*10 ⁻³ /cm)
	N°1 (pulg*10 ⁻³)	N°2 (pulg*10 ⁻³)	Prom (pulg)	Prom (cm)		
0	0	0	0.00000	0.00000	0.00	0.00
3000	0.5	0.5	0.00050	0.00127	16.03	0.04
6000	1.3	1.3	0.00130	0.00330	32.07	0.11
9000	2.1	2	0.00205	0.00521	48.10	0.17
12000	2.9	2.9	0.00290	0.00737	64.13	0.24
15000	3.7	3.7	0.00370	0.00940	80.17	0.30
18000	4.6	4.5	0.00455	0.01156	96.20	0.37
21000	5.3	5.3	0.00530	0.01346	112.23	0.44
24000	6.1	6.1	0.00610	0.01549	128.26	0.50
27000	6.4	6.8	0.00660	0.01676	144.30	0.54
30000	7.6	7.4	0.00750	0.01905	160.33	0.62
33000	8.5	8.5	0.00850	0.02159	176.36	0.70
Diámetro = 15.44 cm				Carga máx. = 31420.74 kg		
Longitud = 30.90 cm				f'c (28 días) = 421.33 kg/cm²		

Cálculo del Módulo Elástico Estático:

$$S_1 = 18.20 \text{ kg/cm}^2 \quad e_1 = 0.00005$$

$$S_2 = 167.92 \text{ kg/cm}^2 \quad e_2 = 0.00066$$

$$M.E.E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1}$$

$$M.E.E = 2.47 * 10^{-5} \text{ k /c}^2$$

1. CÁLCULO DEL COSTO DE UN M³ DE CONCRETO, PARA LA RELACIÓN a/c=0.60.

CUADRO E.1 Resultados del costo por m³ de concreto, para la relación a/c=0.60 y aditivo Chemament 440.

Diseño de mezcla	Para 1 m ³		Cantidad equivalente	Costo Unitario (soles)	Costo parcial (soles)
	Material	D.O. (kg)			
a/c=0.60 Patrón	Cemento	383.33	9.02 bls	21.50	193.93
	Agua	223.44	0.22 m3	2.80	0.62
	Arena	812.27	0.31 m3	35.00	10.85
	Piedra	888.34	0.35 m3	45.00	15.75
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.60 Adit. 0.50%	Cemento	383.33	9.02 bls	21.50	193.92
	Agua	162.39	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	810.34	0.31 m3	35.00	10.78
	Piedra	886.23	0.35 m3	45.00	15.64
	Aditivo	1.92	0.40 gln	28.00	11.07
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.60 Adit. 1.00%	Cemento	383.33	9.02 bls	21.50	193.92
	Agua	162.41	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	808.40	0.31 m3	35.00	10.76
	Piedra	884.11	0.35 m3	45.00	15.60
	Aditivo	3.83	0.79 gln	28.00	22.13
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.60 Adit.1.50%	Cemento	383.33	9.02 bls	21.50	193.92
	Agua	162.42	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	806.46	0.31 m3	35.00	10.73
	Piedra	881.99	0.35 m3	45.00	15.56
	Aditivo	5.75	1.19 gln	28.00	33.20
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				

2. CÁLCULO DEL COSTO DE UN M³ DE CONCRETO, PARA LA RELACIÓN a/c=0.65.

CUADRO E.2 Resultados del costo por m³ de concreto, para la relación a/c=0.65 y aditivo Chemament 440.

Diseño de mezcla	Para 1 m ³		Cantidad equivalente	Costo Unitario (soles)	Costo parcial (soles)
	Material	D.O. (kg)			
a/c=0.65 Patrón	Cemento	353.85	8.33 bls	21.50	179.00
	Agua	223.35	0.22 m3	2.80	0.63
	Arena	824.00	0.31 m3	35.00	10.97
	Piedra	901.17	0.35 m3	45.00	15.90
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.65 Adit. 0.50%	Cemento	353.85	8.33 bls	21.50	179.00
	Agua	162.29	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	822.21	0.31 m3	35.00	10.94
	Piedra	899.22	0.35 m3	45.00	15.87
	Aditivo	1.77	0.36 gln	28.00	10.21
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.65 Adit. 1.00%	Cemento	353.85	8.33 bls	21.50	179.00
	Agua	162.31	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	820.42	0.31 m3	35.00	10.92
	Piedra	897.26	0.35 m3	45.00	15.83
	Aditivo	3.54	0.73 gln	28.00	20.43
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.65 Adit.1.50%	Cemento	353.85	8.33 bls	21.50	179.00
	Agua	162.32	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	818.64	0.31 m3	35.00	10.89
	Piedra	895.31	0.35 m3	45.00	15.80
	Aditivo	5.31	1.09 gln	28.00	30.64
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				

3. CÁLCULO DEL COSTO DE UN M³ DE CONCRETO, PARA LA RELACIÓN a/c=0.65.

CUADRO E.3 Resultados del costo por m³ de concreto, para la relación a/c=0.70 y aditivo Chemament 440.

Diseño de mezcla	Para 1 m ³		Cantidad equivalente	Costo Unitario (soles)	Costo parcial (soles)
	Material	D.O. (kg)			
a/c=0.70 Patrón	Cemento	328.57	8.33 bls	21.50	166.22
	Agua	223.27	0.22 m3	2.80	0.63
	Arena	834.05	0.32 m3	35.00	11.10
	Piedra	912.17	0.36 m3	45.00	16.10
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.70 Adit. 0.50%	Cemento	328.57	7.73 bls	21.50	166.22
	Agua	162.21	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	832.39	0.32 m3	35.00	11.08
	Piedra	910.35	0.36 m3	45.00	16.07
	Aditivo	1.64	0.34 gln	28.00	9.48
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.70 Adit. 1.00%	Cemento	328.57	7.73 bls	21.50	166.22
	Agua	162.23	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	830.73	0.32 m3	35.00	11.06
	Piedra	908.53	0.36 m3	45.00	16.03
	Aditivo	3.29	0.68 gln	28.00	18.97
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				
a/c=0.70 Adit.1.50%	Cemento	328.57	7.73 bls	21.50	166.22
	Agua	162.24	0.16 m3	2.80	0.45
	Arena	829.07	0.32 m3	35.00	11.03
	Piedra	906.72	0.36 m3	45.00	16.00
	Aditivo	4.93	1.02 gln	28.00	28.45
	Costo de 1 m³ de concreto (soles)				

4. RELACIÓN BENEFICIO COSTO DE UN M³ DE CONCRETO CON Y SIN ADITIVO.

CUADRO E.4 Relación beneficio/costo del m³ de concreto con y sin aditivo Chemament 440.

a/c	Concreto	Resistencia (kg/cm ²): B	Precio (soles): A	Variación del precio	Costo/beneficio (A/B)
0.6	Patrón	279.42	221.15	100.00%	0.79
	Adit. 0.5%	352.63	231.86	104.85%	0.66
	Adit. 1.0%	481.15	242.87	109.82%	0.50
	Adit. 1.5%	500.6	253.87	114.80%	0.51
0.65	Patrón	256.37	206.50	100.00%	0.81
	Adit. 0.5%	344.82	216.48	104.84%	0.63
	Adit. 1.0%	398.85	226.64	109.75%	0.57
	Adit. 1.5%	476.45	236.80	114.67%	0.50
0.7	Patrón	218.33	194.04	100.00%	0.89
	Adit. 0.5%	279.76	203.30	104.77%	0.73
	Adit. 1.0%	363.44	212.73	109.63%	0.59
	Adit. 1.5%	437.39	222.16	114.49%	0.51

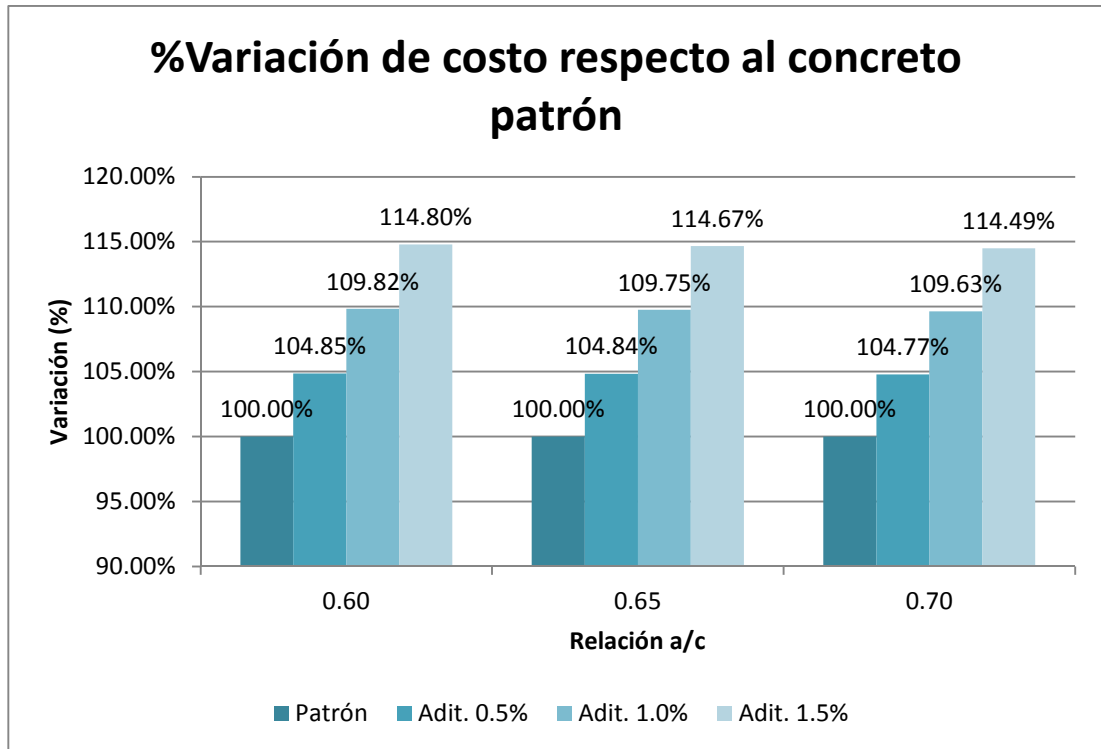


GRÁFICO E.1 Relación beneficio/costo del m³ de concreto con y sin aditivo Chemament 440.

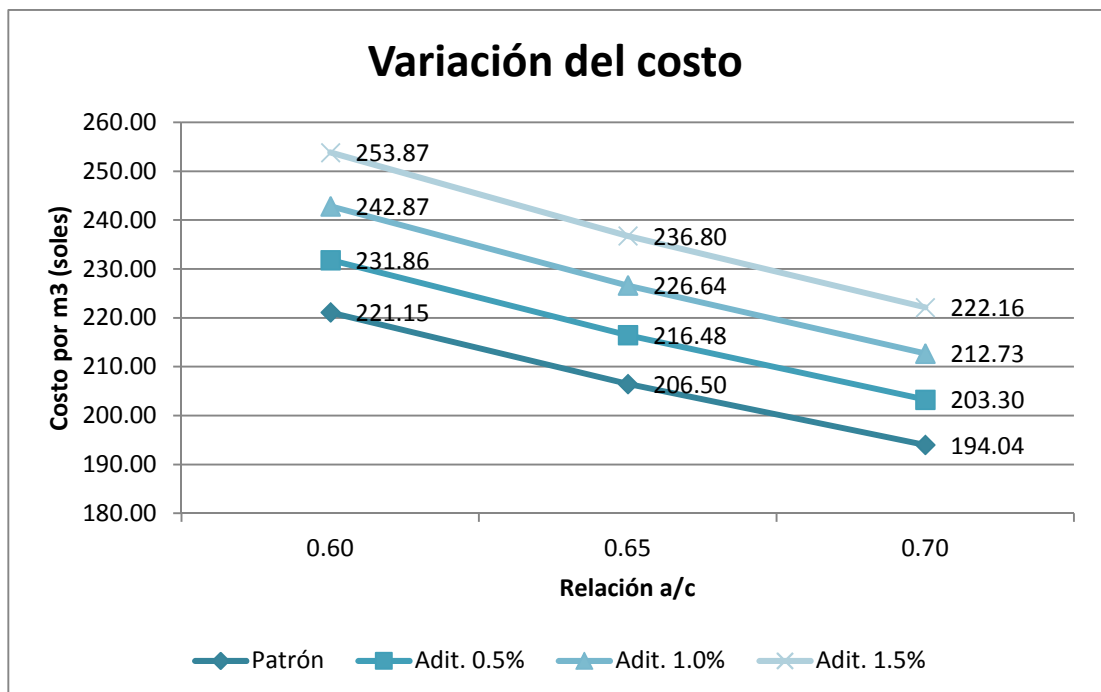


GRÁFICO E.2 Variación del costo vs. Relación a/c.



FIGURA F.1 Inmersión en agua del agregado fino y grueso por 24 horas para los ensayos a los agregados.



FIGURA F.2 Secado al horno (105 °C) de los agregados después de ser remojados en agua.



FIGURA F.3 Secado superficialmente seco del agregado grueso.



FIGURA F.4 Peso del agregado grueso saturado superficialmente seco.



FIGURA F.5 Eliminación de aire contenido en el agregado fino por el método de la fiola.



FIGURA F.6 Peso del agregado fino saturado superficialmente seco.



FIGURA F.7 Retiro de los agregados después del secado en el horno.



FIGURA F.8 Peso del agregado global para el cálculo del peso unitario.



FIGURA F.3 Tamizado del agregado grueso para el ensayo de granulometría.



FIGURA F.3 Tamizado del agregado fino para el ensayo de granulometría.



FIGURA F.3 Elaboración de concretos de prueba para el diseño del concreto patrón.



FIGURA F.3 Toma de asentamientos para el diseño del agua patrón.



FIGURA F.7 Insumos para la elaboración de concreto debidamente dosificados.



FIGURA F.7 Mezcla de materiales para la elaboración de concreto en el LEM.



FIGURA F.3 Proceso para la elaboración de probetas de concreto.



FIGURA F.3 Colocación de etiquetas para la identificación de la fecha y tipo de diseño.



FIGURA F.3 Probetas desmoldadas y marcadas, listas para el curado en poza de agua.



FIGURA F.3 Proceso de curado de las muestras de concreto por inmersión en una poza con agua.



FIGURA F.7 Colocación de probeta de concreto en la máquina de compresión axial.



FIGURA F.7 Probetas después de la prueba de compresión axial.



FIGURA F.3 Prueba de tracción por compresión diametral.



FIGURA F.3 Probetas después de la prueba de tracción por compresión diametral.



FIGURA F.3 Toma de las medidas en el ensayo de modulo elástico.



FIGURA F.3 Probetas de concreto después de las pruebas en estado endurecido.



FIGURA F.7 Prueba de asentamiento del concreto en estado fresco.



FIGURA F.7 Nivelación del concreto para la prueba de fluidez.



FIGURA F.3 Toma de medidas para la prueba de fluidez del concreto.



FIGURA F.3 Colocación y nivelado del concreto para el ensayo de peso unitario.



FIGURA F.3 Absorción del agua del concreto correspondiente a la prueba de exudación.



FIGURA F.3 Tamizado del concreto para obtener mortero que utilizaremos en la prueba de tiempo de fragua.