

"UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN"

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DEL OPTIMO CONCRETO A FIN DE MEJORAR
SU COMPORTAMIENTO FÍSICO Y MECÁNICO A BAJAS
TEMPERATURAS EN EL DISTRITO DE CHAUPIMARCA –
PASCO 2019 ”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:
Jimmy Alex GÜERE RIVERA

ASESOR:
Mg. Luis fernando NARRO JARA

HUÁNUCO – PERÚ

2020

RESUMEN

En el mundo el concreto es el material más ampliamente utilizado en la industria de la construcción debido a su versatilidad para adoptar prácticamente cualquier forma, bajo condiciones normales, pero no se le presta suficiente atención a la durabilidad del material, el congelamiento y deshielo en zonas alto andinas del país es el causante de problemas en infraestructuras, que no cumplen su vida útil. Es necesario enfocar el diseño de concreto no solo desde el punto de vista resistente, sino también desde el punto de vista durable.

Para el diseño de mezcla se utilizó 3 metodología ACI, Modulo de fineza de la combinación de agregados y FULLER, que nos permitirá analizar el concreto por resistencia y durabilidad para las condiciones de congelamiento y deshielo que tiene el distrito de Chaupihuaranga, controlando la trabajabilidad y la segregación del concreto. Se analizaron 4 tipos de mezclas de concreto (concreto convencional, concreto con 2.6% de acelerante de fragua, concreto con 0.1% de aire incorporado y la combinación de los dos aditivos) en 4 tiempos de curados (7, 14, 28 y 45 días).

La cantera de Sacra Familia del distrito de Chaupihuaranga es la mejor cantera que existe en la zona, para realizar el diseño de mezcla se requiere analizar las propiedades físicas de los agregados (fino y grueso), lo cual no están bajo los límites de la norma ASTM C-33 por tener una granulometría discontinua pudiendo ocasionar la segregación del concreto (ver gráfico N°2 y N°3), pero sin embargo en las pruebas para resistencia del concreto se logra obtener la resistencia requerida para las condiciones de congelamiento y deshielo que se planteó en el diseño de mezcla y que aun si el agregado no estén dentro de los límites de la ASTM C-33 se lograr obtener la resistencia requerida por que en el diseño se usa un alto factor de seguridad.

Palabras claves: segregación, trabajabilidad, discontinua, durabilidad y resistencia

SUMMARY

In the world, concrete is the most widely used material in the construction industry due to its versatility to take almost any shape, under normal conditions, but not enough attention is paid to the durability of the material, freezing and thawing in areas. The country's high Andes is the cause of infrastructure problems, which do not meet its useful life. It is necessary to approach concrete design not only from the resistant point of view, but also from the durable.

point of view. For the mix design, 3 ACI methodologies were used: Modulus of fineness of the aggregate combination and FULLER, which will allow us to analyze the concrete for resistance and durability for the freezing and thawing conditions of the Chaupihuaranga district, controlling the workability and the segregation of concrete. 4 types of concrete mixes (conventional concrete, concrete with 2.6% forging accelerator, concrete with 0.1% incorporated air and the combination of the two additives) were analyzed in 4 cure times (7, 14, 28 and 45 days).

The Sacra Familia quarry in the Chaupihuaranga district is the best quarry in the area, to perform the mix design it is necessary to analyze the physical properties of the aggregates (fine and coarse), which are not within the limits of the standard ASTM C-33 for having a discontinuous granulometry that can cause segregation of the concrete (see graph N ° 2 and N ° 3), but nevertheless in the tests for concrete resistance it is possible to obtain the required resistance for freezing and thawing conditions that was raised in the mix design and that even if the aggregate is not within the limits of ASTM C-33, it is possible to obtain the required resistance because a high safety factor is used in the design.

Keywords: segregation, workability, discontinuous, durability and resistance

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	II
SUMMARY	III
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. ANTECEDENTES:	2
1.1.1 Antecedentes Internacionales:.....	2
1.1.2 Antecedentes Nacionales:	3
1.2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA:.....	5
1.2.1 Concreto:.....	5
1.2.2 Materiales constituyentes del concreto.	6
1.2.2.1 Cemento:.....	6
1.2.2.2 AGUA.....	11
1.2.2.3 AGREGADOS	12
1.2.3 Concreto en estado fresco:	21
1.2.4 Concreto en estado endurecido:	23
1.2.5 Ataques por ciclos de congelamiento y deshielo:.....	24
1.2.6 Mecanismos de daño por ciclos de congelamiento y deshielo en el concreto: ..	25
1.2.7 Factores principales que afectan al daño por ciclos de congelamiento y deshielo	28
1.2.8 Diseño de mezcla con el método comité 211 del ACI.....	30
1.2.9 Diseño de mezcla con el método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados	32
1.2.10 Diseño de mezcla con el método de Fuller:.....	35
1.2.11 Análisis estadístico:.....	38
1.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:.....	40
1.4. OBJETIVOS:.....	43
1.4.1 Objetivo general:	43
1.4.2 Objetivo específico:.....	43
1.5. HIPÓTESIS:.....	43

1.5.1 Hipótesis general:	43
1.5.2 Hipótesis específica:	43
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:	44
1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA:	45
CAPÍTULO II: MARCO METODOLÓGICO	46
2.1. NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN:	46
2.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:.....	46
2.3. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:.....	47
2.4. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS:	47
CAPÍTULO III: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
3.1. ASPECTOS GENERALES:	48
3.2. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS:.....	50
3.2.1. Cantera:.....	50
3.2.2. Agregado Fino (NTP 400.037):	50
3.2.3. Agregado Grueso (NTP 400.037):.....	55
3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ADITIVOS:.....	59
3.3.1 Aditivo acelerante de fragua para morteros y concretos:.....	59
3.3.2 Aditivo incorporador de aire que evita fisuramiento por efecto hielo deshielo del concreto.	60
3.3.3 Cemento:	61
3.4. DISEÑO DE MEZCLA:.....	63
3.4.1. Método del ACI:	63
3.4.2. Método Fuller:	69
3.4.3. Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados:.....	72
3.5. ELABORACIÓN DEL CONCRETO:	76
3.6. RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN:	79
3.7. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LA RESISTENCIA EN EL TIEMPO.....	83
3.8. VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN:	90
3.9. COEFICIENTE DE RELACIÓN DE PEARSON.....	94
CONCLUSIONES	97

SUGERENCIAS	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS	102
ENSAYOS DE LABORATORIO	102

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: PRINCIPALES COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND.	7
TABLA N° 2: CUADRO DE RESUMEN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL CLINKER.	9
TABLA N° 3: REQUISITOS PARA EL AGUA DE MEZCLA.	12
TABLA N° 4: REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO FINO.	15
TABLA N° 5: ESPECIFICACIONES DE GRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO	20
TABLA N° 6: VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA.....	31
TABLA N° 7: RELACIÓN AGUA - CEMENTO	31
TABLA N° 8: VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO.....	32
TABLA N° 9: MODULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS	34
TABLA N° 10: OPERACIÓN DE VARIABLES	44
TABLA N° 11: MUESTRA DE PROBETAS	45
TABLA N° 12: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (N.T.P. 400.022 ASTM C-128)	51
TABLA N° 13: PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (N.T.P. 400.017 ASTM C-29)	52
TABLA N° 14: PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (N.T.P. 400.017 ASTM C-29).....	52
TABLA N° 15: CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO	52
TABLA N° 16: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	54
TABLA N° 17: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (N.T.P. 400.022 ASTM C-128)	55
TABLA N° 18: PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO (N.T.P. 400.017 ASTM C- 29)	55
TABLA N° 19: PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (N.T.P. 400.017, ASTM C-29)	56
TABLA N° 20: CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO	56
TABLA N° 21: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.....	58
TABLA N° 22: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL CEMENTO	62
TABLA N° 23: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO	63
TABLA N° 24: CONSISTENCIA Y ASENTAMIENTOS.....	64

TABLA N° 25: ASENTAMIENTO RECOMENDADO PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN...	64
TABLA N° 26: REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y DE CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES VALORES DE ASENTAMIENTO Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS.....	65
TABLA N° 27: RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.	66
TABLA N° 28: MÁXIMAS RELACIONES AGUA/CEMENTO PERMISIBLE PARA CONCRETOS SOMETIDAS A CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN.....	66
TABLA N° 29: VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO.....	67
TABLA N° 30: MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	73
TABLA N° 31: RESUMEN DE MATERIALES POR CADA METODOLOGÍA DE DISEÑO	75
TABLA N° 32: CANTIDAD DE MATERIAL PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO POR PIE CUBICO	75
TABLA N° 33: RESULTADO DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO SIN ADITIVO $F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$	79
TABLA N° 34: RESULTADO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO 2.6% ACELERANTE DE FRAGUA $F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$	80
TABLA N° 35: RESULTADO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO 0.1% INCORPORADOR DE AIRE $F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$	81
TABLA N° 36: RESULTADO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO 0.1% INCORPORADOR DE AIRE +2.6% ACELERANTE DE FRAGUA $F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$	82
TABLA N° 37: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CONVENCIONAL	83
TABLA N° 38: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO 2.6% ACELERANTE DE FRAGUA	85
TABLA N° 39: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO 0.1% INCORPORADOR DE AIRE.....	86
TABLA N° 40: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO 0.1% INCORPORADOR DE AIRE +2.6% ACELERANTE DE FRAGUA	87
TABLA N° 41: VALIDACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS	90
TABLA N° 42: VALIDACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS	91
TABLA N° 43: VALIDACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS	92

TABLA N° 44: VALIDACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 45 DÍAS	93
TABLA N° 45: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL CONCRETO	
CONVENCIONAL CON EL CONCRETO CON 2.6% DE ACELERANTE DE FRAGUA	94
TABLA N° 46: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL CONCRETO	
CONVENCIONAL CON EL CONCRETO CON 0.1% DE AIRE INCORPORADO	95
TABLA N° 47: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL CONCRETO	
CONVENCIONAL CON EL CONCRETO CON 2.6% DE ACELERANTE DE FRAGUA + 0.1% DE	
AIRE INCORPORADO.....	96

INDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO N° 1: CURVA DE FULLER	37
GRÁFICO N° 2: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO.....	54
GRÁFICO N° 3: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO	58
GRÁFICO N° 4: PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS. MÉTODO DE FÜLLER.	70
GRÁFICO N° 5: EVOLUCIÓN DEL ESFUERZO PROMEDIO DEL CONCRETO CONVENCIONAL	84
GRÁFICO N° 6: EVOLUCIÓN DEL ESFUERZO PROMEDIO DEL CONCRETO CON 2.6% DE ACELERANTE DE FRAGUA.....	85
GRÁFICO N° 7: EVOLUCIÓN DEL ESFUERZO PROMEDIO DEL CONCRETO CON 0.1% DE AIRE INCORPORADO.....	86
GRÁFICO N° 8: EVOLUCIÓN DEL ESFUERZO PROMEDIO DEL CONCRETO CON 0.1% DE AIRE INCORPORADO + 2.6% DE ACELERANTE DE FRAGUA	88
GRÁFICO N° 9: RESUMEN DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL CONCRETO.....	89

INTRODUCCIÓN

En la década de los 70' crece la informalidad generalizada en construcciones sedimentando en mucha gente en el campo de la construcción la idea de que "cualquier persona puede hacer un buen concreto" que "el concreto es un material noble que puede absorber nuestros errores" y que "ya todo está investigado en lo que al concreto se refiere"

Por eso el concreto es el material de construcción que más extensamente se ha utilizado por varias razones, primero porque posee una gran resistencia a la acción del agua sin sufrir un serio deterioro, además de que puede ser moldeado para dar una gran variedad de formas y tamaños gracias a la trabajabilidad de la mezcla, siendo esta de gran popularidad entre los Ingenieros Civiles por su pronta disponibilidad en las obras y su bajo costo.

El distrito de Chaupimarca se encuentra a una altitud de 4380 msnm donde por el factor climatológico se tiene que tener un especial cuidado para que el concreto alcance la resistencia requerida con la cual se desea ejecutar cualquier obra de concreto armado, por ende ocurren diversos proyectos en donde las estructuras no alcanzan las resistencias establecidas en los expedientes técnico ya que las extremadas bajas temperaturas afectan no solo el concreto armado sino también las probetas muchas de las cuales por el volumen de concreto no arrojan datos que se asemejen al elemento estructural teniendo que recurrir a otro tiempo de pruebas con esclerómetro o diamantina para verificar la Resistencia del concreto, se presenta también que un factor muy importante para brindar un óptimo comportamiento físico mecánico al concreto es el horario de vaciado de concreto.

En esta investigación se va determinar el óptimo concreto, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca. Para poder tener un buen comportamiento del concreto en condiciones de congelamiento y deshielo del área en estudio, considerando su resistencia y durabilidad en el tiempo de vida útil del concreto.

Para el desarrollo de la tesis se plantearon los siguientes capítulos:

Capítulo I Marco Teórico: Se consignan los antecedentes, bibliografía, hipótesis, variables.

Capítulo II Marco Metodológico: Tipo, método y diseño de la investigación.

Capítulo III Discusión de Resultados: Desarrolla el cálculo obtenido por el tesis, tablas, etc

Capítulo IV Conclusiones y Sugerencias.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes:

1.1.1 Antecedentes Internacionales:

Legal Castro, R. (2005), publica una Tesis de Investigación para obtener el Título Profesional de Constructor Civil, tiene como título hormigonado en tiempo frío, donde tuvo como objetivo general formar un criterio con el cual, se pueda desarrollar en forma exitosa la elaboración, transporte, colocación y curado del hormigón en tiempo de frío, lo cual concluye que al establecer una comparación de temperatura inicial entre la muestra N°1 y la muestra N°2, se aprecia claramente que la temperatura de la primera es menor con respecto a la segunda. Ahora esto resulta posible porque se utilizó diferentes tipos de cemento, cemento grado corriente en el primero y alta resistencia en el segundo, por lo tanto, podemos concluir que, el tamaño del grano o partícula del cemento de alta resistencia es mucho menor que la del cemento de grado corriente y que de acuerdo a esto la reacción química o proceso de fundición, entre el cemento y el agua es de mayor velocidad que la reacción química entre el agua y el cemento de grado corriente si utilizamos un cemento de alta resistencia en una ambiente no controlado o no protegido, esto nos significara un calor de hidratación mucho mayor que el cemento corriente, cuya ganancia es importante a la hora de atenuar el frío que supuestamente puede rodear al elemento hormigonado y así poder alcanzar una resistencia mínima de 35kg/cm² con la cual es posible resistir un ciclo de hielo y deshielo. Además de obtener la resistencia de diseño en menor tiempo que el hormigón elaborado con cemento corriente, cuyos beneficios resultan importantes a la hora de trabajar bajo condiciones de hormigonado en tiempo frío.

1.1.2 Antecedentes Nacionales:

Cruzado De La Cruz, H. & Rivera Chuñe, B. (2019), publica una Tesis de Investigación para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil, tiene como título influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas, donde tuvo como objetivo general determinar la influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas, lo cual concluye que la influencia del porcentaje de aditivo incorporador de aire en el concreto sometido a ciclos de congelamiento-deshielo es la siguiente: en el asentamiento a medida que se incrementa el porcentaje de incorporador de aire, aumenta la trabajabilidad de la mezcla, siendo el asentamiento máximo con Air Mix 200 de 4 5/8" y con SikaAer de 4 7/8" para el uso de 0.28 % de aditivo; así también, el contenido de aire total en el concreto fresco aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo, teniendo valores máximos de 4.1% y 4.3% para el 0.28% de aditivo Air Mix 200 y SikaAer respectivamente; por otro lado, la abrasión también aumenta a medida que se incrementa el porcentaje incorporador de aire, teniendo su valor máximo de 5.1% con Air Mix 200 y de 5.3% con SikaAer cuando el uso de aditivo es de 0.28%; el peso unitario del concreto endurecido disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de incorporador de aire, llegando a disminuir un poco más de 100 kg/m³ para un porcentaje de aditivo de 0.28%; Finalmente, la resistencia a la compresión debido a los ciclos de congelamiento y deshielo, disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo incorporador de aire, las muestras sin aditivo pierden el 19% de resistencia y para las mezclas con 0.04% de aditivo Air Mix 200 y SikaAer se obtienen las pérdidas más bajas, 12% y 10% respectivamente.

Cuellar Loaiza, J. & Sequeiros Arone, W. (2017), publica una Tesis de Investigación para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil, tiene como título influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento portland tipo I y cemento puzolánico tipo IP en la ciudad de Abancay – Apurimac, donde tuvo como objetivo general determinar cuál es la influencia

que ejerce el curado en el concreto para el clima de la ciudad de Abancay y Pachachaca, utilizando el cemento portland tipo I y cemento puzolanico tipo IP, lo cual concluye que para el estudio se realizó las pruebas con concreto elaborado con dos tipos de cemento, CEMENTO TIPO I y CEMENTO TIPO IP los cuales se realizó las pruebas comparativas de resistencia a la compresión del concreto con diferentes condiciones de curado, los cuales se esperaba variaciones considerables respecto a la resistencia a la compresión, pero no idénticas a esta puesto que cada cemento tiene diferente reacción química por sus componentes en su composición.

Medina Cardenas, L. & Quispe Yucra, N. (2017), publica una Tesis de Investigación para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil, tiene como título protección optima en el proceso de curado y su influencia en la resistencia de los concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo, donde tuvo como objetivo general encontrar experimentalmente el material de protección más óptimo en el proceso de curado que influya en la resistencia de los concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo, lo cual concluye que al someter los especímenes de concreto a los ciclos de congelamiento y deshielo se evaluó el comportamiento de los materiales de protección dando como resultado que la lámina de Poliestireno expandido (tecnoport) y el polietileno con aserrín tienen mejor comportamiento de aislamiento térmico que los demás materiales de protección, con una diferencia de 6.89°C y 6.32°C de temperatura respectivamente con respecto a la temperatura externa (temperatura de la congeladora). En donde los especímenes de concreto protegidos con estos materiales no llegan a tener la misma temperatura del exterior en toda la etapa de congelación.

Ponce Córdova, E. (2016), publica una Tesis de Investigación para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil, tiene como título estudio comparativo del efecto de aditivos chema y sika aceleradores de fragua en la ciudad del Cusco en concretos expuestos a climas alto andinos, donde tuvo como objetivo general determinar las características del efecto de los aditivos acelerantes

de fragua Chema y Sika en la ciudad del Cusco para acelerar el tiempo de fragua en concretos expuestos a climas alto andinos, lo cual concluye que se demuestra la hipótesis general sobre “Las características del efecto de los aditivos Chema y Sika en la ciudad del Cusco para acelerar el tiempo de fragua en concretos expuestos a climas alto andinos, difieren en tiempo de fragua, resistencia a la compresión y costos”, todos los aditivos utilizados en la presente tesis tienen un tiempo de fragua inicial a la primera hora indefinido, quiere decir que la aguja de Vicat penetra hasta el fondo del molde. Como se muestra en la tabla No 43. El aditivo acelerante utilizado que tiene un tiempo de fragua inicial más rápido en cualquiera de sus proporciones a la cuarta hora es Sika 3, en una proporción máxima en donde la penetración de la aguja de Vicat es 0 mm.

Vásquez Jáuregui, M. (2015), publica una Tesis de Investigación para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil, tiene como título control del concreto en estado fresco y endurecido en clima frío, donde tuvo como objetivo general depositar el concreto en su posición final, o lo más cerca posible de ésta, de la manera más rápida y eficaz, para evitar la segregación y lograr una compactación total, lo cual concluye que el clima frío se considera para temperaturas menores a 5°C, de la toma de datos en campo para la fecha del vaciado obtenemos valores variables desde 2.4° C hasta 8.8° C por eso se tomaron las medidas de protección del concreto tanto en estado fresco como endurecido y no se vea afectada su resistencia y durabilidad.

1.2. Investigación Bibliográfica:

1.2.1 Concreto:

El concreto en un sentido general, es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento portland y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la resistencia, tiempo de fraguado y ductilidad.

“La pasta, compuesta de cemento portland y agua unen los agregados, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua” (PCA, 2004, p.1).

1.2.2 Materiales constituyentes del concreto.

1.2.2.1 Cemento:

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos (Rivva, 2010, p.30).

Se da el nombre de portland a un cemento obtenido por la mezcla de material calcáreo y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alumina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se forme escorias, para posteriormente moler el producto resultante. Como materiales calizos que contengan principalmente carbonato cálcico como calizas, margas, etc; como materiales arcillosos que contengan principalmente óxidos de silicio o sílice de aluminio o alúmina, y de hierro.

Fabricación del cemento:

El proceso consiste principalmente en moler finamente las materias primas, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1300 a 1400 °C, donde el material se funde parcialmente hasta convertirse en escorias (clinker). Después el clinker se deposita en enfriadores donde se muele hasta convertirla en polvo finísimo; a continuación se agrega un poco de yeso CaSO_4 . Este producto resultante se denomina cemento portland que se usa en todo el mundo. Es importante destacar que el yeso es indispensable para regular el endurecimiento del cemento una vez que entra

en contacto con el agua, porque cuando su cantidad es muy baja el endurecimiento puede ocurrir de manera instantánea.

Composición química del cemento

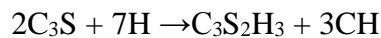
Como se mencionó, las materias primas principales para la elaboración del cemento portland son la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos. La composición química del cemento se divide en composiciones principales y menores. Los componentes principales del cemento son cuatro y se presenta en la tabla N°1.

Tabla N° 1: Principales componentes del cemento portland.

Nombre	Composición	Abreviatura	Contenido %
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S	45-60
Silicato bicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S	5-30
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A	6-25
Alumino ferrito tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C4AF	6-8

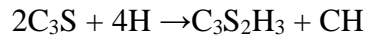
Fuente: Tesista

- **El silicato tricálcico C3S (Alita):** es el componente principal del clinker, formando alrededor del 50% de este, tiene la propiedad de aportar las mayores resistencias iniciales al cemento. El calor de hidratación que libera es muy elevado (120cal/g), reacciona según se muestra a continuación. Los productos de hidratación que se obtienen son el gel de tobermorita (CSH) y la portlandita (CH).

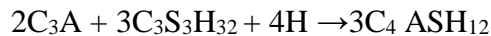
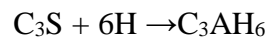


- **El silicato bicálcico C2S (Belita):** este componente aporta pocas resistencias a edades tempranas pero va alcanzando resistencias progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico. Ocupa alrededor del 25% del cemento, su calor de hidratación es bajo (60cal/g) y

reacciona según se muestra a continuación, resultando gel de tobermorita (CSH) y portlandita (CH) como producto de hidratación.



- **El aluminato tricálcico C₃A:** este componente por sí solo no contribuye a la resistencia, pero en presencia de silicatos desarrolla unas resistencias iniciales buenas. Actúa como catalizador de la reacción de silicatos. Su hidratación es muy rápida desarrollando un calor de hidratación de 207cal/g, su contenido esta alrededor del 10%. Para retrasar su actividad se emplea yeso que actúa como regulador del fraguado. Uno de los inconvenientes, es que provoca hormigones y morteros muy sensibles al ataque de sulfatos y otros agentes agresivos. Reacciona según las siguientes ecuaciones y se obtienen la estringita y el sulfoaluminato de calcio hidratado.



- **El ferrito aluminato tetracálcico C₄AF (Celita):** Apenas contribuye a las resistencias del cemento. Su hidratación es rápida pero más lenta que la del aluminato. Posee un calor de hidratación de 100cal/g. es el fundente en el horno y el responsable del color gris verdoso del cemento. Su contenido en el cemento esta alrededor del 8%.

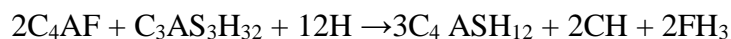
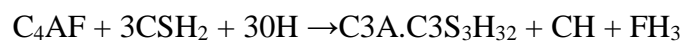
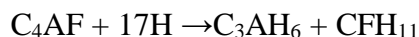


Tabla N° 2: resumen de los principales componentes del Clinker.

Compuesto	Contenido	Cinética de actuación	Calor de hidratación	Desarrollo de resistencia	Durabilidad
C3S Silicato tricálcico	50%	alta	120 cal/g	Rápido y prolongado	baja
C2S Silicato bicálcico	25%	alta	60 cal/g	Lento y muy prolongado	intermedia
C3A Aluminato tricálcico	10%	Muy alta	207 cal/g	Muy rápido y de corta duración	Muy baja
C4FA Ferrito aluminato tetracálcico	8%	alta	100 cal/g	Lento y poco significativo	alta

Fuente: Tesista

Hidratación del cemento:

El endurecimiento y fraguado del concreto son el resultado de procesos químicos y físicos entre el cemento portland y el agua. Dicho proceso recibe el nombre de hidratación del cemento.

Las reacciones químicas de hidratación de los compuestos del cemento condicionan en gran medida las microestructuras. Desde un punto de vista químico, las reacciones son un complejo proceso de disolución-precipitación en el que se disuelven los componentes más solubles del cemento, formando una fase acuosa iónica a partir de la cual y, en función del grado de saturación de dichos iones, precipitaran los hidratos correspondiente en forma de coloides o hidratos cristalinos (Segura, 2008, p.36-37).

Clasificación del cemento portland:

Hasta ahora se ha considerado al cemento portland como un material genérico, pero que sucede cuando se requiere obtener determinadas propiedades físicas y mecánicas más importantes del concreto endurecido

como la resistencia, contracción, permeabilidad y durabilidad. Para asegurar la durabilidad del concreto en diversas condiciones a los que están expuestos, se han desarrollado muchos cementos, que se clasifican según sus propiedades que están normalizado por la Norma Internacional ASTM 150 y la Norma Peruana NTP 334.009. Se describe, a continuación los tipos de cemento.

Tipo I: Conocido como cemento portland común y es sin duda el más empleado en obras de construcción en general, pero, que no estén expuesto a sulfatos presentes en suelo o en agua del subsuelo, para esto existen otros tipos de cemento.

Tipo II: conocido como cemento portland modificado, con un índice mayor de calor desarrollado que la del tipo IV, y un índice de aumento de desarrollo de resistencia similar al de tipo I. el cemento tipo II es recomendado para estructuras que están expuestas a la acción moderada de sulfatos o en las que es deseable un bajo calor de hidratación.

Es el cemento destinado a obras de concreto en general y a obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.

Tipo III: Es el cemento portland de endurecimiento rápido o alta resistencia inicial, es muy similar al de tipo I, la diferencia radica a su mayor contenido de C3S y a su mayor finura. Recomendados para construcciones a bajas temperaturas para evitar daños por congelamiento temprano o donde el encofrado se vaya a mover pronto a fin de reutilizarla.

Tipo IV: Es el cemento portland de bajo calor de hidratación debido, al contenido bajo de C3S y C3A, hay un desarrollo de resistencia más lento que el cemento tipo I, aunque la resistencia final no es afectada.

Tipo V: Es el cemento portland resistente a los sulfato debido, al contenido bajo de C3A para evitar que los sulfatos reaccionen químicamente con éste y se formen los sulfoaluminatos de calcio y el yeso que son los que ocasionan la rotura del concreto. Recomendados para estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras marinas expuestas a la marea.

En nuestro país no se utilizan los cementos tipo III y IV, porque, aun no se tiene la tecnología necesaria para la elaboración de C₃S más finos o en peor de los casos son muy costosos su producción.

“Los cementos adicionados usan una combinación de cemento portland o clinker y yeso mezclados o molidos juntamente con puzolanas, escorias o cenizas” (PCA, 2004, p.36). La ASTM C 595 establece cinco clases principales de cementos adicionados:

- Tipo IS Cemento portland alto horno
- Tipo IP y Tipo P Cemento portland puzolánico
- Tipo I (PM) Cemento portland modificado con puzolana
- Tipo S Cemento de escoria o siderúrgico
- Tipo I (SM) Cemento portland modificado con escoria

1.2.2.2 AGUA

El agua es el segundo componente fundamental del concreto donde su calidad debe ser sumamente importante para no producir alteraciones en la hidratación del cemento, evitar manchas en la superficie, retrasos en el fraguado y en su endurecimiento, ni permitir reducciones en su resistencia o afectar su durabilidad, por estas razones se debe evaluarse si es convenientes su uso para el mezclado y curado del concreto, cumpliendo con los requisitos de la norma NTP 339.088 y de preferencia potable.

Tabla N° 3: Requisitos para el agua de mezcla.

Sustancias disueltas	Valor máximo admisible (partes por millón)
Cloruros	300
Sulfatos	300
Sales de Magnesio	150
Sales Solubles	150
PH	Mayor a 7
Sólidos en suspensión	1500
Materia Orgánica	10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 339.088.

La NTP 339.088 distingue cuatro tipos de agua utilizable para el concreto:

- Agua combinada, la cual es el resultado de la mezcla de dos o más fuentes combinadas a la vez, antes o durante su introducción en la mezcla.
- Agua no potable, la cual proviene de fuentes de agua que no son aptos para el consumo humano, o si ésta contiene cantidades de sustancias que la decoloran o hacen que huelga o tenga un sabor objetante.
- Aguas de las operaciones de producción del concreto, que ha sido recuperada de procesos de producción de concreto de cemento Portland; agua de lluvia colectada en un recipiente en una planta de producción de concreto; o agua que contiene cantidades de los ingredientes del concreto.
- Agua potable, que es apta para el consumo humano.

1.2.2.3 AGREGADOS

Los agregados, también son llamados áridos, son materiales de forma granular de origen natural o artificial y es de suma importancia ya que constituyen aproximadamente tres cuartas partes entre el 59% y el 76% del volumen del concreto.

En un principio, al agregado se le consideró un material inerte, no costoso, disperso en la pasta de cemento para producir un gran volumen de concreto. En realidad, el agregado no es inerte, pues sus propiedades físicas, térmicas y, en ocasiones, químicas, pueden influir en el desempeño del concreto, por ejemplo, mejorando su durabilidad. Por su tamaño, los agregados se clasifican en: agregados finos (arena fina y arena gruesa) y agregados gruesos (grava y piedra).

Agregado conocido como Hormigón: corresponde a mezcla natural de grava y arena, este agregado se utiliza para preparar un concreto de baja calidad como el empleado en cimentaciones corridas, falsos pisos, falsas zapatas, calzaduras, etc. Su empleo debe ser con autorización del proyectista y deberán cumplir con el acápite 3.2.12 de la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP 400.037 especificaciones normalizadas para agregados en concreto, que se complementaran con los de las especificaciones de obra.

a) Agregado fino:

Se denomina agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 3/8" (9.52mm) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 o, alternativamente con la norma ASTM C33.

Sin embargo el Manual de Ensayo de Materiales (EM 2016) del MTC E 204-2016, El cual está basado según a las normas ASTM C136, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Este Manual indica que para mezclas de agregados grueso y fino: la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz

4.75mm (N°4). Por lo tanto, para la presente investigación, se manejará al tamiz N°4 ya que es la línea divisoria entre el agregados grueso y fino.

El agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

Granulometría: El análisis granulométrico es el proceso de dividir una muestra de agregado en partes de igual tamaño de partículas. Su propósito es determinar la distribución por tamaño del agregado.

Los factores principales que rigen la granulometría de los agregados son tres: Primero el área de la superficie del agregado, que determina la cantidad de agua y pasta de cemento necesaria para cubrir todas las partículas, así que a menor área de superficie del agregado se requerirá menos pasta y, por tanto menos agua; segundo el volumen relativo ocupado por el agregado, es un requerimiento de tipo económico es que el agregado ocupe un volumen relativo tan grande como sea posible, puesto que es más barato que la pasta de cemento; y tercero la trabajabilidad de la mezcla y su tendencia del concreto a segregarse, que determina si los volúmenes llegan a tener una buena compacidad entre ellas, conociendo que el agregado grueso aporta con su resistencia y su volumen, y el agregado fino actúa como lubricante para la suspensión de los agregados gruesos en la mezcla, aportando en mejorar la consistencia y la trabajabilidad de la mezcla.

Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores que pasa la malla N°4 (4.75 mm) y retenidos en las mallas N°200 (0.075 mm) tal como especifica la ASTM C33 y NTP 400.037.
- El agregado no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos cualquiera.

- En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites.

Tabla N° 4: Requisitos granulométricos para el agregado fino.

Tamiz estándar	Límites
9.5mm (3/8 pulg)	100
4.75mm (N°4)	95 a 100
2.36mm (N°8)	80 a 100
1.18mm (N°16)	50 a 85
600µm (N°30)	25 a 60
300µm (N°50)	05 a 30
150µm (N°100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.

Módulo de fineza (NTP 400.011): Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices 3/8”, N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y esta cantidad se divide entre 100.

$$Mf = \frac{\Sigma \% \text{ Acumulados Retenidos } (3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizado. (Sánchez de Guzman, 2003)

Según la norma ASTM C33, establece que el agregado fino (arena) debe tener un módulo de finura entre 2.30 y 3.10, donde el valor más alto indica una gradación más gruesa.

Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia (Abanto, 1994).

Contenido de humedad (NTP 400.016): Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, en relación al peso de la muestra seca expresado en porcentaje. Es una característica importante porque hace variar la relación agua/cemento del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto.

$$\text{contenido de humedad} = \frac{(\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco})}{\text{Peso Seco}} * 100$$

Peso específico y absorción (NTP 400.022): La Norma Técnica Peruana NTP 400.022, establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino y grueso.

Peso específico: El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

Peso específico de la masa seca: Es la relación, a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); respecto de la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

$$\text{Peso específico de la masa} = \frac{W_o}{(V - V_a)}$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g).

V: Volumen del frasco (cm³).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

Peso específico de la masa saturado superficialmente seco: Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables saturados con agua e impermeables naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases.

$$\text{Peso específico de la masa SSS} = \frac{500}{(V - Va)}$$

Donde:

V: Volumen del frasco (cm³).

V_a: Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

Peso específico aparente: Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material respecto de la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases, si el material es un sólido el volumen es aquel de la porción impermeable.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_o}{(V - Va) - (500 - W_o)}$$

Donde:

W_o: Peso de la muestra secada en el horno (g).

V: Volumen del frasco (cm³).

V_a: Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

Absorción: Según la NTP 400.022, la absorción es la cantidad de agua total que el agregado puede absorber de la condición seca a la condición saturada superficialmente seco en relación al peso de la muestra seca y es expresado en porcentaje.

$$\% \text{Absorción} = \frac{500 - W_o}{W_o} * 100$$

$$\% \text{Absorción} = \frac{W_{\text{sss}} - W_o}{W_o} * 100$$

Donde:

W_o : Peso de la muestra seca (gr).

W_{sss} : Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr).

Peso unitario (NTP 400.017): El peso unitario es el producto del peso de la muestra seca por el inverso del volumen del recipiente, se expresa en kg/m³.

El peso unitario varía de acuerdo a las condiciones intrínsecas del agregado, tales como su forma, granulometría y tamaño máximo asimismo depende de factores externos como la relación del tamaño máximo con el recipiente, la consolidación, la forma de colocación, etc.

Existen 2 tipos de pesos unitarios:

Peso Unitario Suelto: (P.U.S.): Viene a ser el peso del material en forma natural por unidad de volumen conocido. Este peso se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen.

$$P. U. S. = \frac{\text{Peso del material suelto (Kg)}}{\text{Volumen del recipiente(m}^3\text{)}}$$

Peso Unitario Compactado: (P.U.C.): Viene a ser el peso del material por unidad de volumen conocido después de un proceso de apisonado. Este ensayo nos puede determinar el grado de compactación que pueden presentar los materiales en su estado natural.

$$P. U. C. = \frac{\text{Peso del material compactado (Kg)}}{\text{Volumen del recipiente(m}^3\text{)}}$$

El peso unitario varía de acuerdo a las condiciones intrínsecas del agregado, tales como su forma, granulometría y tamaño máximo asimismo depende de factores externos como la relación del tamaño máximo con el volumen del recipiente, la consolidación, la forma de colocación, etc.

b) Agregado grueso

Se denomina agregado grueso retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o alternativamente con la norma ASTM C33.

Las partículas deben ser químicamente estables y estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

Granulometría: El análisis granulométrico es el proceso de dividir una muestra de agregado en partes de igual tamaño de partículas. Su propósito es determinar la distribución por tamaño del agregado.

Ya se mencionó ampliamente que a mayor tamaño de las partículas de agregado será menor el área de superficie que se va a humedecer por unidad de masa. Sin embargo hay un límite al tamaño máximo del agregado, por encima del cual la disminución en la demanda de agua es contrarrestada por los efectos nocivos de una menor área de adherencia y la discontinuidad que introducen las partículas muy grandes. Por lo mismo, el concreto se vuelve exageradamente heterogéneo con la siguiente disminución de la resistencia.

Entonces concluimos que la granulometría es de vital importancia, porque, origina un óptimo contenido de agua y de pasta de cemento en la proporción del diseño de concreto.

Tabla N° 5: especificaciones de gradación del agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (N° 4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,00 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (N° 4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (N° 4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: ASTM

Tamaño máximo: De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, define al Tamaño Máximo del agregado grueso como aquel que “corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

Tamaño máximo nominal: De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, define al Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso como aquel que “corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE E.060 Concreto Armado, el Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso no debe ser superior a ninguna de:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa, de ser el caso.

- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Estas limitaciones se pueden omitir si se demuestra que la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin la formación de vacíos o “cangrejeras”.

1.2.3 Concreto en estado fresco:

Durante el periodo en que el concreto en su inicio se comporta como un líquido, este es denominado “concreto en estado fresco”

A continuación se describen los tipos de propiedades más importantes en este estado y su respectivo ensayo a realizar en este estudio.

1.2.3.1 Trabajabilidad:

En el sentido más estricto, la trabajabilidad es la cantidad de trabajo interno útil necesaria para producir la compactación total. Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “Slump” o asentamiento con el cono de Abrams, que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, es sólo una manera de detectar cambios en la uniformidad de las mezclas en relación a la cantidad de agua y/o granulometría.

Para medir la trabajabilidad de las mezclas se utilizará la prueba de revenimiento, o asentamiento en el cono de Abrams, siguiendo la norma ASTM C 143 y NTP 339.035.

Ensayo de asentamiento: Para realizar esta prueba se utiliza un molde en forma de cono truncado de 30 cm de altura, con un diámetro inferior en su base de 20cm, y en la parte superior un diámetro de 10 cm. Para compactar el concreto se utiliza una varilla de acero liso estándar de 5/8" (16mm) de diámetro, redondeada en el extremo y con una longitud de 60 cm, tal como se muestra en la siguiente figura.

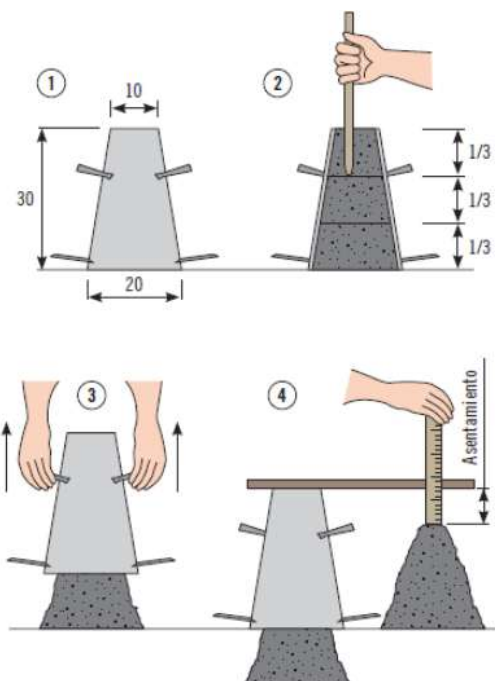


Figura N° 1: procedimiento del cono de Abrams

Técnicamente el ensayo se fundamenta en los siguientes pasos:

Llenado: El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas evitando el movimiento del molde durante el llenado, seguidamente se llena el molde en tres capas con el mismo volumen y se apisona cada una de ellas con la varilla, aplicando 25 golpes distribuidos uniformemente.

Apisonado: al apisonar la capa inferior se darán los primeros golpes con la varilla ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes con la varilla hasta la capa subyacente.

Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde.

En la superficie superior se elimina enrasando lo que sobra haciendo rodar la misma varilla por encima. Inmediatamente después del llenado se levanta verticalmente el cono con suavidad sin perturbar el concreto.

Medición del asentamiento: una vez levantado el molde, se mide inmediatamente la disminución de la altura del concreto moldeado respecto del molde.

Si en vez de desplomarse uniformemente en todo el alrededor, como en un verdadero desplome (figura N°2) la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que ocurre un revenimiento cortante y la prueba debe repetirse. Si persiste el revenimiento cortante, como puede ser el caso con mezclas ásperas, será una señal de falta de cohesión de la mezcla.

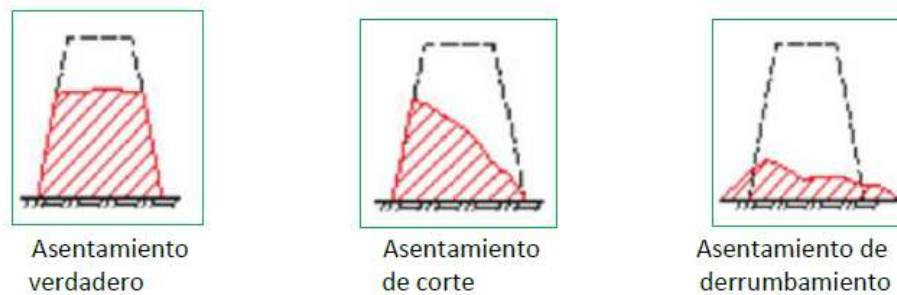


Figura N° 2: Tipos de asentamiento

Fuente: Neville y Brooks)

1.2.4 Concreto en estado endurecido:

1.2.4.1 Resistencia a compresión:

La resistencia de un material es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos sin fallar.

Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura) (Abanto, 1994, p.50-51).

La resistencia a la compresión de la briqueta cilíndrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{P}{A} \left(\frac{kg}{cm^2} \right); A = \frac{\pi\phi^2}{4}$$

Donde

f_c : Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto.

P : Carga de Rotura (kg)

ϕ : Diámetro de la briqueta cilíndrica (cm)

1.2.5 Ataques por ciclos de congelamiento y deshielo:

El concreto utilizado en losas de pavimentos, revestimiento de canales, superestructuras de puentes e infraestructuras en las zonas altoandinas de nuestro país; se espera que tenga una larga vida útil y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El proceso de deterioro en el concreto debido a ciclos de congelamiento y deshielo es un proceso complejo que se debe fundamentalmente al aumento de volumen de agua de los poros al congelarse por el descenso de la temperatura. El agua al congelarse y al no tener espacio suficiente para su nuevo estado, genera tensiones internas que se van acumulando por la repetición de los ciclos de congelamiento y deshielo y que provocan el deterioro del concreto.

Cuando la congelación ocurre en concretos que contenga agregados saturados, se pueden generar presiones perjudiciales dentro del agregado. El agua desplazada desde las partículas del agregado durante la formación del hielo no puede escapar lo suficientemente rápido hacia la pasta circundante para aliviar la presión. Sin

embargo, bajo casi todas las condiciones de exposición, una pasta de buena calidad, es decir con una baja relación agua/cemento evitará que la mayor parte de las partículas del agregado se saturen.

1.2.6 Mecanismos de daño por ciclos de congelamiento y deshielo en el concreto:

Los fenómenos de degradación del concreto por acción de congelamiento y deshielo se vienen estudiando desde mediados del siglo XX, si bien es cierto que no existe hasta la fecha una teoría única representativa del mecanismo de deterioro, debido a que los mecanismos de daño son complejos y para explicarlo se considerará separadamente, la pasta cementicia, y los agregados a la acción de congelamiento y deshielo.

Teoría de la presión hidráulica en la pasta cementicia: A finales de los 40, se desarrolló la teoría de la presión hidráulica para explicar el fenómeno. (Powers, 1945) explica que los daños que las heladas provocan en el concreto a las tensiones generadas por la presión hidráulica en los poros. Propuso la teoría que el aumento de volumen del agua del 9% durante la congelación en el concreto saturado hace que el agua emigre a una región menos saturada y además que la presión se debía a la resistencia viscosa al agua, a consecuencia de la baja porosidad del concreto. Si esta presión supera la resistencia del concreto en un punto, la acción de congelamiento produce las fisuras. Sin embargo, si el agua fuera capaz de emigrar a un hueco de aire, el congelamiento se formaría en aquel hueco, y la presión hidráulica desaparecería como se muestra en la siguiente figura:

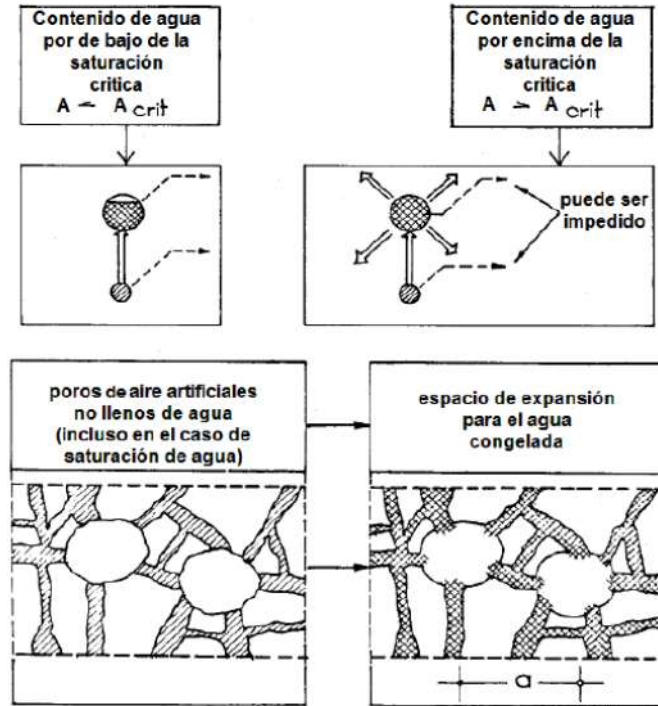


Figura N° 3: Principio de la presión hidráulica

Fuente: Rostam, 1989)

Teoría de la presión osmótica en la pasta cementicia: Powers y Helmut señalaron que en los poros, el agua está presente en forma de una solución alcalina débil. Cuando la temperatura del hormigón cae por debajo del punto de congelamiento hay un período inicial de superenfriamiento, luego del cual se forman cristales de hielo en los capilares de mayor tamaño. Esto provoca un aumento del contenido de álcalis en la porción no congelada de la solución dentro de estos capilares, creando un potencial osmótico que impulsa al agua presente en los poros cercanos a comenzar a difundirse hacia la solución que se encuentra en las cavidades congeladas (figura N°4). La dilución resultante de la solución en contacto con el hielo permite un mayor crecimiento del cuerpo de hielo (acreción). Cuando la cavidad se llena de hielo y solución, cualquier acreción de hielo adicional produce una presión de dilatación, la cual puede provocar la falla de la pasta. Al ser extraída el agua de los capilares no congelados, la pasta tiende a encogerse. (ACI 201.2R, 2001).

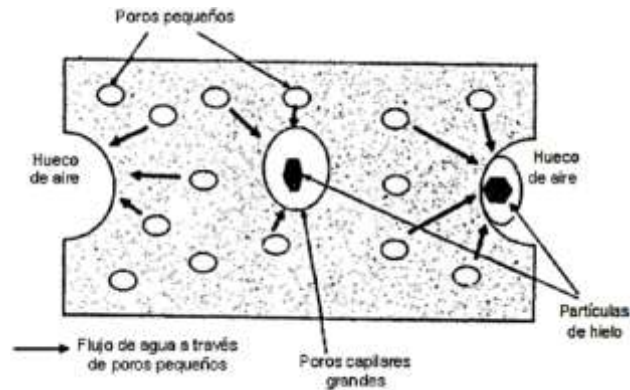


Figura N° 4: Principio de la presión osmótica

Fuente: Pigeon, 1995)

Teoría en los agregados: Duna y Hudec (1965), avanzaron la teoría del agua ordenada, según la cual la principal causa del deterioro de las rocas no es el congelamiento sino la expansión del agua adsorbida (la cual no se puede congelar); algunos casos específicos en los cuales se produjeron fallas aún sin congelamiento de los agregados calcáreos arcillosos parecían apoyar esta teoría.

Helmuth (1961), sin embargo encontró contradicciones en la teoría del agua ordenada, quien halló que durante el enfriamiento el agua adsorbida no se expande sino que en realidad se contrae.

Verbeck y Landgreen en 1960 (ACI Committee 201, 2000), demostraron que, cuando no están confinadas mediante pasta cementicia, la capacidad de las rocas naturales para soportar ciclos de congelamiento y deshielo sin sufrir daños aumenta a medida que disminuye su tamaño, y que hay un tamaño crítico por debajo del cual las rocas se pueden congelar sin que sufran daños.

En fin los daños en el concreto debido a ciclos de congelamiento y deshielo causado por los agregados se presentan como roturas puntuales alrededor de la partícula (Figura N°5)



Figura N° 5: Rotura del concreto debido al congelamiento del agregado

Fuente: Becker, 2010

1.2.7 Factores principales que afectan al daño por ciclos de congelamiento y deshielo

Los principales factores que afectan al daño por congelamiento y deshielo en el concreto son:

Grado de saturación: El daño en el concreto solo se produce a partir de un grado de saturación crítico, el CEB 1996 establece un umbral del 85% de humedad para que comience a producirse el ataque de congelamiento y deshielo. Como los procesos de difusión generados durante la congelación al agua son, hasta cierto punto irreversibles, la saturación de los poros de mayor diámetro se incrementa cuando aumenta el número de ciclos de congelamiento y deshielo. Ello significa que en determinadas circunstancias el deterioro debido al hielo se presenta sólo después de una serie de ciclos de congelamiento y deshielo.

Relación agua/cemento: La relación a/c influye en la porosidad de la pasta y por lo tanto en toda las propiedades de durabilidad del hormigón (concreto) (Pigeon, 1995). Conviene emplear la mínima relación a/c posible, ya que cuanto mayor sea esta mayor es el volumen de grado de poros presente en la pasta de cemento hidratada, que es donde reside el agua más fácilmente congelable y también es mayor la permeabilidad. El hormigón (concreto) preparado con relación a/c ≤ 0.3

no requiere airante para resistir al descascarillamiento por sal (Al-Assadi, 2009, p.37).

Contenido de aire del concreto: El hormigón (concreto), además de sus componentes sólidos, contiene un porcentaje de huecos provenientes del aire atrapado en su masa y del agua amasado que se evapora. Cuando existen bajas temperaturas que conducen a procesos de hielo-deshielo, las burbujas de aire contenidas en la masa actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Estas burbujas permiten reducir las tensiones internas que se originan por el congelamiento o impiden el deterioro progresivo y pérdida de la impermeabilidad, que se produciría en un hormigón (concreto) sin aire incorporado (Romero, 2011).

Influencia de los agregados: Al revisar la literatura técnica, son muchas las investigaciones que buscan el efecto que pueda causar los agregados en la durabilidad del concreto frente a los ciclos de congelamiento y deshielo. Donde se realizaron diferentes tipos de agregados, sin embargo, no se detalla completamente sus propiedades cuando se comparan resultados. Pero los agregados que no son resistentes al congelamiento en general, tal como indica el ACI 201, absorben el agua que se expande durante la congelación y destruye la pasta de cemento.

Resistencia a la compresión del concreto: Aunque no es un factor decisivo, la resistencia del concreto a los ciclos de congelamiento y deshielo si depende en gran medida de la resistencia a compresión y a tracción que tenga el material en el momento en el cual se produce el primer ciclo, siendo deseable que el concreto posea una resistencia a compresión de al menos 7.5 MPa antes de ser expuesto a la primera congelación prolongada con saturación crítica

1.2.8 Diseño de mezcla con el método comité 211 del ACI

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas de las tablas presentadas en este libro, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de concreto. El procedimiento para la selección de las proporciones que se presenta es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que para cada una de las tablas que indican en ellas.

Aunque los mismos datos básicos y procedimientos pueden ser empleados en el diseño de concretos pesados y concretos ciclópeos, al tratar estos se da la información complementaria.

Es usual que las características de obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla. Entre dichas limitaciones pueden estar:

- Relación agua-cemento máxima
- Contenido mínimo de cemento
- Contenido máximo de aire
- Asentamiento
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso
- Resistencia en compresión mínima
- Requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos, o la utilización de tipos especiales de cemento o agregados.

La estimación de las cantidades de materiales requeridas para preparar una unidad cubica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va a efectuar.

Independientemente que las características finales del concreto sean indicadas en las especificaciones o dejadas al criterio del profesional responsable del diseño de la mezcla, las cantidades de materiales por metro cubico de concreto pueden ser determinadas, cuando se emplea el Método del Comité 211 del ACI, siguiendo la secuencia que a continuación se indica:

- Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada y la desviación estándar.

- Selección de tamaño máximo nominal del agregado.
- Selección del asentamiento.
- Selección de volumen unitario del agua de diseño.
- Selección del contenido de aire.

Tabla N° 6: volumen unitario del agua

ASENTAMIENTO O SLUMP (MM)	Agua en lt/m³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO								
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%).	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: ACI

- Selección de la relación agua-cemento por resistencia y por durabilidad.

Tabla N° 7: relación agua - cemento

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'cr) (kg/cm²)	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: ACI

- Determinación del factor cemento.
- Determinación del contenido de agregado grueso.

Tabla N° 8: Volumen de agregado grueso, seco y compactado

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.45	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI

- Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso.
- Determinación del volumen absoluto de agregado fino.
- Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso.
- Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.
- Determinación de los pesos por tanda de un saco.

1.2.9 Diseño de mezcla con el método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados

En el método de diseño del ACI, se determina en primer lugar los contenidos de cemento, agua, aire y agregado grueso y, por diferencia de la suma de volúmenes absolutos en relación con la unidad, el volumen absoluto y peso seco del agregado fino.

De esta manera, sea cual fuere la resistencia deseada, en tanto se mantengan constantes el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza

del agregado fino, el contenido total de agregado grueso en la mezcla será el mismo, independientemente del contenido de pasta.

Este hecho ha llevado a muchos investigadores a cuestionar el método de diseño del ACI y buscar un procedimiento en el cual la relación fino-gruesa se modifique en función del contenido de pasta en consideración al contenido de cemento de esta.

Stanton Walker, conjuntamente con el grupo de investigación del laboratorio de concreto de la Universidad de Maryland, ha formulado un procedimiento de selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto en el cual los porcentajes de agregado fino y grueso se modifican en función de sus propios módulos de fineza, medida indirecta de sus granulometrías y superficies específicas, a partir de la determinación del módulo de fineza de la mejor combinación de agregados para las condiciones planteadas por las especificaciones de obra.

En el método del módulo de fineza de la combinación de agregados, los contenidos de agregados fino y grueso varían para las diferentes resistencias, siendo esta variación función, principalmente de la relación agua-cemento y del contenido total de agua, expresados a través del contenido de cemento de la mezcla.

Este método tiene como consideración fundamental además de lo ya expresado, la premisa de que el módulo de fineza del agregado, fino o grueso, es un índice de su superficie específica y que en la medida que esta aumenta se incrementa la demanda de pasta, así como que si se mantiene constante la pasta y se incrementa la fineza del agregado disminuye la resistencia por adherencia.

Como consecuencia de las investigaciones realizadas se ha podido establecer una ecuación que relaciona el módulo de fineza de los agregados fino y grueso, así como su participación porcentual en el volumen absoluto total del agregado. Aplicando dicha ecuación es posible determinar el valor del módulo de fineza de la combinación de agregados más convenientemente para condiciones dadas de la mezcla.

Dicha ecuación es:

$$m = R_f \cdot m_f + R_g \cdot m_g$$

Donde:

m: módulo de fineza de la combinación de agregados.

mf: módulo de fineza del agregado fino.

mg: módulo de fineza del agregado grueso.

Rf: Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.

Rg: Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado.

Del análisis de la ecuación se puede deducir que el módulo de fineza de una combinación de agregados fino y grueso es igual a la suma de los productos de los módulos de fineza de cada ingrediente por la relación del volumen absoluto de cada ingrediente al volumen absoluto de todos los ingredientes.

Aplicando la ecuación es posible obtener los diversos valores del módulo de fineza de la combinación de agregados que dan las mejores condiciones de trabajabilidad para diversos contenidos de cemento por metro cubico de concreto. Dichos valores están indicados en la siguiente tabla.

Tabla N° 9: Modulo de finura de la combinación de agregados

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que a las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos del cemento en sacos / metros cúbicos indicados.			
	6	7	8	9
3/8''	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2''	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4''	4.96	5.04	5.11	5.19
1''	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2''	5.56	5.64	5.71	5.79
2''	5.86	5.94	6.01	6.09
3''	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: MFCA.

Es importante señalar que los valores de las tablas están referidos a agregado angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35% para condiciones diferentes se debe seguir lo indicado en la tabla.

Se ha establecido que los agregados fino y grueso comprendidos dentro de las especificaciones de la norma ASTM C 33 deben producir concretos trabajables, en

condiciones ordinarias, cuando el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores de la tabla ya vista.

Del análisis de esta tabla se aprecia que es necesario conocer, para determinar el módulo de fineza de la combinación de agregados, el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el contenido de cemento de la unidad cúbica de concreto.

Es importante igualmente recordar que los valores que corresponden a concretos sin aire incorporado y pueden producir buenas mezclas cuando se emplean los métodos de colocación y compactación usuales. Sin embargo, pueden ser algo sobre arenosos para ser empleados en pavimento o en estructuras en las que se utiliza concreto ciclópeo.

Cuando las condiciones de colocación son muy favorables los valores tomados de la tabla pueden incrementarse hasta 0.2. Igualmente, cuando se ha incorporado aire a la mezcla, el valor tomado de la tabla puede ser incrementado en 0.1 para obtener adecuado beneficio de la incorporación de aire sobre trabajabilidad.

La proporción de agregado fino, de módulo de fineza conocido en relación al volumen absoluto total del agregado necesario para, de acuerdo a la riqueza de la mezcla, obtener un módulo de fineza determinado en la combinación de agregados puede ser calculada, a partir de la siguiente ecuación:

$$R_f = \frac{m_g - m}{m_g - m_f} \times 100$$

El valor obtenido de esta ecuación, multiplicado por el volumen absoluto de agregados, nos permite conocer el volumen absoluto de agregado fino. Por diferencia se puede determinar el volumen absoluto de agregado grueso.

Ambos volúmenes absolutos, multiplicados por sus respectivos pesos secos sólidos, permiten calcular los pesos secos por unidad de volumen del concreto, de los agregados fino y grueso.

1.2.10 Diseño de mezcla con el método de Fuller:

Este método es general y se aplica cuando los agregados no cumplan con la Norma ASTM C 33. Asimismo se debe usar para dosificaciones con más de 300 kg de cemento por metro cúbico de concreto y para tamaños máximos del agregado

grueso comprendido entre 20mm (3/4'') y 50mm (2'').

Relación:

$$\frac{a}{c} = \frac{1}{Z}; Z = K_1 \cdot R_m + 0.5$$

Donde:

K_1 : Factor que depende de la forma del agregado de 0.0030 a 0.0045 para piedra chancada y de 0.0045 a 0.0070 para piedra redondeada.

R_m : Resistencia promedio requerida.

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\text{Contenido de Cemento} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado} \left(\frac{lbs}{m^3} \right)}{\text{Relacion} \frac{a}{c} \text{ (para } f'_c \text{)}}$$

$$\text{Volumen de Cemento} (m^3) = \frac{\text{Contenido de cemento} (kg)}{\text{Peso específico del cemento} \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Ley de Füller:

$$P_d = 100 \sqrt[100]{d/D}$$

Donde:

- P_d : % que pasa por la malla d.
- d: Abertura de la malla de referencia.
- D: Tamaño máximo del agregado grueso.

La relación arena/agregado, el volumen absoluto, se determina gráficamente:

- Se dibujan las curvas granulométricas de los 2 agregados.
- En el mismo papel, se dibuja la parábola de Fuller (Ley de Fuller).
- Por la malla N° 4 trazamos una vertical la cual determinará en las curvas trazadas 3 puntos.

A= % Agregado fino que pasa por la malla N° 4.

B= % Agregado grueso que pasa por la malla N° 4.

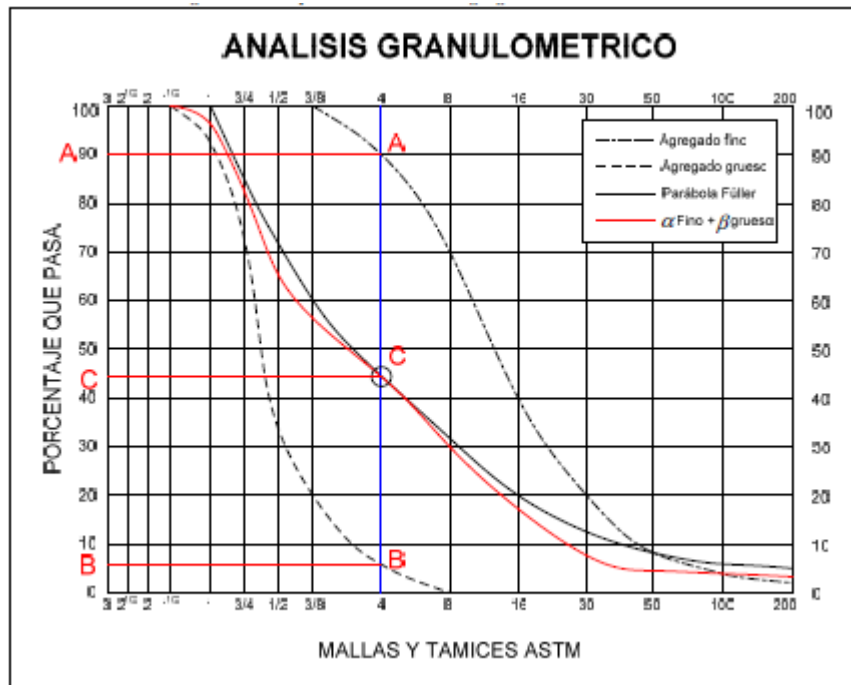
C= % Agregado ideal que pasa por la malla N° 4.

Si llamamos:

a : % en volumen absoluto del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.

b : % en volumen absoluto del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.

Gráfico N° 1: curva de Fuller



Fuente: Fuller

El grafico nos muestra un ejemplo de la determinación de las proporciones de agregado fino y agregado grueso en relación al volumen total de agregados por metro cubico de concreto.

Entonces:

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

$$\beta = 100 - \alpha$$

Teniendo los valores de a y b podemos calcular el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto, de la siguiente manera:

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire} + \text{Vol. Cemento})$$

$$\text{Vol. agregado fino (m}^3\text{)} = \frac{\alpha}{100} \times \text{Vol. total de agregados(m}^3\text{)}$$

$$\text{Vol. agregado grueso (m}^3\text{)} = \frac{\beta}{100} \times \text{Vol. total de agregados(m}^3\text{)}$$

$$\text{Peso agregado fino } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = (\text{Vol. ag. fino})(\text{Peso especifico del ag. fino})$$

$$\text{Peso agregado grueso } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = (\text{Vol. ag. grueso})(\text{Peso especifico del ag. grueso})$$

1.2.11 Análisis estadístico:

Las medidas de variación o dispersión están relacionadas con las medidas de tendencia central, ya que lo que pretende es cuantificar como de concentrados o dispersos están los datos respecto a estas medidas. Nos limitaremos a dar medidas de dispersión asociadas a la media.

La media aritmética: es el promedio aritmético de todos los resultados de los ensayos.

$$\bar{X} = (f_1 \cdot X_1 + f_1 \cdot X_2 + f_1 \cdot X_3 + \dots + f_1 \cdot X_n) / n$$

La varianza: cuando la población es finita y está formado por n valores, la varianza se define como:

$$S^2 = [(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2] / (n - 1)$$

La desviación estándar, es la raíz cuadrada de la varianza y nos indica que tan dispersos están los resultados de la media aritmética.

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

El Coeficiente de Variación, es la división entre la desviación estándar y la media aritmética de las muestras, expresado en porcentaje. También conocida como coeficiente de variación existente entre la desviación estándar y la media, esta medida indica que entre mayor porcentaje de variación es mayor la dispersión.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

El coeficiente de variación, es una medida de dispersión relativamente adimensional que sirve para determinar el grado de homogeneidad o heterogeneidad de un grupo o serie estadística que se analiza, y es de gran utilidad sobre todo cuando se comparan distribuciones.

Coefficiente de correlación de Pearson: El coeficiente de correlación de Pearson, se ajusta al tipo de información cuantitativa, esto con la finalidad de detectar y medir la asociación entre variables. Los valores del coeficiente de correlación oscilan entre ± 1 , y se explica de la siguiente manera:

- El valor de $r=+1$, indica una correlación positiva perfecta o correlación directa, cuando al aumentar ó disminuir el valor de la variable independiente, aumenta ó disminuye también el valor de la variable dependiente (pendiente positiva).
- El valor de $r=-1$, expresa una correlación inversa o relación negativa perfecta, cuando al aumentar ó disminuir el valor de la variable independiente, disminuye ó aumenta el valor de la variable dependiente (pendiente negativa).

- El valor $r=0$, indica ausencia absoluta de correlación, es decir las dos variables no están correlacionadas o relacionadas.

El coeficiente de correlación está definido por:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2] \cdot [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n\bar{Y}^2]}}$$

Los rangos del coeficiente de correlación, se puede interpretar haciendo uso de las siguientes expresiones:

$r=0.2$ a $r=0.3$ coeficiente de correlación muy bajo.

$r=0.4$ a $r=0.5$ coeficiente de correlación bajo.

$r=0.6$ a $r=0.7$ coeficiente de correlación alto.

$r=0.8$ a $r=1.0$ coeficiente de correlación muy alto.

Coefficiente de determinación: El coeficiente de determinación R^2 , es el valor cuadrado del coeficiente r de Pearson y representa la proporción de la varianza explicada por una variable respecto a la varianza total, también se le conoce con el nombre de determinación porque se considera como medida del grado de influencia de una variable frente a la otra variable. El coeficiente de determinación mide la proporción de la variación que se explica por la variable independiente en el modelo de regresión, y está definido por:

$$R^2=r^2$$

1.3. Definición de Términos Básicos:

Granulometría: En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la sólida, la líquida y la gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.).

Dosificación: Dosificar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los agregados disponibles, cemento, agua y en ciertos casos aditivos, con el fin de producir una mezcla con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las características de resistencia y durabilidad necesarias para el tipo de construcción en que habrá de utilizarse.

Concreto: El concreto es una mezcla de cemento portland agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuados para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistente: $\text{Concreto} = \text{Cemento Portland} + \text{Agregados} + \text{Aira} + \text{Aguas}$.

Agregados Pétreos: Son agregados que se encuentran en las riberas de los ríos.

Agregados Calcáreos: Son agregados que se encuentran en canteras de caliza.

Cemento Portland: Es un cemento comercial de fácil adquisición, está compuesto por Clinker (caliza procesada), yeso y según sea el caso puzolánico (piedra volcánica).

Rotura de Probetas: Es el ensayo en el cual las probetas de concreto se colocan bajo una fuerza de compresión con una presa hidráulica la cual nos dar la resistencia al concreto.

Aditivo acelerante: Los aditivos acelerantes tienen el propósito de lograr que el concreto desarrolle resistencia rápidamente, por lo tanto aceleran el proceso de fraguado del cemento.

Aditivo aire incorporado: El aditivo inclusor de aire permite generar durante el mezclado del concreto un sistema de pequeñas burbujas de 0.025 a 0.1 mm espaciadas uniformemente en toda la masa del concreto. El sistema de burbujas provee al concreto de una resistencia especial contra el intemperismo, en particular protege al concreto del

deterioro producido por las heladas o los ciclos de congelamiento y deshielo, por esta razón se dice que el aire introducido mejora la durabilidad del concreto.

ASTM: American Society of Testing Materials. Organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para materiales, productos, sistemas y servicios.

Agregado Fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial del agregado, que pasa el tamiz NTP 9.5 mm (3/8”) según NTP 350.001 y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Agregado Grueso: Agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Concreto Fresco: Se le llama así al concreto en estado plástico, cuando aún no ha sido iniciado su proceso de fraguado. El concreto fresco debe ser adecuado para la obra particular a la que se destine, en especial su docilidad que debe permitir recibirlo, transportarlo, colocarlo en los encofrados y terminarlo con los medios disponibles. Durante estas actividades no debe producirse ninguna segregación de los materiales componentes, en especial el agua. Una vez terminada la colocación del concreto en los encofrados, debe ser homogéneo, compacto y uniforme.

Concreto Endurecido: Estado físico del concreto donde se caracteriza por su dureza y rigidez, y que se produce cuando termina el fraguado, a partir de la cual, el conjunto de materiales granulares, pulverulentos y agua, se han convertido en una verdadera piedra artificial.

1.4. Objetivos:

1.4.1 Objetivo general:

Determinar el óptimo concreto, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.

1.4.2 Objetivo específico:

- Determinar las propiedades físicas de los agregados, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.
- Determinar el mejor método de diseño de la mezcla del concreto, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.
- Determinar el concreto con aditivo acelerante, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca
- Determinar el concreto con aire incorporado, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.
- Determinar el concreto usando aire incorporado más acelerante, para mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca

1.5. Hipótesis:

1.5.1 Hipótesis general:

Al determinar el óptimo concreto, permitirá mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.

1.5.2 Hipótesis específica:

- Al determinar las propiedades físicas de los agregados, permitirá mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.

- Al determinar el mejor método de diseño de la mezcla del concreto, permitirá mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.
- Al determinar el concreto con aditivo acelerante, permitirá mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca
- Al determinar el concreto con aire incorporado, permitirá mejorar su comportamiento físico y mecánico a bajas temperaturas en el Distrito de Chaupimarca.

1.6. Operacionalización de variables:

Tabla N° 10: Operación de variables

VARIABLE	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTACIÓN
<u>Variable independiente</u> Optimo concreto	Propiedades físicas de los agregados	Contenido de Humedad Absorción Peso unitario Compactado Peso unitario Suelto Peso específico Porcentaje de finos	Norma Técnica Peruana (NTP) ACI, Modulo de finura de la combinación de agregados y Fuller
	Diseño de Mezcla	Proporción en peso y volumen de los materiales del concreto	
	Aditivo acelerante y aire incorporado	Optimo porcentaje de adición de aditivo	ASTM C 494
<u>Variable dependiente</u> Mejora su comportamiento físico y mecánico	Resistencia a la compresión	Resistencia mayores a 210 kg/cm ²	Norma Técnica Peruana (NTP)
	Comparación del concreto convencional vs concreto con aditivo acelerante y aire incorporado	Resistencia del concreto convencional Resistencia del concreto con aditivos	Norma Técnica Peruana (NTP)

Fuente: Tesista

1.7. Población y muestra:

Se va utilizar 48 probetas de concreto, usando los agregados de la cantera Sacra Familia del Distrito de Chaupimarca, con cemento tipo portland I, los aditivos acelerante y aire incorporado

Serían con el 100% de confiabilidad, se tomaría las 48 probetas pero divididas de la siguiente manera:

Tabla N° 11: muestra de probetas

Días de rotura	Probeta con 0% aditivo	Probeta con aditivo acelerante	Probeta con aditivo aire incorporado	Probeta con aire incorporado más acelerante	total
7 días	3	3	3	3	48 probetas
15 días	3	3	3	3	
28 días	3	3	3	3	
45 días	3	3	3	3	

Fuente: Tesista

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Nivel y tipo de investigación:

De acuerdo a la **Orientación es Aplicada**, ya que se va utilizar teorías existentes como las Normas Técnicas Peruanas y el ASTM para determinar las propiedades físicas de los agregados y las propiedades del concreto. También para el diseño de mezcla del concreto se utilizara los métodos de ACI, Fuller, y Modulo de finura de la combinación de agregados.

De acuerdo al **Enfoque es Cuantitativo**, porque la variable independiente y dependiente son variables continuos, cuyos datos obtenidos de los ensayos de laboratorio de los agregados y del concreto en condiciones de hielo y deshielo.

Es una **investigación descriptiva**, porque se describe el comportamiento del concreto usando los aditivos a bajas temperaturas (hielo y deshielo) sin alterar el funcionamiento del concreto a ser usadas.

2.2. Diseño de la investigación:

El diseño de esta investigación **Experimental**, Porque la investigación se va a realizar modificando la variable independiente con las diferentes aditivos y el comportamiento., para comparar con un concreto convencional a bajas temperaturas.

De acuerdo con la direccionalidad es **Prospectiva**, Porque se mide y/o analiza en el presente las causas que pueda ocasionar el uso del concreto convencional y el concreto mezclando aditivo acelerante mas aire incorporado, y efecto en el futuro para poder implementar el uso y la mejorar que pueda ocasionar al concreto.

De acuerdo con la evolución del fenómeno estudiado es **Transversal**, Porque se recolectan y/o miden los datos una sola vez de la variable, y de inmediatamente procede

a su descripción o análisis de los datos obtenidos de cada ensayo adicionando los aditivos.

2.3. Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Fuente primaria: los formatos de recojo de datos de las propiedades de los agregados y del concreto que nos proporciona la Norma Técnica Peruana y el ASTM, Especificaciones Técnicas de los Aditivos, temperatura de hielo y deshielo.

Fuentes Secundarias: libros, revistas, manuales, tesis, material electrónico.

2.4. Procesamiento y presentación de datos:

El Procesamiento de datos en Excel y se va a desarrollar coeficiente de variación, desviación estándar, coeficiente de Persón y coeficiente de determinación para validar los resultados.

Se presentara cuadros estadísticos, gráficos, histogramas, etc. para poder interpretar mejor los resultados obtenidos producto de los ensayos.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Aspectos generales:

Ubicación geográfica:

El Distrito de Chaupimarca con su capital Cerro de Pasco por lo que se denomina la ciudad más alta del mundo con una superficie de 15.63 km², es uno de los trece que conforman la provincia peruana de Pasco situada en la parte suroccidental del departamento homónimo,. Fue creado mediante Ley N°10030 el 27 de noviembre de 1944 en el gobierno del Presidente Manuel Prado y Ugarteche.

Coordenadas geográficas:

Latitud : 10° 26' 00'' S.

Longitud : 76° 32' 00'' W.

Altitud : 4380 m.s.n.m.

Limites:

Por el norte con el Distrito de Yanacancha.

Por el oeste con el Distrito de Yanacancha y Tielacayan.

Por el este con el Distrito de Simón Bolívar.

Por el sur este con el distrito de Tinyahuarco.

la periferia Norte y Oeste de la ciudad de Cerro de Pasco) y pequeñas explanadas altoandinas de escasa vegetación. Los valles y quebradas tienen un origen glacial y fluvio glacial con deposiciones morrénicas glaciares, alternado con formaciones estructurales de origen antropogénico. Asimismo, se tiene la presencia de depósitos morrénicas superficiales ligeramente planas con pendientes entre 15 y 25%, plana con tierras altas que alcanzan una altura promedio de 4,300 m.s.n.m.

3.2. Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados:

3.2.1. Cantera:

Los agregados usados para la elaboración del concreto en la investigación, fueron obtenidos de la cantera de Sacra Familia, ubicada al oeste aproximadamente a 15 Km., de la ciudad de Chaupimarca, dicha cantera es la mejor de la zona ya que en el Distrito de Chaupimarca se carece de buenos agregados, el análisis de la investigación se desarrolla con los las condiciones y recursos que tiene el distrito en agregados, clima, aditivos, cemento, agua, etc.



Ilustración N° 1: ubicación de la cantera Sacra Familia

Fuente: Tesista

3.2.2. Agregado Fino (NTP 400.037):

Se utilizó el tamiz N°4 (4.75mm) para separar el agregado en grueso y fino.

La separación se realizó de la siguiente manera:

- Primero se realizó el extendido del material, para realizar el secado de dicho material permitiendo así que las partículas del agregado fino no se adhieran al agregado grueso.
- Luego se realizó la separación de agregado fino y agregado grueso con el material (ya seco) con ayuda de la malla N°4.

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino:

Tabla N° 12: Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (N.T.P. 400.022 ASTM C-128)

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA	
			M - 1	M - 2
1	Peso de la fiola	gr	181.56	181.54
2	Peso de la arena superficialmente seca + peso de la fiola	gr	681.56	666.00
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso de la fiola + peso del agua	gr	986.53	986.50
4	Peso del agua	gr	304.97	304.97
5	Peso de la arena seca	gr	489.98	489.95
6	Volumen de la fiola	cm ³	500	500
RESULTADOS				
7	Densidad muestra seca	gr/cm ³	2.51	2.73
8	Densidad muestra sss	gr/cm ³	2.56	2.79
9	Densidad aparente	gr/cm ³	2.65	2.89
10	Porcentaje de Absorción	%	2.04	2.05
PROMEDIO				
11	Densidad muestra seca	gr/cm ³	2.62	
12	Densidad muestra sss	gr/cm ³	2.67	
13	Densidad aparente	gr/cm ³	2.77	
14	Porcentaje de Absorción	%	2.05	

Fuente: Tesista

Peso Unitario Suelto del Agregado Fino:

Tabla N° 13: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino (N.T.P. 400.017 ASTM C-29)

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	MUESTRAS		
			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	6659	6645	6679
2	Peso del Recipiente	gr	1638	1638	1638
3	Peso de la Muestra	gr	5021	5007	5041
4	Volumen del Recipiente	m3	0.00286	0.00286	0.00286
5	P.U.S.	kg/m3	1758	1753	1765
7	Promedio P.U.S. Seco	kg/m3		1758	

Fuente: Tesista

Peso Unitario Compactado del Agregado Fino:

Tabla N° 14: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino (N.T.P. 400.017 ASTM C-29)

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	MUESTRAS		
			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	6803	6815	6888
2	Peso del Recipiente	gr	1638	1638	1638
3	Peso de la Muestra (1-2)	gr	5165	5177	5250
4	Volumen del Recipiente	m3	0.00286	0.00286	0.00286
5	P.U.C	kg/m3	1808.00	1812.20	1837.75
7	Promedio P.U.S. Compacto	kg/m3		1819	

Fuente: Tesista

Contenido de Humedad del Agregado Fino:

Tabla N° 15: Contenido de Humedad del Agregado Fino

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	M - 1
1	Peso de la tara	gr	0.11
2	Peso de la tara + Muestra Húmeda	gr	0.98
3	Peso de la Tara + Muestra Seca	gr	0.94
4	Peso del Agua Contenida	gr	0.04
5	Peso de la Muestra Seca	gr	0.83
6	Contenido de Humedad	%	4.22

Fuente: Tesista

Granulometría:

- Tomamos una muestra representativa por cuarteo la cantidad de 8.31 Kg.
- Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente.
- Colocamos varios recipientes cerca al lugar donde se hará el ensayo, esto para colocar el material acumulado en cada tamiz.
- Se procede a colocar la muestra de agregado en la malla superior, y se imprime movimientos a la muestra (adelante, atrás, izquierda, derecha y circular) no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- Cuando ya se encuentre lleno de muestras los tamices, colocamos las muestras retenidas de cada tamiz en los recipientes.
- Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una y anotar los resultados.
- Después de culminar el tamizado del material se procede a pesar cada retenido, para su cálculo respectivo

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en la tabla N°15 y el grafico N°2, donde se puede observar que la granulometría del agregado fino no está dentro de los límites establecidos por las normas.

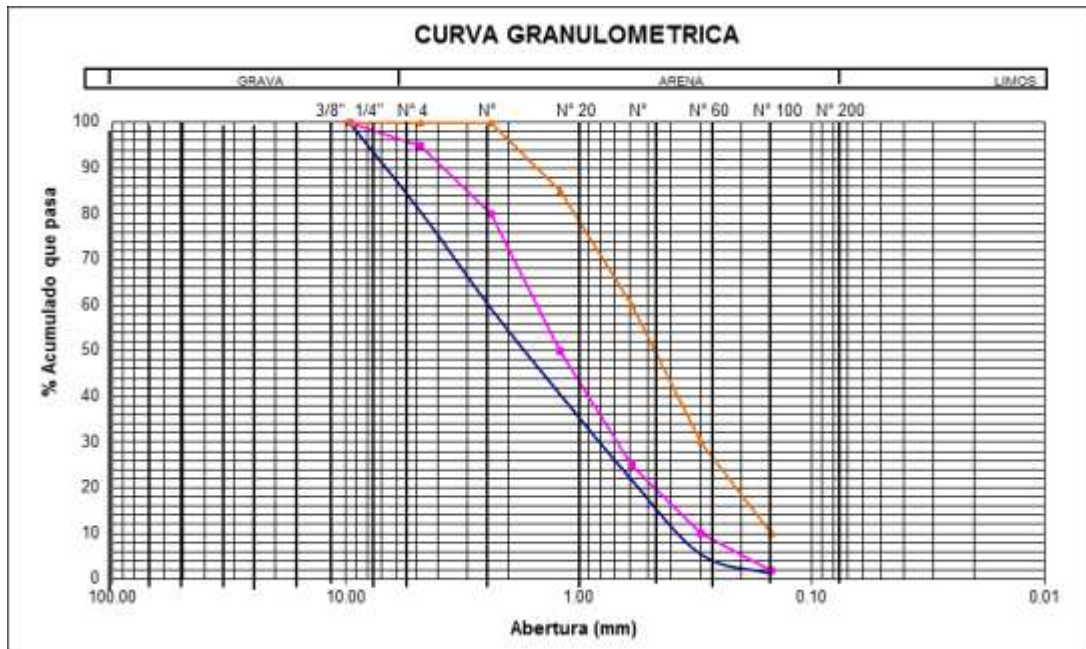
Tabla N° 16: Granulometría del Agregado Fino

Peso Muestra 831.00 grms.

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	% RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	
					MIN	MAX
			100.00			
3/8"	2.25	0.27	99.73	0.27	100.00	100.00
4	159.75	19.22	80.51	19.49	95.00	100.00
8	175.40	21.11	59.40	40.60	80.00	100.00
16	158.55	19.08	40.32	59.68	50.00	85.00
30	154.47	18.59	21.73	78.27	25.00	60.00
50	135.66	16.32	5.41	94.59	10.00	30.00
100	34.66	4.17	1.23	98.77	2.00	10.00
FONDO	8.21	0.99	0.25	99.75	0.00	0.00

Fuente: Tesista

Gráfico N° 2: Curva Granulométrica del Agregado Fino



Fuente: Tesista

3.2.3. Agregado Grueso (NTP 400.037):

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso:

Tabla N° 17: Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (N.T.P. 400.022 ASTM C-128)

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA	
			M - 1	M - 2
1	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca	gr	7400.00	7408.00
2	Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	1090.00	5705.00
3	Peso de la Muestra Saturada + Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	5700.00	1088.00
4	Peso de la Muestra Saturada Sumergida	gr	4610.00	4617.00
7	Peso de la Muestra Seca	gr	7320.00	7327.00
RESULTADOS				
8	Gravedad Especifica Seca	gr/cm3	2.62	2.63
9	Gravedad Especifico Saturada	gr/cm3	2.65	2.65
10	Peso Específico Aparente	gr/cm3	2.70	2.70
11	Porcentaje de Absorción	%	1.09	1.11
PROMEDIO				
12	Gravedad Especifica Seca	gr/cm3	2.62	
13	Gravedad Especifico Saturada	gr/cm3	2.65	
14	Peso Específico Aparente	gr/cm3	2.70	
15	Porcentaje de Absorción	%	1.10	

Fuente: Tesista

Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso:

Tabla N° 18: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso (N.T.P. 400.017 ASTM C-29)

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	MUESTRAS		
			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	19370	19400	19290
2	Peso del Recipiente	gr	11850	11850	11850
3	Peso de la Muestra	gr	7520	7550	7440
4	Volumen del Recipiente	cm3	0.00555	0.00555	0.00555
5	P.U.S.	kg/m3	1354	1359	1340
7	Promedio: P.U.S. Seco	kg/m3		1351	

Fuente: Tesista

Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso:

Tabla N° 19: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso (N.T.P. 400.017, ASTM C-29)

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	MUESTRAS		
			M - 1	M - 2	M - 3
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	20410	20360	20370
2	Peso del Recipiente	gr	11850	11850	11850
3	Peso de la Muestra	gr	8560	8510	8520
4	Volumen del Recipiente	m3	0.00555	0.00555	0.00555
5	P.U.C	kg/m3	1541	1532	1534
7	Promedio P.U.S. Compacto	kg/m3		1536	

Fuente: Tesista

Contenido de Humedad del Agregado Grueso:

Tabla N° 20: Contenido de Humedad del Agregado Grueso

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	M - 1
1	Peso de la Tara	gr	0.14
2	Peso de la Tara + Muestra Húmeda	gr	6.31
3	Peso de la Tara + Muestra Seca	gr	6.29
4	Peso del Agua Contenida	gr	0.02
5	Peso de la Muestra Seca	gr	6.14
6	Contenido de Humedad	%	0.31

Fuente: Tesista

Granulometría:

La granulometría del agregado es un factor importante en la trabajabilidad del concreto y ésta, afecta las cantidades de agua y cemento, controla la segregación, ejerce cierto efecto en el sangrado e influye en la colocación y el acabado del concreto. Esos factores representan las características importantes del concreto fresco y también afecta sus propiedades cuando ha fraguado: resistencia, contracción y durabilidad.

Procedimiento:

- Tomamos una muestra representativa por cuarteo la cantidad de 9.310 Kg.
- Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente.
- Colocamos varios recipientes cerca al lugar donde se hará el ensayo, esto para colocar el material acumulado en cada tamiz.
- Se procede a colocar la muestra de agregado en la malla superior, y se imprime movimientos a la muestra (adelante, atrás, izquierda, derecha y circular) no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- Cuando ya se encuentre lleno de muestras los tamices, colocamos las muestras retenidas de cada tamiz en los recipientes.
- Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una y anotar los resultados.
- Después de culminar el tamizado del material se procede a pesar cada retenido, para su cálculo respectivo

Los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso se muestran en la tabla N°21 y el grafico N°3, donde se puede observar que la granulometría del agregado grueso no está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037.

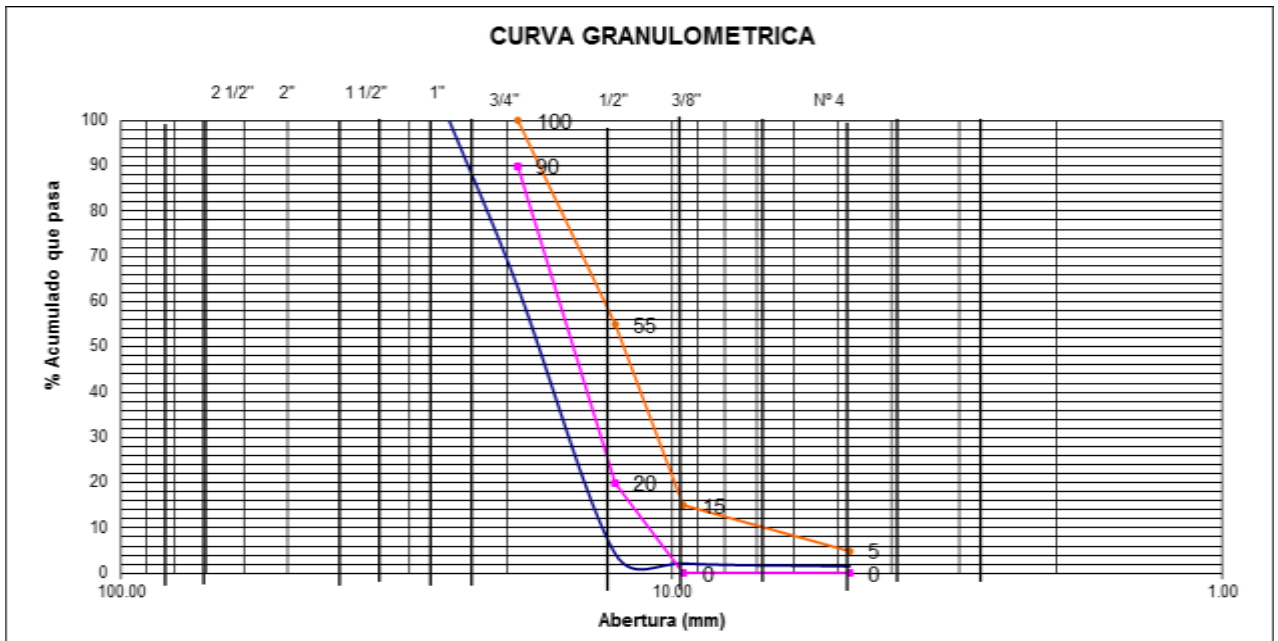
Tabla N° 21: Granulometría del Agregado Grueso

Peso
Muestra 9310.10 grms.

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	% ACUMULADO	% QUE PASA	
					MIN.	MAX.
2 1/2"			100.00	0.00		
2"			100.00	0.00		
1 1/2"	0.00	0.00	100.00	0.00		
1 "	0.00	0.00	100.00	0.00	100	100
3/4"	3441.00	36.96	63.04	36.96	90	100
1/2"	5458.30	58.63	4.41	95.59	20	55
3/8"	207.00	2.22	2.19	97.81	0	15
Nro. 4	60.80	0.65	1.54	98.46	0	5
Nro. 8	10.00	0.11	1.43	98.57		
FONDO	126.98	1.36	0.17	99.83		

Fuente: Tesista

Gráfico N° 3: Curva Granulométrica del Agregado Grueso



Fuente: Tesista

3.3. Descripción de los aditivos:

3.3.1 Aditivo acelerante de fragua para morteros y concretos:

Puede ser empleado tanto en climas normales con temperatura ambiente como bajo cero grados centígrados. Acelera el desarrollo de las resistencias iniciales, haciéndose más notorio en temperaturas bajas. Además, actúa como un anticongelante e inhibidor de corrosión del fierro de refuerzo. Es adecuado para cementos Portland Tipo I y Tipo V, puzolánicos. Libre de cloruros. Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo C.

Ventajas:

- Acelera las resistencias iniciales en el concreto, ahorrándose tiempo de espera para desencofrar estructuras o elementos prefabricados.
- Permite una rápida puesta en servicio en pisos o losas de concreto.
- Al ser anticongelante evita que los morteros y concretos sufran daños debido a los ciclos hielo-deshielo.
- Actúa como inhibidor de corrosión del fierro de refuerzo, ideal para concreto armado.
- Reduce los costos de construcción al reducir los tiempos de espera.

Usos:

- Para vaciados en cualquier clima, donde se requiere una rápida puesta en servicio.
- Para desencofrar en menor tiempo estructuras de concreto armado.
- En vaciados de concreto a baja temperatura o donde se espera una helada; fraguará el concreto en la mitad del tiempo.
- Para reparaciones económicas y con rápida puesta en servicio.
- Para vaciados en terrenos sulfurosos.
- Para elementos de concreto pre fabricados.
- Para morteros y concretos con altas resistencias iniciales.
- Para morteros de inyección.
- Para morteros de anclaje con altas resistencias mecánicas.

- Para vaciados en zonas con aguas subterráneas, superficiales.

Datos técnicos:

- Aspecto : Líquido.
- Color : Amarillo.
- Densidad : 1.15 – 1.18 kg/L.
- pH : 8.0 – 11.0
- VOC : 0 g/L.

3.3.2 Aditivo incorporador de aire que evita fisuramiento por efecto hielo deshielo del concreto.

Es un aditivo formulado a base de agentes tensoactivos, que producen un atrapamiento uniforme de aire entre el 3.5 y 7% en el concreto, brindando propiedades de plastificidad y flexibilidad a la mezcla. Ideal para lugares donde la temperatura desciende a menos de 0°C. Es compatible con todos los tipos de concretos, mezclas cementosas y morteros. No contiene cloruros. Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C260.

Ventajas:

- Aumenta la durabilidad del concreto, debido al atrapamiento de burbujas de aire dentro del concreto.
- Evita el fisuramiento del concreto por acción hielo y deshielo en zonas donde existen bajas temperaturas.
- Mejora la trabajabilidad facilitando el colocado y bombeo del concreto.
- Aumenta la resistencia química del concreto (ataques de sales y aguas agresivas).
- Reduce la exudación del concreto.
- Mejora las condiciones térmicas del concreto debido a sus conocidas propiedades como aislante térmico; haciéndole ideal para la construcción de viviendas, oficinas, hoteles, etc.

Usos:

- Concretos bombeados.
- Concretos elaborados en zonas donde existe bajas temperaturas.
- concretos que estarán expuestos a una gran radiación solar como losas, techos, estructuras de viviendas, edificios, pistas cubiertas de puentes, sin necesidad de juntas de dilatación.

Datos técnicos:

- Apariencia : Líquido.
- Color : Marrón.
- Densidad : 3.80 Kg/gal \pm 0.10
- pH : 8.0 – 10.0
- Olor : Característico
- VOC : 0.0 g/L
- Solubilidad : Agua

3.3.3 Cemento:

Es un Cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda Clinker Tipo I y yeso.

Beneficios:

- Alta resistencia a mediano y largo plazo, alta durabilidad.
- Excelente trabajabilidad y acabado.
- Bajo contenido de álcalis. Buena resistencia a los agregados álcali reactivos.
- Moderada resistencia al salitre.

Usos:

- Estructuras sólidas de acabados perfectos.
- Construcciones en general de gran envergadura como, puentes, estructuras industriales y conjuntos habitacionales.
- Shotcrete y Pre-Fabricados.

Características Técnicas:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

Tabla N° 22: Propiedades físicas y químicas del cemento

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD	REQUISITO (NTP 334.009 / ASTM C-150)
Contenido de aire	%	5.08	Máximo 12
Expansión autoclave	%	-0.02	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	373	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.15	No especifica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	274	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ³	340	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ⁴	440	Mínimo 285
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	105	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	282	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	1.8	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.67	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.49	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.72	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	17.86	No especifica
C ₃ S	%	54.88	No especifica
C ₃ A	%	7.01	No especifica
C ₄ AF	%	10.37	No especifica
Álcalis Equivalentes			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.47	Máximo 0.60
Resistencia a los Sulfatos			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.083	0.10 % máx. a 180 días

Fuente: UNACEM

3.4. Diseño de mezcla:

3.4.1. Método del ACI:

Resistencia a la compresión promedio:

La resistencia promedio f'_{cr} debe de ser seleccionada de tal manera que asegure alcanzar la resistencia mínima especificada por el proyectista, debiendo ser siempre superior, su diferencia depende del coeficiente de variación y el grado de control que va ser elaborado.

Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la tabla N°23 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

Tabla N° 23: resistencia a la compresión promedio

$f'c$ (kg/cm ²)	$f'cr$ (kg/cm ²)
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Sobre 350	$f'c + 98$

Fuente: ACI

Resistencia del concreto: $f'c = 210$ kg/cm²

Resistencia a la compresión promedio: $f'cr = 210 + 84 = 294$ kg/cm²

Tamaño máximo nominal: 3/4"

Elección del asentamiento (Slump):

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de las siguientes tablas:

Tabla N° 24: Consistencia y asentamientos

Consistencia	Asentamiento
Seca	0'' (0mm) a 2'' (50mm)
Plástica	3'' (75mm) a 4'' (100mm)
Fluida	≥ 5'' (125mm)

Fuente: ACI

Tabla N° 25: Asentamiento recomendado para diversos tipos de construcción

Tipos de construcción	Revestimiento (cm)	
	Máximo	mínimo
Zapatatas y muros de cimentación reforzados	7.5	2.5
Zapatatas simples, cajones y muros de subestructura	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto ciclópeo y masivo	5	2.5

Fuente: ACI

Slump requerido es de consistencia plástica para zapatas y muros de cimentación reforzada

Estimación del agua de mezclado y contenido de aire:

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir determinado asentamiento, depende del tamaño máximo de la forma de la partícula y granulometría de los agregados así como de la cantidad de aire incluido, no afecta significativamente al contenido del cemento

La tabla 26, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

Tabla N° 26: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (MM)	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.							
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO								
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%).	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: ACI

Agua de diseño: 200 lt/m³

Aire atrapado: 2%

Relación agua / cemento (a/c):

La relación agua/cemento requerida se determina no solo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades de acabado. Puesto que diferentes agregados y cementos producen diferentes resistencias empleando la misma agua/cemento, es muy deseable establecer una relación entre las resistencias y la relación agua/cemento para los materiales que de hecho van a emplearse

Por ello existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se

garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

Tabla N° 27: Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'_{cr}) (kg/cm²)	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: ACI

Resistencia: $a/c = 0.5584$

Tabla N° 28: Máximas relaciones agua/cemento permisible para concretos sometidas a condiciones especiales de exposición.

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.50
b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales.	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	0.45
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.50
b) Otros elementos.	
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45

Durabilidad: $a/c = 0.50$

Factor cemento: $F_c = 200/0.5 = 400 \text{ kg/m}^3 = 941 \text{ bols/m}^3$

Módulo de fineza del agregado fino:

$M_f = (0.27 + 19.49 + 40.60 + 59.68 + 78.27 + 94.59 + 98.77)/100 = 3.91$

Estimación del contenido de los agregados:

Se determina el contenido de agregado grueso mediante la tabla 18, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. La tabla 18 permite obtener un coeficiente b_o / b resultante de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en kg m^3

Tabla N° 29: Volumen del agregado grueso, seco y compactado

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8''	0.50	0.48	0.45	0.44
1/2''	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4''	0.66	0.64	0.62	0.60
1''	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2''	0.76	0.74	0.72	0.70
2''	0.78	0.76	0.74	0.72
3''	0.81	0.79	0.77	0.75
6''	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI

Vol. AG. SC: 0.509

Peso AG = 781.315 kg/m^3

Volumen del agregado fino:

Vol.agregado fino (m3) = 1 - (Vol.agua + Vol.aire + Vol.cemento + Vol.agregado grueso)

$$vol. agregado fino (m3) = 1 - \left(\frac{200}{1000} + \frac{2}{100} + \frac{400}{3150} + \frac{781.315}{2620} \right)$$

Vol.agregado fino (m3) = 0.355

Peso AF = 926.59 kg/m3

Peos de diseño:

Peso Cemento (kg/m3)	Peso Seco AF (kg/m3)	Peso Seco AG (kg/m3)	Agua Diseño (lt/m3)
400	926.59	781.315	200

Corrección por humedad:

Las cantidades de agregados que realmente deben pesarse para el concreto, deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos deben incrementarse con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial que contienen. El agua de mezclado que se añade a la mezcla debe ser reducida en igual cantidad que la humedad libre contenida en el agregado, es decir humedad total menos absorción.

Peso H. AF = 926.39 x (1+0.0422) = 968.82 kg/m3

Peso H. AG = 781.315 x (1+0.0031) = 783.74 kg/m3

Agua Mezcla = 200 - [(926.59 x (4.22-2.05))/100 + (781.315 x (0.31-1.09))/100]

Agua Mezcla = 185.92 lt/m3

Pesos de mezcla:

Peso Cemento (kg/m ³)	Peso Seco AF (kg/m ³)	Peso Seco AG (kg/m ³)	Agua Diseño (lt/m ³)
400	968.82	783.74	185.92

Proporciones en peso:

Cemento	AF	AG	Diseño
1	2.42	1.96	19.75 lt/bolsa

Pesos para una mezcladora de un metro cubico (Laboratorio):

$$1 \text{ pie}^3 = 0.00283\text{m}^3$$

Peso Cemento (kg)	Peso Seco AF (kg)	Peso Seco AG (kg)	Agua Diseño (lt)
11.33	27.43	22.19	5.26

3.4.2. Método Fuller:

Resistencia del concreto: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia a la compresión promedio: $f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal: 3/4"

Slump requerido es de consistencia plástica para zapatas y muros de cimentación reforzada

Agua de diseño: 200 lt/m³

Aire atrapado: 2%

$$a/c = 0.5$$

$$\text{Factor cemento: } Fc = 200/0.5 = 400 \text{ kg/m}^3 = 9.41 \text{ bols/m}^3$$

Módulo de fineza del agregado fino:

$$M_f = 3.91$$

Ley de Füller:

$$P_d = 100\sqrt{d/D}$$

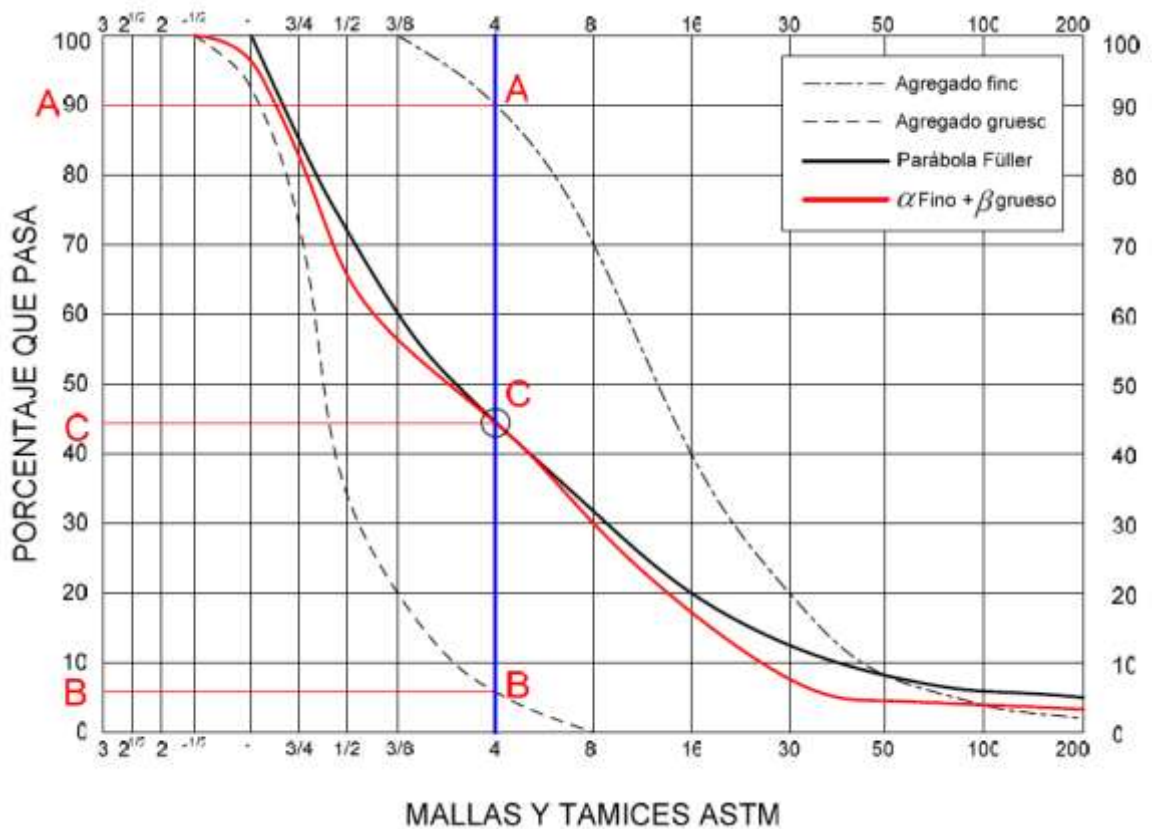
Donde:

P d: % que pasa por la malla d.

d : Abertura de la malla de referencia.

D: Tamaño máximo del agregado grueso.

Gráfico N° 4: Proporcionamiento de agregados. Método de Füller.



Fuente: FULLER

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

$$\beta = 100 - \alpha$$

Si llamamos:

α : % en volumen absoluto del agregado fino dentro de la mezcla de agregados.

β : % en volumen absoluto del agregado grueso dentro de la mezcla de agregados.

A= % Agregado fino que pasa por la malla N° 4.

B= % Agregado grueso que pasa por la malla N° 4.

C= % Agregado ideal que pasa por la malla N° 4.

$$\alpha = \frac{50 - 1.54}{80.51 - 1.54} \times 100$$

$$\alpha = 0.6137 = 61.37\%$$

$$\beta = 0.3863 = 38.63\%$$

$$\text{Vol. total de agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento})$$

$$\text{vol. agregados (m3)} = 1 - \left(\frac{200}{1000} + \frac{2}{100} + \frac{400}{3150} \right)$$

$$\text{Vol. Agregados (m3)} = 0.6530$$

$$\text{Vol. AF (m3)} = 0.6530 \times 0.6137 = 0.4007$$

$$\text{Vol. AG (m3)} = 0.6530 \times 0.3863 = 0.2523$$

$$\text{Peso AF} = 1049.95 \text{ kg/m3}$$

$$\text{Peso AG} = 662.95 \text{ kg/m3}$$

Pesos de diseño:

Peso Cemento (kg/m3)	Peso Seco AF (kg/m3)	Peso Seco AG (kg/m3)	Agua Diseño (lt/m3)
400	1049.95	662.95	200

Corrección por humedad:

$$\text{Peso H. AF} = 1049.95 \times (1+0.0422) = 1094.26 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso H. AG} = 662.95 \times (1+0.0031) = 662.95 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua Mezcla} = 200 - [(1049.95 \times (4.22-2.05))/100 + (662.95 \times (0.31-1.09))/100]$$

$$\text{Agua Mezcla} = 182.37 \text{ lt/m}^3$$

Pesos de mezcla:

Peso Cemento (kg/m ³)	Peso Seco AF (kg/m ³)	Peso Seco AG (kg/m ³)	Agua Diseño (lt/m ³)
400	1094.26	662.95	182.37

Proporciones en peso:

Cemento	AF	AG	Diseño
1	2.74	1.66	19.38 lt/bolsa

Pesos para una mezcladora de un metro cubico (Laboratorio):

$$1 \text{ pie}^3 = 0.00283 \text{ m}^3$$

Peso Cemento (kg)	Peso Seco AF (kg)	Peso Seco AG (kg)	Agua Diseño (lt)
11.33	30.99	18.77	5.16

3.4.3. Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados:

Resistencia del concreto: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia a la compresión promedio: $f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$

Tamaño máximo nominal: 3/4"

Slump requerido es de consistencia plástica para zapatas y muros de cimentación reforzada

Agua de diseño: 200 lt/m³

Aire atrapado: 2%

a/c = 0.5

Factor cemento: $F_c = 200/0.5 = 400 \text{ kg/m}^3 = 9.41 \text{ bols/m}^3$

Módulo de fineza del agregado fino:

Mf. AF = 3.91

Mf. AG= 7.27

Tabla N° 30: Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que a las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos del cemento en sacos / metros cúbicos indicados.			
	6	7	8	9
3/8''	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2''	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4''	4.96	5.04	5.11	5.19
1''	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2''	5.56	5.64	5.71	5.79
2''	5.86	5.94	6.01	6.09
3''	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: M.F.C.A

Mf. CA = 5.2202

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf}$$

rf : Porcentaje del volumen de agregado fino con respecto al volumen total de agregados.

Mc: Módulo de fineza de la combinación de agregados

Mf: Modulo de fineza del agregado fino

Mg: Modulo de fineza del agregado grueso

$$rf = 0.6101 = 61.01\%$$

$$Vol.total\ de\ agregados = 1 - (Vol.agua + Vol.aire + Vol.cemento)$$

$$vol.\ agregados\ (m^3) = 1 - \left(\frac{200}{1000} + \frac{2}{100} + \frac{400}{3150} \right)$$

$$Vol.\ Agregados\ (m^3) = 0.6530$$

$$Vol.\ AF\ (m^3) = 0.6530 \times 0.6101 = 0.3984$$

$$Vol.\ AG\ (m^3) = 0.6530 \times 0.3899 = 0.2546$$

$$Peso\ AF = 1043.80\ kg/m^3$$

$$Peso\ AG = 667.06\ kg/m^3$$

Peos de diseño:

Peso Cemento (kg/m ³)	Peso Seco AF (kg/m ³)	Peso Seco AG (kg/m ³)	Agua Diseño (lt/m ³)
400	1043.80	667.06	200

Corrección por humedad:

$$Peso\ H.\ AF = 1043.80 \times (1+0.0422) = 1087.84\ kg/m^3$$

$$Peso\ H.\ AG = 667.06 \times (1+0.0031) = 669.13\ kg/m^3$$

$$Agua\ Mezcla = 200 - [(1043.80 \times (4.22-2.05))/100 + (667.06 \times (0.31-1.09))/100]$$

$$Agua\ Mezcla = 182.55\ lt/m^3$$

Pesos de mezcla:

Peso Cemento (kg/m ³) 400	Peso Seco AF (kg/m ³) 1087.84	Peso Seco AG (kg/m ³) 669.13	Agua Diseño (lt/m ³) 182.55
--	--	---	--

Proporciones en peso:

Cemento 1	AF 2.72	AG 1.67	Diseño 19.40 lt/bolsa
--------------	------------	------------	--------------------------

Pesos para una mezcladora de un metro cubico (Laboratorio):

1 pie³ = 0.00283m³

Peso Cemento (kg) 11.33	Peso Seco AF (kg) 30.80	Peso Seco AG (kg) 18.95	Agua Diseño (lt) 5.17
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------

Tabla N° 31: resumen de materiales por cada metodología de diseño

MATERIALES PARA UN PIE CUBICO			
	MÉTODO 211	MÉTODO	MÉTODO MÓDULO
MATERIALES	ACI	FULLER	DE FINEZA C.A.
cemento (kg)	11.33	11.33	11.33
arena (kg)	27.43	30.99	30.80
piedra (kg)	22.19	18.77	18.95
agua (lt)	5.26	5.16	5.17

Fuente: Tesista

Tabla N° 32: Cantidad de material para la elaboración del concreto por pie cubico

MATERIALES PARA UN PIE CUBICO				
	MEZCLA SIN ADITIVO	MEZCLA 2.6% ACELERANTE	MEZCLA 0.10% AIRE INCORPORADO	MEZCLA 2.6% ACELERANTE + 0.10% AIRE INCORPORADO
cemento (kg)	11.33	11.33	11.33	11.33
arena (kg)	30.99	30.99	30.99	30.99
piedra (kg)	18.77	18.77	18.77	18.77
agua (lt)	5.16	5.16	5.16	5.16
aditivo (kg)	0.00	0.2945	0.0113	0.2637 A + 0.01 Aire

3.5. Elaboración del concreto:

La elaboración de las mezclas de concreto se realizó según el método de FULLER descrito anteriormente. Se pesó los materiales de acuerdo a las cantidades de especímenes de concreto, en una mezcladora de concreto tipo trompo de 6 pies cúbicos se mezclaron cuatro diferentes mezclas de acuerdo a la tabla N°32, cumpliendo con las normas técnicas.

El equipo necesario

- Mezcladora de concreto tipo trompo de 6 Pie³
- Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco.
- Cono de Abrams.
- Varilla apisonadora con punta redondeada de 5/8” de diámetro y 60cm de longitud.
- Cuchara para el muestreo y plancha de albañilería



Ilustración N° 2: preparación de la mezcla

Fuente: Tesista

Probetas de concreto:

Para los ensayos de caracterización mecánica y de durabilidad se utilizó probetas ó briqueteras de 6” x 12” (150 mm de diámetro x 300 mm de altura). Las probetas y la elaboración de especímenes de concreto cumplen la norma NTP 339.033.

Moldeado de los cilindros de prueba

- Se colocó los moldes de cilindros en una superficie nivelada.
- Se engrasó con aceite la pared y la base interior de los moldes cilíndricos.
- Se llenó el molde en tres capas iguales con la cuchara.
- Se compactó la capa apisonando, con una varilla de 5/8" en caso de los moldes de 6"x12", 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- Se enrazó la parte superior con la plancha de albañil para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Finalmente se le marcó en la superficie la fecha y el tipo de concreto vaciado.



Ilustración N° 3: elaboración de las probetas

Fuente: Tesista

Curado del concreto:

Después de su fabricación, las probetas cilíndricas utilizadas para los ensayos de caracterización, se mantuvieron en sus respectivos moldes durante las primeras 24 horas. Para luego desmoldaron e introdujeron en una cámara de curado.

Ensayos de resistencia a compresión:

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron según la norma del ASTM C39 y la NTP 339.034 (ilustración N°4). Se utilizaron probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y de 300 mm de altura. Para cada tipo de concreto se ensayaron 3 probetas a 7, 15, 28 y 45 días; ya sea para el concreto convencional y con aditivos.



Ilustración N° 4: rotura de las probetas - ensayo a compresión

Fuente: Tesista

3.6. Resultados del ensayo a compresión:

Tabla N° 33: Resultado de ensayo de resistencia a la compresión del concreto sin aditivo F'c =210 kg/cm2

ITEM	CODIGO	DIAS CURADO Y ROTURA	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES			CARGA (kgf)	ESFUERZO (kg/cm2)	PROMEDIO DE ESFUERZO (kg/cm2)	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
					DIAMETRO (cm)	PESO (g)	AREA (cm2)				
1	P-1	7	17/09/2019	24/09/2019	15.05	12308	177.89	31356	176.27		
2	P-2	7	17/09/2019	24/09/2019	15.09	12423	178.84	31826	177.96	177.37	84.46%
3	P-3	7	17/09/2019	24/09/2019	15.07	12344	178.37	31732	177.9		
4	P-4	14	17/09/2019	01/10/2019	15.07	12288	178.37	39739	222.79		
5	P-5	14	17/09/2019	01/10/2019	15.10	12356	179.08	39953	223.10	222.72	106.06%
6	P-6	14	17/09/2019	01/10/2019	15.11	12421	179.32	39855	222.26		
7	P-7	28	17/09/2019	15/10/2019	15.04	12247	177.66	48121	270.86		
8	P-8	28	17/09/2019	15/10/2019	15.07	12321	178.37	48633	272.65	272.94	129.97%
9	P-9	28	17/09/2019	15/10/2019	15.03	12408	177.42	48846	275.31		
10	P-10	45	17/09/2019	01/11/2019	15.05	12318	177.89	48429	272.24		
11	P-11	45	17/09/2019	01/11/2019	15.03	12401	177.42	47682	268.75	270.81	128.96%
12	P-12	45	17/09/2019	01/11/2019	15.04	12344	177.66	48229	271.47		

Fuente: Tesista

Tabla N° 34: Resultado ensayo de resistencia a la compresión del concreto 2.6% acelerante de fragua F'c =210 kg/cm2

ITEM	CODIGO	DIAS CURADO Y ROTURA	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES			CARGA (kgf)	ESFUERZO (kg/cm2)	PROMEDIO DE ESFUERZO (kg/cm2)	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
					DIAMETRO (cm)	PESO (g)	AREA (cm2)				
1	P-1	7	19/09/2019	26/09/2019	15.08	12317	178.6	37354	209.15		
2	P-2	7	19/09/2019	26/09/2019	15.05	12288	177.89	37622	211.49	209.88	99.94%
3	P-3	7	19/09/2019	26/09/2019	15.1	12302	179.08	37428	209.00		
4	P-4	14	19/09/2019	03/10/2019	15.09	12402	178.84	44104	246.61		
5	P-5	14	19/09/2019	03/10/2019	15.11	12392	179.32	44309	247.10	247.62	117.92%
6	P-6	14	19/09/2019	03/10/2019	15.12	12417	179.55	44737	249.16		
7	P-7	28	19/09/2019	17/10/2019	15.10	12366	179.08	47305	264.16		
8	P-8	28	19/09/2019	17/10/2019	15.12	12418	179.55	47443	264.23	264.42	125.91%
9	P-9	28	19/09/2019	17/10/2019	15.08	12424	178.6	47307	264.87		
10	P-10	45	19/09/2019	03/11/2019	15.08	12278	178.6	47318	264.94		
11	P-11	45	19/09/2019	03/11/2019	15.11	12324	179.32	47286	263.7	264.46	125.93%
12	P-12	45	19/09/2019	03/11/2019	15.1	12311	179.08	47411	264.75		

Fuente: Tesista

Tabla N° 35: Resultado ensayo de resistencia a la compresión del concreto 0.1% incorporador de aire $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

ITEM	CODIGO	DÍAS CURADO Y ROTURA	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES			CARGA (kgf)	ESFUERZO (kg/cm ²)	PROMEDIO DE ESFUERZO (kg/cm ²)	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
					DIAMETRO (cm)	PESO (g)	AREA (cm ²)				
1	P-1	7	22/09/2019	29/09/2019	15.07	12383	178.37	35642	199.82		
2	P-2	7	22/09/2019	29/09/2019	15.03	12428	177.42	35708	201.26	200.18	95.32%
3	P-3	7	22/09/2019	29/09/2019	15.07	12627	178.37	35575	199.45		
4	P-4	14	22/09/2019	06/10/2019	15.11	12389	179.32	43318	241.57		
5	P-5	14	22/09/2019	06/10/2019	15.08	12234	178.6	43098	241.32	241.88	115.18%
6	P-6	14	22/09/2019	06/10/2019	15.05	12301	177.89	43187	242.77		
7	P-7	28	22/09/2019	20/10/2019	15.08	12298	178.6	50387	282.11		
8	P-8	28	22/09/2019	20/10/2019	15.09	12327	178.84	50338	281.47	281.90	134.24%
9	P-9	28	22/09/2019	20/10/2019	15.1	12286	179.08	50524	282.13		
10	P-10	45	22/09/2019	06/11/2019	15.09	12432	178.84	50734	283.68		
11	P-11	45	22/09/2019	06/11/2019	15.11	12324	179.32	50655	282.49	283.84	135.16%
12	P-12	45	22/09/2019	06/11/2019	15.07	12376	178.37	50896	285.34		

Fuente: Tesista

Tabla N° 36: Resultado ensayo de resistencia a la compresión del concreto 0.1% incorporador de aire +2.6% acelerante de fragua F'c = 210 kg/cm2

ITEM	CODIGO	DÍAS CURADO Y ROTURA	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA	DIMENSIONES			CARGA (kgf)	ESFUERZO (kg/cm2)	PROMEDIO DE ESFUERZO (kg/cm2)	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
					DIAMETRO (cm)	PESO (g)	AREA (cm2)				
1	P-1	7	23/09/2019	30/09/2019	15.07	12306	178.37	36525	204.77		
2	P-2	7	23/09/2019	30/09/2019	15.1	12409	179.08	36748	205.21	204.38	97.33%
3	P-3	7	23/09/2019	30/09/2019	15.08	12324	178.6	36287	203.17		
4	P-4	14	23/09/2019	07/10/2019	15.07	12306	178.37	46104	258.48		
5	P-5	14	23/09/2019	07/10/2019	15.08	12324	178.6	46737	261.68	259.58	123.61%
6	P-6	14	23/09/2019	07/10/2019	15.1	12409	179.08	46309	258.60		
7	P-7	28	23/09/2019	21/10/2019	15.08	12328	178.6	49078	274.79		
8	P-8	28	23/09/2019	21/10/2019	15.09	12417	178.84	49398	276.21	276.18	131.52%
9	P-9	28	23/09/2019	21/10/2019	15.1	12381	179.08	49704	277.55		
10	P-10	45	23/09/2019	07/11/2019	15.11	12408	179.32	49722	277.29		
11	P-11	45	23/09/2019	07/11/2019	15.06	12289	178.13	49564	278.24	278.07	132.41%
12	P-12	45	23/09/2019	07/11/2019	15.09	123.56	178.84	49839	278.68		

Fuente: Tesista

3.7. Análisis del crecimiento de la resistencia en el tiempo

Análisis del concreto convencional: la mezcla se realizó aproximadamente a las 5:45pm teniendo una temperatura ambiente de 5°C, en el proceso se elaboraron 12 probetas de las cuales 3 probetas por cada tiempo de curado que son a 7, 14, 28 y 45 días que están sometidos a congelamiento y deshielo por la propia temperatura ambiental, haciendo más crítico las reacciones químicas. En la tabla N°37 son los resultados a compresión promedio de 3 probetas por cada tiempo de curado, llegando a los 28 días supera la resistencia de diseño y manteniéndose en el transcurso del tiempo.



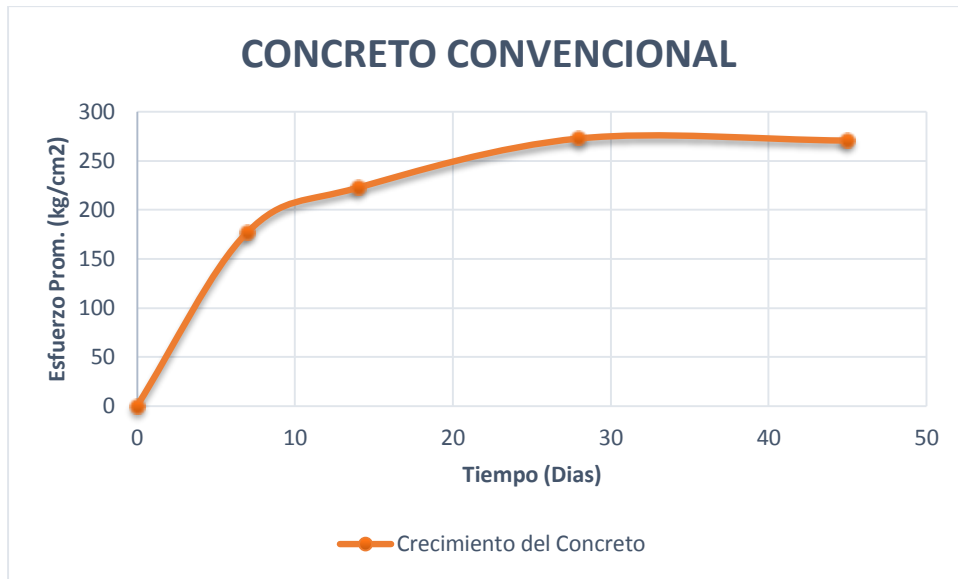
Ilustración N° 5: probetas de concreto convencional

Fuente: Tesista

Tabla N° 37: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto convencional

Tiempo (días)	Esfuerzo Prom. (kg/cm²)
0	0
7	177.37
14	222.72
28	272.94
45	270.81

Gráfico N° 5: evolución del esfuerzo promedio del concreto convencional



Fuente: Tesista

Análisis del concreto con 2.6% de acelerante de fragua: en la elaboración de la mezcla se añadió 2.6% de aditivo acelerante de fragua para mejorar y acelerar la reacción química. Se realizó el ensayo a las 7:51pm a una temperatura ambiente de 0°C, también están sometidos a congelamiento y deshielo por la propia temperatura ambiental, complicando la reacción química. En la tabla N°38 son los resultados a compresión promedio de 3 probetas por cada tiempo de curado, llegando a los 28 días supera la resistencia de diseño y manteniéndose en el transcurso del tiempo.



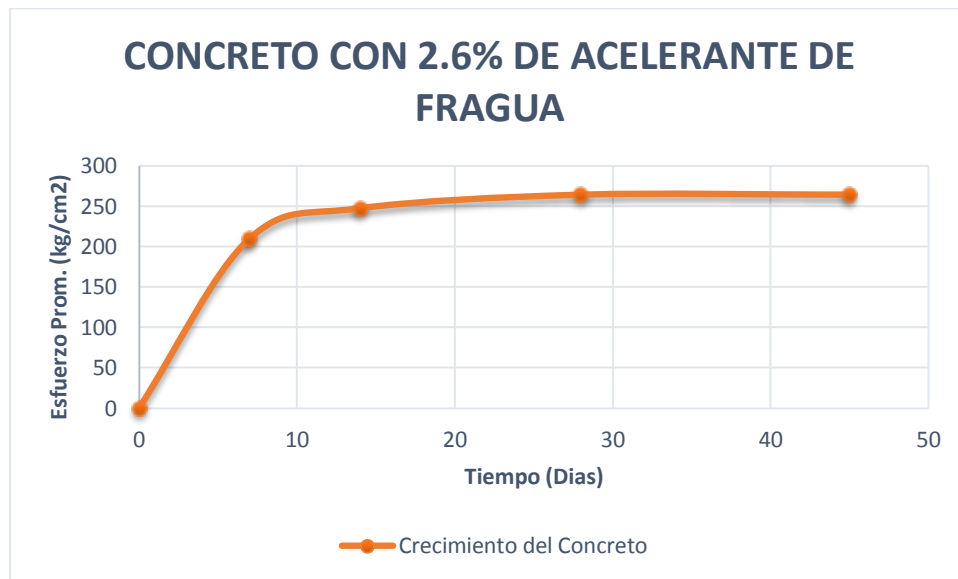
Ilustración N° 6: probetas de concreto con 2.6% de acelerante de fragua

Tabla N° 38: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto 2.6% acelerante de fragua

Tiempo (días)	Esfuerzo Prom. (kg/cm ²)
0	0
7	209.88
14	247.62
28	264.42
45	264.46

Fuente: Tesista

Gráfico N° 6: evolución del esfuerzo promedio del concreto con 2.6% de acelerante de fragua



Fuente: Tesista

Análisis del concreto con 0.1% de incorporador de aire: el proceso de elaboración de la mezcla incorporando 0.1% de aire incorporado, fue realizado a las 7:00pm a una temperatura ambiente de 0°C, también están sometidos a congelamiento y deshielo por la propia temperatura ambiental, complicando la reacción química. En la tabla N°39 son los resultados a compresión promedio de 3 probetas por cada tiempo de curado, llegando a los 28 días supera la resistencia de diseño y manteniéndose en el transcurso del tiempo.



Ilustración N° 7: probetas de concreto con 0.1% de aire incorporado

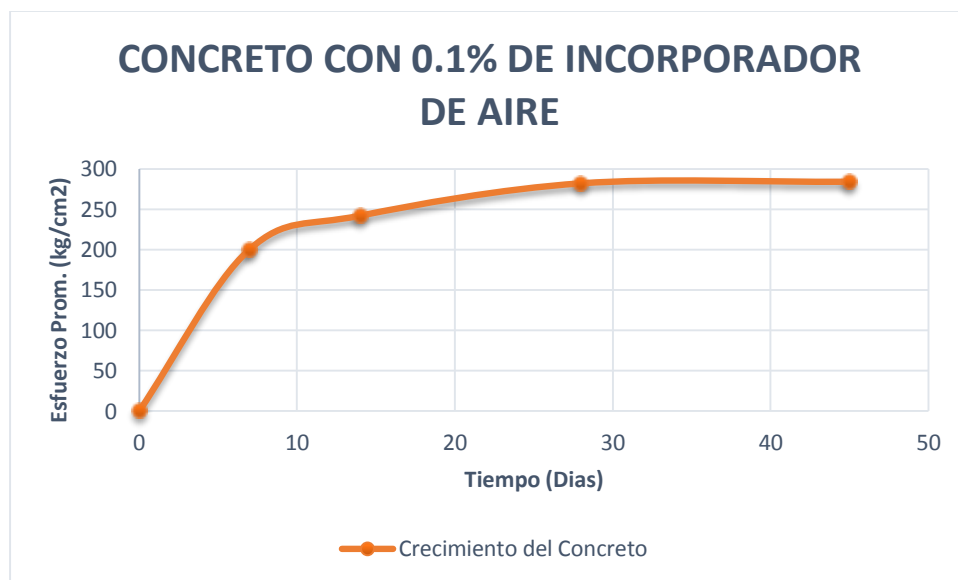
Fuente: Tesista

Tabla N° 39: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto 0.1% incorporador de aire

Tiempo (días)	Esfuerzo Prom. (kg/cm ²)
0	0
7	200.18
14	241.88
28	281.90
45	283.84

Fuente: Tesista

Gráfico N° 7: Evolución del esfuerzo promedio del concreto con 0.1% de aire incorporado



Análisis del concreto con 0.1% de incorporador de aire + 2.6% de acelerante de fragua: el proceso de elaboración de la mezcla incorporando 0.1% de aire incorporado + 2.6% de acelerante de fragua, fue realizado a las 7:40pm a una temperatura ambiente de -2°C, también están sometidos a congelamiento y deshielo por la propia temperatura ambiental, complicando la reacción química. En la tabla N°40 son los resultados a compresión promedio de 3 probetas por cada tiempo de curado, llegando a los 28 días supera la resistencia de diseño y manteniéndose en el transcurso del tiempo.



Ilustración N° 8: probetas de concreto con 2.6% de acelerante de fragua + 0.1% de aire incorporado

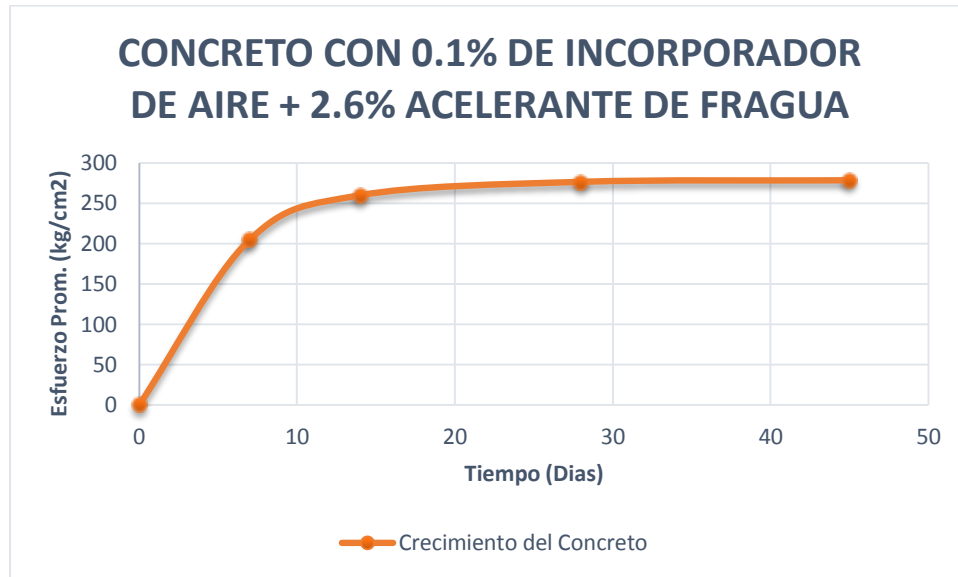
Fuente: Tesista

Tabla N° 40: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto 0.1% incorporador de aire +2.6% acelerante de fragua

Tiempo (días)	Esfuerzo Prom. (kg/cm²)
0	0
7	204.38
14	259.58
28	276.18
45	278.07

Fuente: Tesista

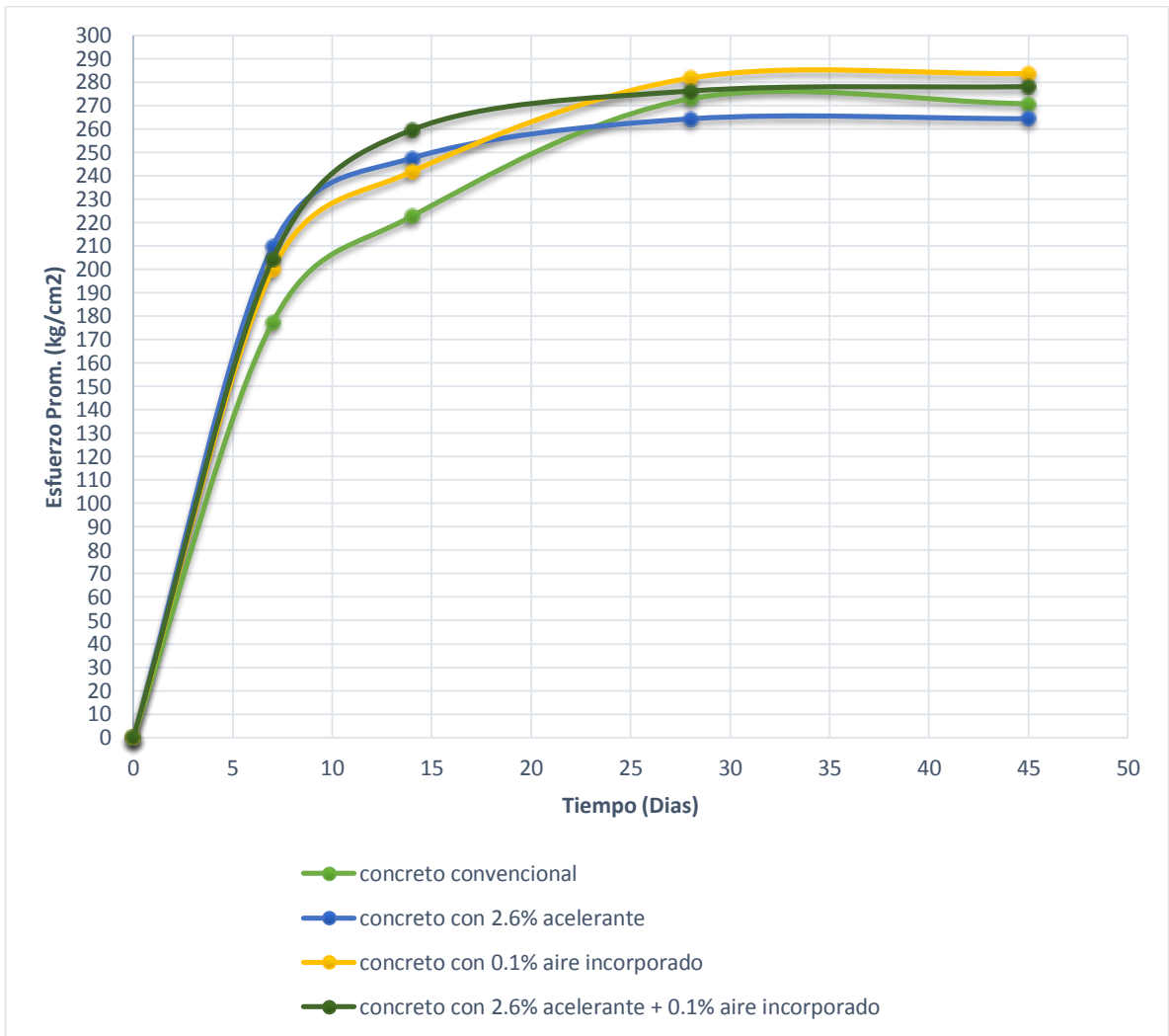
Gráfico N° 8: Evolución del esfuerzo promedio del concreto con 0.1% de aire incorporado + 2.6% de acelerante de fragua



Fuente: Tesista

Resumen de resistencia promedio del concreto: se analizaron todos en condiciones de congelación y deshielo con diferentes aditivos, el mejor comportamiento del concreto en esas condiciones climáticas es el concreto convencional más el 0.1 % de aire incorporado, superando al concreto convencional en un 5% y manteniendo su resistencia en el tiempo.

Gráfico N° 9: Resumen de resistencia promedio del concreto



Fuente: Tesista

3.8. Validación de resultados del ensayo de compresión:

Resistencia a la compresión a los 7 días: teniendo los resultados de los 4 diferentes mezclas ya ensayadas, se verifica la validación de los resultados con la resistencia característica del concreto, que como valor mínimo tiene una resistencia de 180.60 kg/cm², donde rechaza tres probetas por la tarde evolución del endurecimiento del concreto convencional (176.27, 177.96 y 177.90 kg/cm²). Obteniendo un coeficiente de variación de 6.54 % que nos indica un ensayo bien controlado.

Tabla N° 41: validación de la resistencia a la compresión a los 7 días

N°	Esfuerzo (kg/cm²)	
1	176.27	Desviación estándar: S= 12.95 kg/cm ²
2	177.96	
3	177.90	
4	209.15	Promedio de los esfuerzos: Xprom= 197.95 kg/cm ²
5	211.49	Coefficiente de variación: V1= 6.54 % (Ensayo bien controlado)
6	209.00	
7	199.82	
8	201.26	Resistencia característica: f'ck= 180.60 kg/cm ² (mínima resistencia) f'ck = 202.77 kg/cm ²
9	199.45	
10	204.77	
11	205.21	
12	203.17	

Fuente: Tesista

Resistencia a la compresión a los 14 días: teniendo los resultados de los 4 diferentes mezclas ya ensayadas, se verifica la validación de los resultados con la resistencia característica del concreto, que como valor mínimo tiene una resistencia de 224.27 kg/cm², donde rechaza tres probetas por la tarde evolución del endurecimiento del concreto convencional (222.79, 223.10 y 222.26 kg/cm²). Obteniendo un coeficiente de variación de 5.74 % que nos indica un ensayo bien controlado.

Tabla N° 42: validación de la resistencia a la compresión a los 14 días

N°	Esfuerzo (kg/cm ²)	Desviación estándar:
1	222.79	S= 13.95 kg/cm ²
2	223.10	
3	222.26	Promedio de los esfuerzos:
4	246.61	X _{prom} = 242.95 kg/cm ²
5	247.10	
6	249.16	Coefficiente de variación:
7	241.57	V ₁ = 5.74 %
8	241.32	<i>(Ensayo bien controlado)</i>
9	242.77	
10	258.48	Resistencia característica:
11	261.68	f _{ck} = 224.27 kg/cm ² (<i>mínima resistencia</i>)
12	258.60	f _{ck} = 245.46 kg/cm ²

Fuente: Tesista

Resistencia a la compresión a los 28 días: teniendo los resultados de los 4 diferentes mezclas ya ensayadas, se verifica la validación de los resultados con la resistencia característica del concreto, que como valor mínimo tiene una resistencia de 264.88 kg/cm², donde rechaza tres probetas por la tarde evolución del endurecimiento del concreto con el 2.6% de acelerante de fragua (264.16, 264.23 y 264.87 kg/cm²). Obteniendo un coeficiente de variación de 2.45 % que nos indica un ensayo bien controlado.

Tabla N° 43: validación de la resistencia a la compresión a los 28 días

N°	Esfuerzo (kg/cm²)	
1	270.86	Desviación estándar: S= 6.71 kg/cm ²
2	272.65	
3	275.31	Promedio de los esfuerzos: Xprom= 273.86 kg/cm ²
4	264.16	
5	264.23	Coefficiente de variación: V1= 2.45 % (Ensayo bien controlado)
6	264.87	
7	282.11	
8	281.47	
9	282.13	Resistencia característica: fck= 264.88 kg/cm ² (mínima resistencia) fck= 293.24 kg/cm ²
10	274.79	
11	276.21	
12	277.55	

Fuente: Tesista

Resistencia a la compresión a los 45 días: teniendo los resultados de los 4 diferentes mezclas ya ensayadas, se verifica la validación de los resultados con la resistencia característica del concreto, que como valor mínimo tiene una resistencia de 263.96 kg/cm², donde rechaza una probeta por la tarde evolución del endurecimiento del concreto con el 2.6% de acelerante de fragua (263.70 kg/cm²). Obteniendo un coeficiente de variación de 2.81 % que nos indica un ensayo bien controlado.

Tabla N° 44: validación de la resistencia a la compresión a los 45 días

N°	Esfuerzo (kg/cm ²)	
1	272.24	Desviación estándar: S= 7.72 kg/cm ²
2	268.75	
3	271.47	Promedio de los esfuerzos: X _{prome} = 274.30 kg/cm ²
4	264.94	
5	263.70	Coefficiente de variación: V ₁ = 2.81 % (Ensayo bien controlado)
6	264.75	
7	283.68	
8	282.49	
9	285.34	Resistencia característica: f _{ck} = 263.96 kg/cm ² (mínima resistencia) f _{ck} = 291.32 kg/cm ²
10	277.29	
11	278.24	
12	278.68	

Fuente: Tesista

3.9. Coeficiente de relación de Pearson

Tabla N° 45: coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional con el concreto con 2.6% de acelerante de fragua

N° DE PROBETAS	RESISTENCIA DEL CONCRETO (KG/CM2)				
	X C. 2.6%A	Y C.C	X2	Y2	X*Y
1	204.77	176.27	41930.75	31071.11	36094.81
2	205.21	177.96	42111.14	31669.76	36519.17
3	203.17	177.90	41278.05	31648.41	36143.94
4	258.48	222.79	66811.91	49635.38	57586.76
5	261.68	223.10	68476.42	49773.61	58380.81
6	258.60	222.26	66873.96	49399.51	57476.44
7	274.79	270.86	75509.54	73365.14	74429.62
8	276.21	272.65	76291.96	74338.02	75308.66
9	277.55	275.31	77034.00	75795.60	76412.29
10	277.29	272.24	76889.74	74114.62	75489.43
11	278.24	268.75	77417.50	72226.56	74777.00
12	278.68	271.47	77662.54	73695.96	75653.26
N	12.00				
Sumatoria	3054.67	2831.56	788287.53	686733.69	734272.18
Promedio	254.56	235.96			
Varianza	891.96	1549.11			
σ_x, σ_y	29.87	39.36			
covarianza	1123.51				
r	0.9558	95.58%	<i>Coeficiente de Persón</i>		
r2	0.9135	91.35%	<i>Coeficiente de Determinación</i>		

Fuente: Tesista

De la tabla N°45, el valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto (95.58%), es decir existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto con el 2.6% de acelerante de fragua. El valor de r2 indica el coeficiente de determinación que entre las dos variables existe relación lineal (91.35%).

Tabla N° 46: coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional con el concreto con 0.1% de aire incorporado

N° DE PROBETAS	RESISTENCIA DEL CONCRETO (KG/CM2)				
	X C. 0.1%AI	Y C.C	X2	Y2	X*Y
1	199.82	176.27	39928.03	31071.11	35222.27
2	201.26	177.96	40505.59	31669.76	35816.23
3	199.45	177.90	39780.30	31648.41	35482.16
4	241.57	222.79	58356.06	49635.38	53819.38
5	241.32	223.10	58235.34	49773.61	53838.49
6	242.77	222.26	58937.27	49399.51	53958.06
7	282.11	270.86	79586.05	73365.14	76412.31
8	281.47	272.65	79225.36	74338.02	76742.80
9	282.13	275.31	79597.34	75795.60	77673.21
10	283.68	272.24	80474.34	74114.62	77229.04
11	282.49	268.75	79800.60	72226.56	75919.19
12	285.34	271.47	81418.92	73695.96	77461.25
N	12.00				
Sumatoria	3023.41	2831.56	775845.21	686733.69	729574.39
Promedio	251.95	235.96			
Varianza	1174.55	1549.11			
σ_x, σ_y	34.27	39.36			
covarianza	1346.71				
r	0.9984	99.84%	<i>Coficiente de Persón</i>		
r2	0.9968	99.68%	<i>Coficiente de Determinación</i>		

Fuente: Tesista

De la tabla N°46, el valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto (99.84%), es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto con el 0.1% de aire incorporado. El valor de r2 indica el coeficiente de determinación que entre las dos variables existe relación lineal (99.68%).

Tabla N° 47: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional con el concreto con 2.6% de acelerante de fragua + 0.1% de aire incorporado

RESISTENCIA DEL CONCRETO (KG/CM2)						
N° DE PROBETAS	X		Y	X2	Y2	X*Y
	C. 2.6%A + 0.1%AI	C.C				
1	204.77	176.27	41930.75	31071.11	36094.81	
2	205.21	177.96	42111.14	31669.76	36519.17	
3	203.17	177.90	41278.05	31648.41	36143.94	
4	258.48	222.79	66811.91	49635.38	57586.76	
5	261.68	223.10	68476.42	49773.61	58380.81	
6	258.60	222.26	66873.96	49399.51	57476.44	
7	274.79	270.86	75509.54	73365.14	74429.62	
8	276.21	272.65	76291.96	74338.02	75308.66	
9	277.55	275.31	77034.00	75795.60	76412.29	
10	277.29	272.24	76889.74	74114.62	75489.43	
11	278.24	268.75	77417.50	72226.56	74777.00	
12	278.68	271.47	77662.54	73695.96	75653.26	
N	12.00					
Sumatoria	3054.67	2831.56	788287.53	686733.69	734272.18	
Promedio	254.56	235.96				
Varianza	891.96	1549.11				
σ_x, σ_y	29.87	39.36				
covarianza	1123.51					
r	0.9558	95.58%	Coeficiente de Persón			
r2	0.9135	91.35%	Coeficiente de Determinación			

Fuente: Tesista

De la tabla N°47, el valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto (95.58), es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto con el 0.1% de aire incorporado + 2.6% de acelerante de fragua. El valor de r2 indica el coeficiente de determinación que entre las dos variables existe relación lineal (91.35).

CONCLUSIONES

- La cantera de Sacra Familia del distrito de Chaupihuaranga es la mejor cantera que existe en la zona, para realizar el diseño de mezcla se requiere analizar las propiedades físicas de los agregados (fino y grueso), lo cual no están bajo los límites de la norma ASTM C-33 por tener una granulometría discontinua pudiendo ocasionar la segregación del concreto (ver gráfico N°2 y N°3), pero sin embargo en las pruebas para resistencia del concreto se logra obtener la resistencia requerida para las condiciones de congelamiento y deshielo que se planteó en el diseño de mezcla y que aun si el agregado no estén dentro de los límites de la ASTM C-33 se lograr obtener la resistencia requerida por que en el diseño se usa un alto factor de seguridad.
- Se realizaron tres metodologías de diseños de mezcla (ACI, Modulo de fineza de la combinación de agregados y FULLER), al analizar cada metodología del diseño de mezcla, los métodos de ACI y Módulos de fineza de la combinación de agregados los módulos de fineza del agregado fino y grueso no se encuentran dentro de los parámetros recomendados por los métodos ocasionando una mala trabajabilidad y segregación en el concreto, en cambio el método FULLER tiene poco contenido de material grueso que se puede controlar la cangrejera, producto que trabaja con la granulometría y referenciando a una granulometría ideal.
- Para la determinación de la trabajabilidad en las condiciones de congelamiento y deshielo se trabajó con dos criterios de relación agua / cemento: por resistencia 0.5584 (ver tabla N°27) y por durabilidad 0.5 (ver tabla N°28), para poder cumplir los criterios de toma el menor valor, obteniendo un mayor factor de seguridad y se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones (ASTM C150 y ASTM C 595) que el contenido mínimo de cemento no sea menor de 340 kg/m³.
- Se realizaron 4 mezclas de concreto (concreto convencional, concreto con 2.6% de acelerante de fragua, concreto con 0.1% de aire incorporado y la combinación de los dos aditivos) en 4 tiempos de curados (7, 14, 28 y 45 días) donde se obtuvieron

resultados de compresión superiores al concreto convencional en los 4 tiempos de curados. Superando a todos los concretos aproximadamente en un 5% a 10% de resistencia a la compresión, fue el concreto con 0.1% de aire incorporado (ver gráfico N°9).

- Al comparar las diferentes resistencias producto de los 4 mezclas de concreto con el coeficiente de correlación de Persón y el coeficiente de terminación con el concreto convencional, el mejor comportamiento del concreto en condiciones de congelamiento y deshielo es el concreto con 0.1% de aire incorporado (ver tabla N°46), donde el valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto (99.84%), es decir, existe una directa asociación entre las variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto con el 0.1% de aire incorporado. El valor de r^2 indica el coeficiente de determinación que entre las dos variables existe relación lineal (99.68%).

SUGERENCIAS

- Utilizar aditivo incorporador de aire siempre que se trabaje con concretos en climas fríos, ya que este, en determinados porcentajes mejora las propiedades de trabajabilidad y de resistencia.
- Es muy importante realizar un estudio de cantera para para realizar un diseño de mezcla que nos de la dosificación óptima, el cual nos de la garantía necesaria para cumplir los requerimientos de resistencia trabajabilidad y calidad del concreto (ASTM y NTP).
- Evitar el enfriamiento rápido del concreto al finalizar el periodo de protección entre la superficie del concreto y su interior, esto puede ocasionar fisuras especialmente en secciones grandes.
- Se requiere continuar la investigación realizando ensayos de tracción y módulo de elasticidad para poder determinar mejor el comportamiento del concreto en condiciones de congelamiento y deshielo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto Castillo, F. (1994). Tecnología del Concreto. Lima, Perú: San Marcos.
- ACI 201.2R-07. (2000). Guide to durable concrete. American Concrete Institute (ACI).
- ACI 211.1-97. (1998) Estándar Practice for Selecting Proportions for normal, Heavy Weight, Mass Concrete.
- ACI 211 (American Concrete Institute). 1991. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, reapproved 2002, ACI Committee 211.
- Al-Assadi, G. (2009). Influencia de las Condiciones de Curado en el Comportamiento del Hormigón sometido a Ciclos Hielo-Deshielo (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Puertos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- ASTM :American Society of Testing Materials. (s.f.).
- Becker, E. (2010). Durabilidad del hormigón. Comportamiento del hormigón estructural durante su vida de servicio, Retrieved 10/01, 2010
- Cruzado, H. & Rivera, B. (2019). *Influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo – Perú.
- Cuellar, J. & Sequeiros, W. (2017). *Influencia del curado en la resistencia a la compresión del concreto preparado con cemento portland tipo I y cemento puzolánico tipo IP en la ciudad de Abancay – Apurímac.* (Tesis de Pregrado). Universidad Tecnológica de los Andes – Perú.
- Legal, R. (2005). *Hormigón en tiempo frío.* (Tesis de Pregrado). Universidad Austral de Chile – Chile.
- Medina, L. & Quispe, N. (2017). *Protección óptima en el proceso de curado y su influencia en la resistencia de los concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín – Perú.
- NTP :Normas Técnicas Peruanas. (s.f.).
- PCA, P. C. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto (Primera Edición)

- Pigeon M., y Pleau R. (1995). *Durability of Concrete in Cold Climates*, E & FN Spon, Boundry row.
- Ponce, E. (2016). *Estudio comparativo del efecto de aditivos CHEMA Y SIKA aceleradores de fragua en la ciudad del cusco en concretos expuestos a climas alto andinos*. (Tesis de Pregrado). Universidad Andina del Cusco – Perú.
- Powers T, C. (1945) Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete. *ACI Journal, Proceeding*, V.41, No.4, Feb.
- Rivva López, E. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*. Lima, Peru.
- Romero Mendoza, H.L. (2011). *Deterioro del Hormigon sometido a ensayo Acelerados de HieloDeshielo en presencia de cloruros* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Rostam S. (1989). *Durable Concrete Structure-CEB Desing Guide* (2 nd Edition), Bulletin d'Information N° 182, Comité Euro-International du Beton (CEB), Lausanne.
- Sánchez de Guzman, D. (2003). *Durabilidad y Patología del Concreto*. Asocreto, Bogotá, Colombia.
- Segura Pérez , I. (2008). *Caracterizacion del proceso de descarificacion en morteros, mediante ensayos dectructivas y no destructivas*". (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
- Vasquez, M. (2015). *Control del concreto en estado fresco y endurecido en clima frío*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingenieria – Perú.

