

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Influencia de la tasa de adición del aditivo expansor tipo ettringita- cal en la reducción de contracción y la resistencia a la compresión en concreto para calzaduras

Línea de Investigación: Ingeniería de la construcción, ingeniería urbana, ingeniería estructural

Sub Línea de investigación: Estructuras y Materiales

Autores:

Pairazamán Vásquez, Julio Enrique.

Zumarán Castro, Luis Alfredo.

Jurado Evaluador:

Presidente : Vargas López, Segundo Alfredo

Secretario : Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

Vocal : Salazar Perales, Álvaro Fernando

Asesor:

Galicia Guarniz, William Conrad.

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4506-9290>

TRUJILLO – PERÚ

2024

Fecha de sustentación: 2024/06/14

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Influencia de la tasa de adición del aditivo expansor tipo ettringita- cal en la reducción de contracción y la resistencia a la compresión en concreto para calzaduras

Línea de Investigación: Ingeniería de la construcción, ingeniería urbana, ingeniería estructural

Sub Línea de investigación: Estructuras y Materiales

Autores:

Pairazamán Vásquez, Julio Enrique.

Zumarán Castro, Luis Alfredo.

Jurado Evaluador:

Presidente : Vargas López, Segundo Alfredo

Secretario : Medina Carbajal, Lucio Sigifredo

Vocal : Salazar Perales, Álvaro Fernando

Asesor:

Galicia Guarniz, William Conrad.

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4506-9290>

Trujillo-Perú

2024

Fecha de sustentación: 2024/06/14

Influencia de la tasa de adición del aditivo expansor tipo ettringita- cal en la reducción de contracción y la resistencia a la compresión en concreto para calzaduras.docx

ORIGINALITY REPORT

16% SIMILARITY INDEX	18% INTERNET SOURCES	0% PUBLICATIONS	8% STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

1	repositorio.upao.edu.pe Internet Source	8%
2	hdl.handle.net Internet Source	6%
3	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Student Paper	3%

Exclude quotes On
Exclude bibliography On

Exclude matches < 2%

Handwritten signature and text:
FABIAN CASAS GAMA
01796091

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Galicia Guarniz William, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada **"Influencia de la tasa de adición del aditivo expansor tipo ETRINGITA- CAL en la reducción de contracción y la resistencia a la compresión en concreto para calzaduras."**, del (los) autor (es) Pairazamán Vásquez, Julio Enrique. y Zumarán Castro, Luis Alfredo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 16...%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 24 de Mayo del 2024
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **"Influencia de la tasa de adición del aditivo expansor tipo ETRINGITA- CAL en la reducción de contracción y la resistencia a la compresión en concreto para calzaduras"**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Troyillo 24 de Mayo del 2024



Pairazamán Vásquez Julio Enrique
Apellidos y Nombres del autor
DNI: 42152862



Zumarán Castro Luis Alfredo
Apellidos y Nombres del autor
DNI: 73683482



.....
Apellidos y Nombres del asesor
DNI: 44126875

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4506-9290>

RESUMEN

La presente investigación muestra los resultados del comportamiento de un concreto al cual se le adiciono un aditivo expansor para reducir los efectos de contracción por secado, conjuntamente se evaluó la relación agua cemento en el diseño de mezcla con la finalidad de darle un uso a este concreto hidráulico para obras de sostenimiento provisionales de edificaciones contiguas denominadas calzaduras.

El principal problema de la consolidación del concreto para calzaduras, es que la construcción de estas se hace en contra de la acción de la gravedad, cada elemento se elabora debajo del otro, de tal forma que el asentamiento de estas estructuras dependerá de la contracción en las juntas frías de cada nivel de calzaduras.

En esta investigación se utilizó un aditivo expansor Sika®IntraPlast®, con una dosificación de 6, 8 y 10 % en peso de cemento, así también se evaluó la relación agua cemento en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, para controlar la resistencia a la compresión sin adicionar ningún aditivo plastificante o reductor de agua, que pueda interferir o interactuar químicamente con el efecto del aditivo expansor, además que representaría un costo innecesario en obras provisionales.

Entonces, se realizaron 9 grupos experimentales y 3 de control, se aplicó un diseño factorial 3^2 , para el análisis estadístico de los resultados obtenidos. Concluyendo que, si existe una disminución significativa de la retracción del concreto por efecto de la adición de aditivo expansor, lográndose contrarrestar hasta un 82.83% de este fenómeno a un nivel del 10% de adición de aditivo expansor de dosificación, asimismo a menor relación a/c el efecto de la retracción del concreto es mínimo, consiguiéndose el mínimo valor de retracción con 0.011 a una relación a/c de 0.35.

Palabras Claves: Calzaduras, Aditivo expansor, retracción del concreto, contracción por secado.

ABSTRACT

The present investigation shows the results of the behavior of a concrete to which an expanding additive was added to reduce the effects of drying shrinkage. Overall, the water-cement ratio was evaluated in the design of the mixture with the objective of using this concrete. Hydraulics for temporary works to support adjacent buildings called roads.

The main problem with the consolidation of concrete for beds is that its construction is carried out against the action of gravity; each element is carried out under the other, so the settlement of these structures will depend on the contraction in the cold joints at each level of wedges. .

In this investigation, an expanding additive Sika®IntraPlast® was used, in doses of 6, 8 and 10% by weight of cement, and the water-cement ratio was also evaluated at levels 0.35, 0.45 and 0.55, to control resistance. Compression without adding any plasticizing or water-reducing additive, which could interfere or chemically interact with the effect of the expanded additive, in addition to representing an unnecessary cost in temporary work.

Then 9 experimental groups and 3 control groups were carried out, a 32 factorial design was applied for the statistical analysis of the results obtained. Concluding that, if there is a significant reduction in concrete shrinkage due to the addition of expanding additive, it is possible to neutralize up to 82.83% of this phenomenon at the level of adding 10% of dosed expanding additive, also in a lower proportion than /c the effect of concrete shrinkage is minimal, reaching a minimum shrinkage value of 0.011 with a w/c ratio of 0.35.

Keywords: Shims, Expanding additive, concrete shrinkage, drying shrinkage.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a toda mi familia, principalmente a mis padres que con su esfuerzo, apoyo y amor incondicional me ayudaron en todo momento. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades. Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

Julio Enrique Pairazamán Vasquez

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres, pues sin ellos nunca lo habría logrado. Gracias por todas sus enseñanzas, y consejos que tanto valoro, gracias porque en su amor incondicional encuentro el motivo para seguir cumpliendo mis sueños cada día.

A mis hermanos y amigos por el apoyo que siempre me brindaron en mi carrera universitaria.

Luis Alfredo Zumarán Castro

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. William Galicia, Catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, por brindarnos el asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

A la Ing. Juliana Julca Quispe por su apoyo en la realización de los ensayos y utilización del laboratorio de CECAPED.

Los autores

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado: En cumplimiento al reglamento vigente de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, entrego al criterio de evaluación la tesis titulada **“Influencia del aditivo expansor y relación a/c sobre la retracción en la resistencia a la compresión del concreto para calzaduras”**, con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero civil.

Atentamente.

Br. Julio Enrique Pairazamán Vasquez

Br. Luis Alfredo Zumarán Castro

ÍNDICE

RESUMEN	I
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE GRAFICAS	VII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Justificación del estudio.....	3
II. MARCO DE REFERENCIA	4
2.1. Antecedentes del estudio	4
2.2. Marco teórico.....	7
2.3. Marco conceptual	21
2.4. Sistema de hipótesis	22
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	25
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	25
3.2. Población y muestra de estudio	25
3.3. Diseño de investigación.....	28
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación	30
3.5. Procesamiento y análisis de datos	48
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1 Resultados de las Propiedades Físicas del Agregado Fino.....	50
4.2 Propiedades físicas del agregado grueso.....	54
4.3 Ensayo del concreto fresco.....	57
4.4 Ensayo de retracción del concreto.....	58
4.5 Ensayo de compresión axial del concreto.....	59
4.6 Análisis de Varianza de los resultados61
4.7 Análisis e interpretación de resultados62
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
ANEXO I	69
ANEXO II.....	72
ANEXO III.....	80
ANEXO IV	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites de composición aproximados para cemento Portland Tipo I	10
Tabla 2 Compuestos principales del cemento Portland	10
Tabla 3 Componentes del Clínter.....	8
Tabla 4 Fases del Clínter	9
Tabla 5 Cuadro de operacionalización de Variables.....	23
Tabla 6 Codificación de muestras experimentales y dosis de aditivo	25
Tabla 7 Matriz de Ensayos de Contracción del concreto	28
Tabla 8 Matriz de ensayos de contracción del concreto (Variación Longitudinal)	28
Tabla 9 Matriz de ensayos de resistencia a la compresión axial	28
Tabla 10 Análisis Granulométrico del agregado fino.....	49
Tabla 11 Contenido de Humedad del agregado fino.....	50
Tabla 12 Peso unitario suelto del agregado fino	51
Tabla 13 Peso unitario compactado del agregado fino	51
Tabla 14 Peso específico y absorción de la arena gruesa.....	52
Tabla 15 Granulometría del agregado grueso	53
Tabla 16 Contenido de Humedad del agregado grueso	54
Tabla 17 Peso unitario suelto del agregado fino	54
Tabla 18 Peso unitario compactado del agregado grueso	55
Tabla 19 Peso específico y absorción de la grava	55
Tabla 20 Peso unitario del concreto Fresco.....	56
Tabla 21 Porcentaje de retracción del concreto, sin uso de aditivo expansor	57
Tabla 22 Resultados de los Ensayos de Retracción (Variación de Longitud)	57
Tabla 23 Resistencia a la compresión axial del concreto, sin uso de aditivo expansor.....	58
Tabla 24 Resultados de los Ensayos de la Resistencia a la Compresión axial ...	59
Tabla 25 Anova de los resultados del ensayo de retracción de longitud	60
Tabla 26 Anova de los resultados del ensayo de resistencia de compresión Axial.....	60

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Ilustración de hidratación del cemento....	¡Error! Marcador no definido.
Grafica 2 Modelo digital de la hidratación del cemento	11
Grafica 3 Calzadura invade terreno vecino.....	12

Grafica 4 Ubicación de la cantera “ZM”	¡Error! Marcador no definido.	31
Grafica 5 Granulometría del agregado fino		49
Grafica 6 Granulometría del agregado grueso		53
Grafica 7 Peso unitario del concreto fresco		56
Grafica 8 Influencia del aditivo expansor sobre el porcentaje de retracción en el concreto, en tres niveles de relación a/c.....		58
Grafica 9 Influencia del aditivo expansor sobre resistencia a la compresión axial, en tres niveles de relación a/c.....		59

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Realidad Problemática

La contracción del concreto por secado es un proceso natural de la hidratación del cemento durante el proceso de endurecimiento; esta retracción inicia una vez vertido el concreto dentro del encofrado durante el fraguado, contrayéndose mientras pierde humedad por evaporación, pierde volumen al solidificarse.

Es común observar un concreto seco con grietas en la superficie debido a esta contracción de volumen, una medida para menguar este fenómeno es utilizar métodos de curado adecuados evitando esta pérdida de humedad y el uso de aditivos químicos en la mezcla para dilatar el concreto a casi su volumen original de la estructura.

La contracción es una deformación tridimensional, fenómeno simple fácil de contrarrestar tomando las medidas mencionadas anteriormente, sin generar mayores complicaciones estructurales en la mayoría de ocasiones, siendo posible también subsanar las fallas (grietas, fisuras, vacíos, etc.) acontecidas luego de ocurridas; sin embargo, cuando se realiza una excavación profunda y es necesario una obra provisional de sostenimiento y estabilización de estructuras preexistentes con concreto simple como lo son las calzaduras, es de gran importancia evitar la reducción de volumen del concreto vertido por contracción en su totalidad; de esto depende en gran medida mantener la estructura preexistente intacta o en su defecto ocasionarle serios daños.

En el 2018, el 90% de la actividad edificadora en la ciudad de Trujillo en Perú, se destinó al uso residencial de acuerdo a los resultados del III Estudio del Mercado de Edificaciones Urbanas en la ciudad de Trujillo, elaborado por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), muchas de estas viviendas comprenden construcciones de grandes edificios multifamiliares que obligan a realizar excavaciones profundas para las cimentaciones o en algunos casos utilizar el espacio subterráneo para estacionamientos; durante la construcción de estos edificios se hace necesario que durante la excavación se brinde soporte lateral a las estructuras colindantes, con la finalidad de reducir el potencial de inestabilidad y evitar que sufran daños en su estructura por inestabilidad o asentamiento diferencial excesivo; uno de los métodos más utilizados localmente para estabilizar

los taludes, es el método de estabilización de taludes y excavaciones con un sistema de calzaduras de cimentaciones con concreto simple.

Las calzaduras sostienen las cimentaciones de los predios vecinos y el suelo de la pared expuesta al momento de la excavación, se construyen con concreto progresivamente con la excavación; es decir, se vierte el concreto en estado fresco debajo de la cimentación con la finalidad de servir de apoyo al solidificarse, sin embargo, la superficie de contacto entre el cimiento y la calzadura presenta vacíos debido a la contracción del concreto al solidificarse, por lo que es necesario el uso de aditivos expansores en la mezcla del concreto para contrarrestar este fenómeno, alterando químicamente el mecanismo de contracción sin expansión. Sin embargo, se han detectado casos donde el uso de aditivos expansores, tanto del tipo cal como del tipo ettringita-cal presentaron deterioro de hormigón debido a la expansión retardada del aditivo expansivo causando grietas de hinchazón producto de una expansión tardía del aditivo expansivo a largo plazo, cuando se utiliza un exceso de aditivo expansivo. (Zhang et al, 2018)

Existen una variedad de marcas y productos de aditivos expansores en el mercado que dan una supuesta solución a este problema, sin embargo, existe muy poca información proporcionada por el proveedor del producto o fichas técnicas de los resultados a conseguir, así como su efecto en otras propiedades de cemento, cuyo comportamiento es necesario conocer para su adecuada aplicación.

En el desarrollo de esta investigación se analizó el comportamiento de un concreto simple, al cual se le adicionó un aditivo expansor en diferentes dosis y marcas accesibles en la oferta del mercado nacional, para verificar sus propiedades en estado endurecido en comparación con un concreto patrón, sin aditivo.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es la Influencia del aditivo expansor tipo ettringita-cal y la relación a/c en la reducción de contracción y la resistencia a la compresión en concreto para calzaduras?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la influencia del aditivo expansor tipo ettringita-cal y la relación a/c sobre la retracción y la resistencia a la compresión del concreto para calzaduras.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar las Características físicas de los agregados (Humedad, Modulo de finura, TM, TMN, Absorción, peso específico y Peso unitario).
- Determinar el efecto de las variables sobre el peso unitario del concreto en estado fresco.
- Determinar la óptima dosificación de aditivo expansor para obtener la menor retracción y mayor resistencia a la compresión del concreto.
- Establecer si existe interacción entre el aditivo expansor y la relación a/c que afecte la retracción y la resistencia a la compresión del concreto.

1.4. Justificación del estudio

En obras de calzaduras es necesario garantizar que el elemento estructural de soporte a formar se confine completamente a sus partes contenedoras al pasar del estado de fraguado al endurecido; el mercado nacional existen dos tipos de aditivos expansores en una variedad de marcas ofertadas en el mercado nacional, que por sus ingredientes químicos brindan similares mecanismos de acción, sin embargo, el grado de eficiencia es desconocido, no se conoce que efectos colaterales podrían tener en otras propiedades del concreto; además las fichas técnicas que ofrece el fabricante están sustentadas en ensayos realizados con materiales específicos que se diferencian de los empleados en el mercado nacional, por lo tanto existe una insuficiente información de la estructura química de los aditivos, por consiguiente una investigación local nos brinda un panorama de resultados prácticos a esperar con el objetivo de contar con la confianza suficiente para su aplicación.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Zaichenko et al. (2019) estudiaron el “Efecto del agente expansivo y aditivo reductor de contracción en el hormigón contracción-compensación en un ambiente de curado en caliente y seco” en la Universidad Nacional Agraria de Lugansk en Ucrania, con el objetivo de determinar el comportamiento del agente expansor y aditivo reductor sobre la resistencia a la compresión; Utilizaron el cemento Portland ordinario CEM I 42.5 N que cumple (EN 197 CEM I) y clase F de ceniza volante como materiales cementosos, además de dos aditivos: un aditivo reductor de contracciones a base de polipropileno glicol (Mapecure SRA-25, Mapei) dosificado a 5 l/m^3 y un superplastificante de éter policarboxílico modificado al 4% en peso del material cementante (Melflux 5581 F, BASF); finalmente se utilizó dolomita en la mezcla ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) para obtener la mezcla expansiva basada en óxidos de calcio y magnesio con una ratio a/mc de 0.32, obteniendo como resultado que el aditivo reductor de contracciones a base polipropileno glicol reduce la resistencia a la compresión temprana (7 días) y el diseño (28 días) del hormigón. Sin embargo, la reducción de la resistencia se puede compensar mediante el uso de una menor relación agua/materiales cementosos, sin comprometer la capacidad de trabajo, ya que el aditivo reductor de contracciones mejora ligeramente las propiedades tecnológicas de las mezclas de hormigón fresco.

Sarapon y Maleesee (2018) en su investigación “efectos de un agente reductor de contracción y un aditivo expansor en las propiedades de un mortero” realizado en el Instituto de Tecnología de rey Mongkut de Ladkrabang (Bangkok), con la finalidad de definir el cambio volumétrico y la resistencia a la compresión en morteros aditivados. En el cual se utilizó cemento Portland ordinario, con relación 1:2.75 de cemento y arena, la relación a/c fue de 0.7, en el diseño experimental se utilizó 4 grupos, el primer grupo de control sin aditivos y 3 grupos con variaciones de ceniza volante en 3 niveles (0, 20% y 40 % en peso de cemento), aditivo expansivo a base de cal en dos niveles (0 y 15% en peso de cemento) y un agente reductor de éter polioxialquileño alquilo en dos niveles (0 y 2% peso del cemento); Las pruebas de contracción plástica se llevó a cabo utilizando el medidor de tensión

incrustado a 0,5 cm de la superficie de acuerdo con el estándar ASTM C1579-06 dentro de la edad temprana seguido de la prueba de contracción total y la prueba de resistencia a la compresión.

Los resultados muestran que al añadir el aditivo expansor y el agente reductor de contracción incluyendo la ceniza volcánica ayuda a aumentar el agrandamiento del mortero durante la edad temprana más que el uso único de aditivo expansor o agente reductor de contracción; con respecto a la resistencia a la compresión, se obtuvo que mortero mezclado con el aditivo expansor, agente reductor de contracción y ceniza volcánica reduce de acuerdo con la mayor proporción de cemento y reemplazo de agua.

Zhang et al. (2018) publicaron en la revista de la tecnología avanzada del concreto, Volumen 16, págs. 250-261. La investigación que lleva de título “Efecto de la tasa de adición de aditivo expansivo en la contracción autógena y la expansión retardada de mortero de alta resistencia” realizado en el Instituto de Concreto de Japón, en Tokio. Efectivamente las probetas hechas para el estudio estuvieron compuestas por un mortero de ultra alta resistencia. Dos series de experimentos fueron realizados a las probetas con la tasa de adición entre el 3% y el 7% en peso de cemento para aditivos expansivos. Los resultados experimentales confirman que la contracción autógena de las probetas se redujo de hecho al aumentar la proporción del aditivo expansivo. Además, para las probetas que probetas tuvieron 7% de aditivo expansor; curadas durante 7 días a temperatura constante de 20°C, y luego se curó durante mucho tiempo en un ambiente bajo el agua, húmedo (humedad relativa del 100%) o aire seco (humedad relativa: 60%), se produjo una tensión de expansión excesivamente grande. Específicamente se observó hinchazón y agrietamiento en las probetas que se curaron a largo plazo en un ambiente bajo el agua y húmedo. Según el resultado de los análisis de hidratación, la formación de una sustancia expansiva, hidróxido de calcio y ettringita contribuye a la aparición de una expansión retardada.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mestanza López (2020) en su investigación para obtener el título de pregrado denominado “Influencia del material fino que pasa la malla 200 y aditivo expansivo en las propiedades del mortero para resanes, Lima 2020” realizado en la Universidad César Vallejo, teniendo como objetivo principal analizar el efecto del

material fino que pasa la malla 200 conjuntamente con un aditivo expansivo en la disminución de la contracción por secado y la resistencia en un mortero para resanes, para lo cual, los morteros se diseñaron con una relación cemento arena de 1:3 , los niveles de material fino malla – 200 fueron de 6%, 8% y 12% mientras que para lo usado para el aditivo expansivo fue 1%, 3% y 6%, Los ensayos realizados fueron de fluidez, peso unitario, exudación y compresión. Los resultados que obtuvieron fueron que el material fino tiene influencia en la disminución de la contracción por secado y sobre la resistencia a la compresión, a mayor contenido de finos, el peso unitario aumentaba y la exudación disminuía, sin embargo el límite de 2% de aditivo expansor marca una reducción en la resistencia, por lo que los resultados más óptimos fueron de 8% y 12% de adición de finos con 2% de aditivo expansor.

Esta investigación brindo las dosificaciones del aditivo expansor a considerar, en sacrificio de la propiedad de la resistencia; la cantidad de finos malla – 200 se evaluó en los agregados finos considerando los resultados de esta investigación.

Rodríguez Dávila (2018) en su estudio de investigación de tesis denominado “Estudio del concreto con aditivo reductor de contracción, utilizando cemento Portland tipo I” realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, con el objetivo de determinar la influencia de un aditivo reductor sobre el fenómeno de contracción. Para la preparación del concreto se utilizó cemento portland tipo I y el aditivo Sika Control 40, el agregado fino se sustrajo de la cantera de Jicamarca y agregado grueso de la cantera La Gloria. Se formaron 4 grupos experimentales, el primer grupo tenía un diseño de mezcla sin aditivo para usarlo como concreto patrón y los tres grupos restantes con tres dosificaciones de aditivo que fueron de 1%, 2.5% y 4% con respecto al peso del cemento y para cada tipo de concreto se estudió la influencia del tiempo de curado en la contracción, siendo estos tiempos, un concreto no curado, un concreto curado durante 7 días y concreto curado durante 28 días.

Los ensayos realizados fueron para estimar la tendencia al agrietamiento por contracción restringida y el cambio de longitud del concreto. En los ensayos de cambio de longitud del concreto se observó que el concreto con 1 %, 2.5% y 4% de aditivo curado 28 días muestran las menores retracciones en relación a la muestra

patrón; y en el ensayo para estimar tendencia al agrietamiento por contracción restringida los mejores resultados fueron del concreto con aditivo Sika Control 40 al 4%, ya que no presentó agrietamiento alguno tal concreto en ninguno de los diferentes tiempos de curado.

Alanya Veli (2018) en su estudio de investigación de tesis “Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de ingeniería civil”; realizado en la Universidad Nacional de Ingeniería, en Lima. Evaluaron un mortero en estado fresco y endurecido con el objetivo de definir el comportamiento de las propiedades de trabajabilidad, resistencia a la compresión y tracción; usando el aditivo expansivo Sika® IntraPlast® PE donde se evaluó para cada diseño el peso unitario, la trabajabilidad, la exudación, expansión, resistencia a la compresión y a la tracción, tensión de adherencia y retracción del mortero. Estos diseños de compararon entre un mortero sin aditivo y otro con aditivo en las siguientes dosis: 2%, 6% y 10% del peso de cemento. Al usar el aditivo expansor las principales ventajas que adquirió el mortero fueron la buena adherencia, siendo esta directamente proporcional el aumento en la dosis a la buena trabajabilidad, la reducción de la segregación, exudación, expansiones controladas de 1% a 5%, y sus entre las principales desventajas se obtuvo una disminución de la resistencia a la compresión y a la tracción, la que depende de la dosis de aditivo a usar, pero cuando se usó en cantidades controladas la diferencia fue mínima.

2.2. Marco teórico

2.2.1 Cemento Portland

Cemento hidráulico elaborado por medio de la pulverización del clinker de Portland está compuesto principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, los cuales contienen generalmente uno o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda, Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker (NTP 334.001, 2011).

El cemento Portland como elementos de su composición tiene principalmente materiales calcáreos tales como caliza, alúmina y sílice que se hallan en forma de arcilla o pizarra; también se utiliza marga, que es un material calcáreo-arcilloso, por yeso y en los últimos años la adición de material puzolánico, que puede ser en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas,

esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes), o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes) (Rivera, 2008).

La elección del tipo de cemento Pórtland a usarse es muy importante para el tipo de labor que va a ejercer la obra civil y la condiciones externas a las que está expuesta, estos deben cumplir con las normas como la ASTM C 150 o C 595, por ser el cemento el componente más activo del concreto, y teniendo en cuenta que todas las propiedades del concreto dependen de la cantidad y tipo de cemento a usarse es que la selección del tipo a usarse y una adecuada dosificación son muy importantes, en la de La Libertad los cementos comercialmente disponibles son el tipo I y el tipo MS, ambos producidos por la fábrica de cementos Pacasmayo S.A.A. ambos cementos cumplen con las normas ASTM y NTP.

2.2.2 Composición química del cemento portland

Se ha visto que las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento Portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y hierro. (Tabla N° 1).

Tabla 1

Límites de composición aproximados para cemento Portland Tipo I

ÓXIDO	CONTENIDO
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₃ O ₂	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Álcalis	0.2-1.3
SO ₃	1-3

Nota. La tabla muestra la composición y su contenido aproximado del cemento Portland Tipo I. Fuente: Rivera (2008).

Sin embargo, es común considerar cuatro compuestos principales del cemento; se enumeran en la tabla siguiente, junto con sus símbolos de abreviación. Esta abreviación, utilizada por los químicos del cemento, describe cada elemento de óxido con una letra, para una mayor flexibilidad en el lenguaje:



Análogamente, el H₂O del cemento hidratado se indica por una H.

Tabla 2*Compuestos principales del cemento Portland*

<i>Nombre del compuesto</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Abreviatura</i>
<i>Silicato dicálcico</i>	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S
<i>Silicato tricálcico</i>	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S
<i>Aluminato Tricálcico</i>	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A
<i>Aluminoferrito Tetracálcico</i>	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF

Nota. La tabla muestra los compuestos del cemento Portland Tipo I. Fuente: Rivera (2008).

En realidad, los silicatos que se encuentran en el cemento no son compuestos puros, pues contienen pequeñas cantidades de óxidos en soluciones sólidas. Estos óxidos tienen efectos importantes en los ordenamientos atómicos, las formas cristalinas y las propiedades hidráulicas de estos silicatos. (Rivera, 2008).

2.2.3. Agregado fino

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 μ m (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en NTP 400.037.2014.

2.2.4. Agregado grueso

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en NTP 400.037.2014.

2.2.5. La Hidratación del cemento

Para entender en mayor grado los variados mecanismos de contracción es necesario comprender la hidratación del cemento primero. El término hidratación del cemento es una descripción global de varios fenómenos a raíz de la reacción química del cemento Portland con el agua, la cual es una reacción exotérmica que libera calor, resultando en la formación de una pasta de cemento hidratada creando una masa sólida cohesiva y adherente, el elemento esencial del concreto (Abanto, 2009)

El cemento es una mezcla de caliza (CaCO_3) y arcilla en una preparación parcial llamado Clínker, el cual se pulveriza y se mezcla con una pequeña cantidad de yeso de aproximadamente del 5%.

El clínker contiene cuatro compuestos principales que totalizan el 90%: el silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferro-aluminato tetracálcico (Pasquel, 1998).

Tabla 3

Componentes del Clínker

Abreviatura	Notación
C	CaO
A	Al_2O_3
S	SiO_2
F	Fe_2O_3
H	H_2O
N	Na_2O
K	K_2O
L	Li_2O
f	FeO
T	TiO_2

Nota. La Tabla muestra las abreviaturas para las fórmulas químicas de los componentes del Clínker. Fuente: Rivera (2008).

Tabla 4

Fases del Clínker

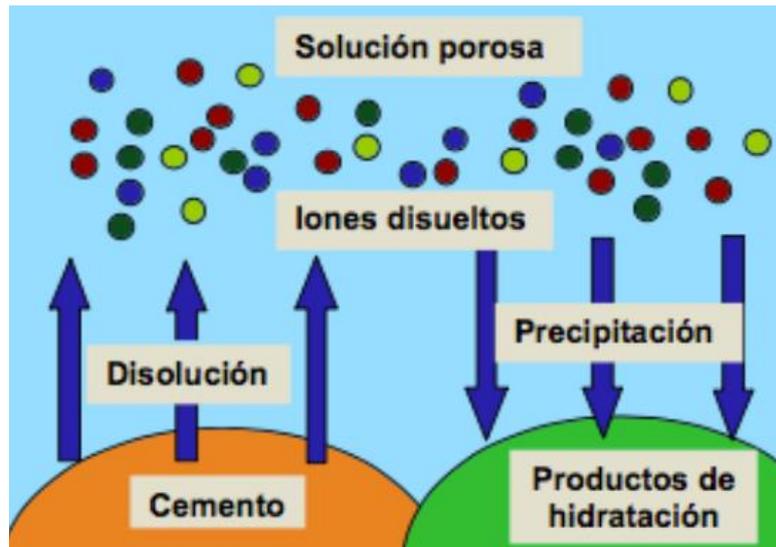
Nombre	Fórmula	Composición	% Masa	Nombre del mineral
Silicato tricálcico	C_3S	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	50 - 70	Alita
Silicato dicálcico	C_2S	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	15 - 30	Belita
Aluminato tricálcico	C_3A	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	5 - 10	Celita
Ferro - aluminato tetracálcico	C_4AF	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	5 - 15	Browmillerita

Nota. La tabla muestra las diferentes fases del Clínker y su composición. Fuente: Rivera (2008).

Cuando componentes del clinker reaccionan con el agua formando una pasta de cemento y sus componentes precipitan como partículas formando una red porosa de escala nanométrica; dando inicio a la hidratación, el cemento se disuelve liberando iones al agua en una solución porosa que al poco tiempo se satura combinándose para formar fases solidas que finalmente se precipitan.

Grafica 1

Ilustración de hidratación del cemento

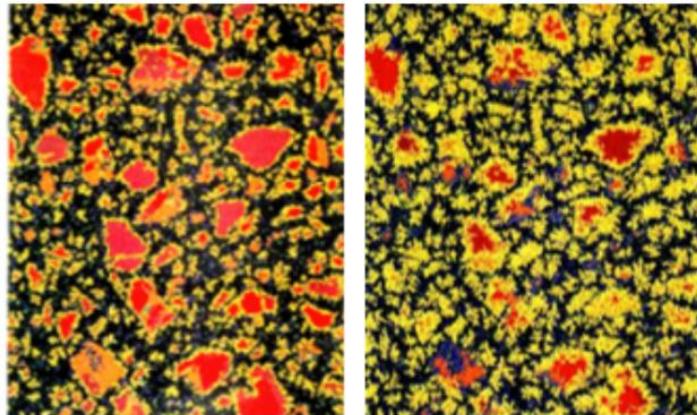


Nota. La imagen muestra el proceso de hidratación del cemento. Fuente: Rivera (2008).

Los componentes del clinker son muy solubles en agua por lo que se disuelven rápidamente en menos de un minuto. Luego, por un periodo de tiempo de aproximadamente de dos horas nada cambia, continuando con una reacción rápida caracterizado por la precipitación de los productos que dan las características de cohesión y resistencia a la pasta de cemento por un periodo donde el punto máximo se da aproximadamente a las 24 horas,

Grafica 2

Modelo digital de la hidratación del cemento



Nota. La imagen muestra a la Izquierda, hidratación de C₃S en un 30% y a la derecha en un 70%. Rojo=C₃S, Amarillo=producto de hidratación (C-S-H). Fuente: Rivera (2008).

Las reacciones de hidratación del cemento se dan primero con el C₃A, continuando con C₄AF, C₃S, y C₂S.

El C₃A reacciona inmediatamente con el agua haciendo que este fragüe al instante, para evitarlo se añade yeso que reacciona con el aluminato produciendo trisulfoaluminato de calcio llamado también Ettringita.



El C₄AF se hidroliza formando aluminato tricálcico exahidratado y ferrito monocálcico.



El C₃S es el silicato cálcico más inestable de los presentes en el cemento, al reaccionar con el agua se convierte en silicato cálcico hidratado (C-S-H) y en hidróxido de calcio llamado portlandita. Se considera que el 70% de la fase ha reaccionado en menos de un mes y finaliza completamente al año.



El silicato dicálcico al hidratarse también se convierte silicato cálcico hidratado (C-S-H) y en portlandita, pero a diferencia de (3) se produce menos hidróxido de calcio, solo el 30% del C₂S reacciona a los 28 días.



Resumiendo, los productos de hidratación resultantes son: Silicato Cálcico Hidratado (C-S-H), Hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), Trisulfoaluminato de calcio (AFt), Aluminato tricálcico exahidratado y ferrito monocálcico (AFm).

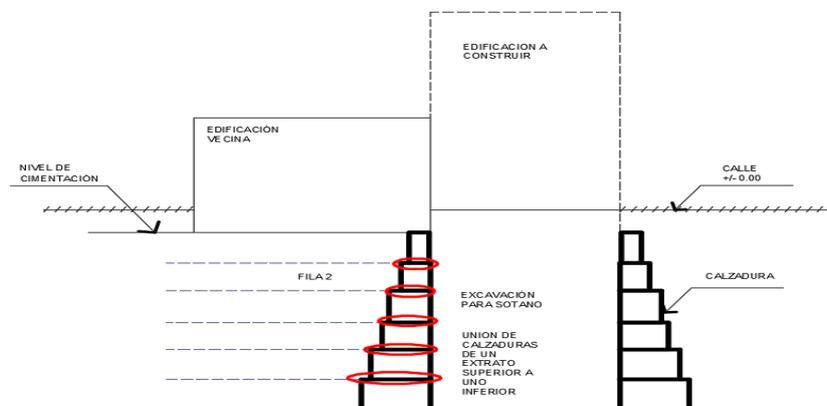
2.2.6. Calzaduras

La calzadura es un elemento estructural que sirve para soportar la carga vertical de la cimentación de una estructura pre-existente con el fin de transmitirlo a un estado inferior del suelo.

Unas de las mayores funciones de las calzaduras es prevenir las fallas por inestabilidad o asentamiento excesivo y mantener la integridad del terreno colindante y de las obras existentes en él, hasta que entre en funcionamiento las obras de sostenimiento definitivas (Fig. 01). Dentro de este marco las obras de calzadura tienen carácter temporal ya que su función de contención o confinamiento será asumida definitivamente por la nueva construcción, con el objetivo de contener los empujes laterales del terreno que se presentan al momento de la excavación y transmitir parcialmente la carga vertical de la cimentación existente a un estrato más bajo.

Grafica 3

Calzadura invade terreno vecino



Nota. La imagen muestra la unión de las calzaduras en el terreno vecino. Fuente: elaboración propia

2.2.7. Problema en el sistema constructivo de las calzaduras

Las Calzaduras, se ejecutan excavando zanjas de forma rectangular de un ancho que oscila en el rango de 0.8 m. a 1.50 m y una altura en el orden de 1.0 m a 2.00 m. y un espesor inicial igual al espesor del cimiento por calzar, en el caso que solo tenga sobrecimientos como base; Si presenta otro tipo de cimentación como Zapatas, Platea de cimentación, etc. no está especificado el ancho inicial de la calzadura pero tendrá que considerarse algunas características del suelo y la profundidad a excavar para el diseño de esta dimensión. Las dimensiones siguientes del espesor de la calzadura irán aumentando dependiendo de la consistencia del terreno a intervalos bajo la cimentación vecina (Maggiolo, 1996).

Entre filas de calzaduras existe una superficie de unión, la primera es entre la fila de calzadura inicial con la cimentación de la construcción vecina y las siguientes son calzadura con calzadura en niveles contiguos hasta la profundidad requerida, como muestra la Figura 01 (elipse roja). Siendo uno de los principales problemas que ocurren en la construcción de calzaduras es que pueden ocurrir asentamientos verticales, sea por los efectos de retracción del concreto de la calzadura o por un mal llenado de alguno de los segmentos; ocasionando vacíos en la superficie de contacto o un área de contacto insuficiente para el soporte; habiendo que considerar por otro lado que mientras mayor sea la profundidad de las calzaduras, mayor será espesor de estas; aumentando así la carga vertical al nivel inferior por lo que hace necesario aumentar la resistencia a la compresión de fila inferior de calzaduras (Mendoza, 2010).

Por tal razón es necesario asegurar que la superficie de contacto, no se vea afectada en ningún grado por la contracción volumétrica, haciendo uso de agentes reductores de contracción y aditivos expansores, evaluando el efecto que estos aditivos tienen sobre las propiedades de resistencia a la compresión.

2.2.8. Variaciones de volumen en el concreto

El cemento como buen conglomerante hidráulico, debe ofrecer características físicas de estabilidad de volumen; esta facultad para no presentar pronunciados excesos de variación volumétrica o cambios dimensionales durante el proceso de hidratación del cemento; ya sea que se refiera a variaciones de aumento de volumen (expansiones e hinchamientos) o variaciones de reducción de

dimensiones (retracciones), debido a que estos fenómenos pueden ser causa de agrietamientos y fisuraciones, e incluso roturas y desintegraciones.

Las reacciones químicas en la pasta cementante durante la hidratación, generara inestabilidad por expansión, donde los elementos activos que brinda este efecto son los productos anhidros que forman hidratos cuyo volumen final es mayor que la suma de los volúmenes de los elementos que lo conforman y del agua adicionada a la mezcla para dar la reacción, siempre y cuando se dé la condición de que los productos hidratados no cuenten con el espacio libre para cristalizar sin producir dilataciones o tensiones (Calleja, 1971).

2.2.9. Los componentes expansivos de concreto

El carácter expansivo en el proceso de hidratación del cemento, no lo brindan todos los componentes anhidros; algunos de ellos ocasionan el efecto contrario, es decir una retracción; representante este alineamiento se encuentra el aluminato tricálcico C_3A , que en condiciones determinadas, sumado a la presencia de sulfato cálcico (yeso, $CaSO_4$) y agua podrían formar a la ettringita, elemento de carácter expansivo; Sin embargo, su formación se basa expansión controlada o retracción compensada como parte del mecanismo de los cementos expansivos.

La cal libre (CaO) y el óxido de calcio (MgO), o magnesia libre son los principales componentes expansivos del cemento (cristalizada en forma de periclasa). Su existencia y cantidad en el cemento esta inseparablemente unido a las materias primas dependen de factores como, la dosificación, procesos de cocción y de enfriamiento del Clinker, almacenamiento y aireación del cemento. Al ser óxidos calcinados a altas temperaturas ($1450\text{ }^{\circ}C$) ofrecen un proceso de hidratación expansiva muy lenta; los residuos de magnesia vítrea de la mezcla sólida con otros componentes del clinker es prácticamente inactiva a los efectos de la expansión cuando éstos se someten a un enfriamiento violento, pero no así actúa la magnesia libre cristalizada (periclasa).

La cal y la magnesia libres calcinadas a altas temperaturas presentan una tardanza en el proceso de hidratación, siendo esta la principal causa de que las reacciones expansivas debidos a dicha hidratación no se manifiesten de forma inmediata, sino diferida, con lo cual la expansión produce tensiones internas que pueden crear problemas graves (Calleja, 1971).

2.2.10. Expansión del concreto

Se dice que el producto de hidratación expandible, hidróxido de calcio (CH) y ettringita (AFt) forman, e imparten un efecto expansivo sobre el hormigón, lo que reduce las grietas de contracción durante el curado del hormigón (AIJ, 2013).

Se ha confirmado que tanto el tipo compuesto de ettringita-cal como el aditivo expansivo de tipo cal son eficaces para reducir la contracción en la edad temprana. Confirmando que luego de las 24 horas, la formación de hidróxido de calcio contribuye al efecto de reducción de contracción autógeno del aditivo expansivo. (Zhang *et al.* 2018).

2.2.11. Expansión retardada

Dado que la cantidad de producción de hidróxido de calcio tiene una correlación con la cantidad de aditivo expansivo agregado al diseño de mezcla, es posible obtener una reducción sustancial de la contracción autógena fácilmente mediante la adición de aditivos más expansivos. Sin embargo, se han reportado casos en los que se producen pop-outs y grietas de hinchazón similares a conchas de tortuga debido a la expansión tardía del aditivo expansivo a largo plazo, cuando se utiliza un exceso de aditivo expansivo.

En concreto con una relación W/B extremadamente baja y una cantidad excesiva de aditivo expansivo, el aditivo expansivo sin reaccionar permanece inocuo mientras se endurece. Con el curado a largo plazo, el aditivo expansivo restante se hidrata con agua suministrada lentamente desde el agregado, creando una presión de expansión excesiva, lo que resulta en el deterioro de la expansión del hormigón (Kaku *et al.* 2008).

La dilatación retardada de aditivos expansivos cuando se utiliza excesivamente se menciona en un fenómeno de expansión similar que es causado por la formación retardada de Ettringita. Para el hormigón con curado a alta temperatura a una edad temprana, después de varios meses a varios años, el sulfato reacciona con hidrato de aluminato, genera Ettringita, causando presión de expansión y deterioro del hormigón (JCI, 2014).

2.2.12. Contracción del concreto

La contracción es un fenómeno aparentemente simple del concreto ocurre cuando este pasa de un estado fresco a un estado endurecido, por el proceso de hidratación del cemento, es decir cuando este pierde agua. Esto es llamado contracción por secado en el concreto endurecido expuesto al ambiente con una humedad relativa menor al 100%.

Estrictamente hablando la contracción es una deformación tridimensional, pero se expresa comúnmente como una deformación lineal porque en la mayoría de los elementos de concreto expuestos, una o dos dimensiones son mucho más pequeñas que la tercera dimensión y el efecto de la contracción es mayor en la dimensión más grande (JCI,2014).

2.2.13. Tipos de contracción del concreto

Se clasifican en cinco tipos, las cuales, pueden ocurrir independientemente unas de otras dependiendo de las circunstancias, pero cuando todos estos tipos de contracción ocurren simultáneamente se le conoce como contracción total.

2.2.13.1. La contracción plástica. Se presenta cuando el concreto fresco es vertido en su encofrado contenedor y antes de que ocurra cualquier desarrollo de resistencia comienza a perder humedad. La cantidad de grietas que pueden presentarse dependerá de factores como la temperatura ambiente, la humedad relativa, la temperatura del concreto y la velocidad del viento (Zhang et al. 2018).

2.2.13.2. La contracción por secado. Involucra el flujo y pérdida de agua en los poros capilares y microporos de la pasta hidratada de cemento y desde el interior de la estructura de los productos de hidratación o gel. conforme el concreto en servicio se seca, éste pierde humedad desde estos poros muy pequeños, formando meniscos. La tensión superficial del agua asociada a estos meniscos atrae los poros uno hacia el otro y da como resultado una pérdida de volumen en el concreto, por tal razón muchos consideran a este fenómeno como la verdadera contracción del cemento (Kaku et al. 2008).

2.2.13.3. La contracción autógena. Ocurre dentro de la masa de concreto, esto es, sin contacto con el medio ambiente, también es conocida como contracción por auto desecación o contracción química, aunque este último término tiene poco mérito. Para el hormigón con una relación baja de agua y mezcla cementante (a/mc), la causa principal de las grietas de contracción que ocurren al principio del proceso de endurecimiento es la contracción autógena de la pasta de cemento. Dado que esta contracción ocurre antes de que la resistencia a la tracción del hormigón se desarrolle, es difícil implementar medidas de control de grietas después de la fundición. En consecuencia, los aditivos expansivos o los agentes de reducción de contracción se consideran como una contramedida para suprimir las grietas de contracción durante la fase de diseño de las proporciones de la mezcla (Zhang et al. 2018).

2.2.13.4. La contracción térmica. Ocurre luego de colocar el concreto, si experimentáramos una disminución en la temperatura ambiente pronunciada, tendría un efecto inmediato reducción volumétrica del concreto (Kaku et al. 2008).

2.2.13.5. La contracción por carbonatación. Es la que ocasiona la reacción química del cemento hidratado con el CO_2 del aire en presencia de humedad (Zhang et al. 2018).

2.2.14. Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión del concreto generalmente se evalúa a los 28 días de vaciado el concreto, sin embargo, se hace controles de seguimiento al 3er y 7mo día, aunque en estructuras especiales como túneles y presas, o cuando se emplean cementos especiales, es posible que se requieran controles en diferentes periodos de maduración del concreto, menores o mayores a 3, 7 o 28 días. (Sánchez, 1994).

La resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas. Para la evaluación de la conformidad de la resistencia a la edad especificada se usa el criterio de la NTP 339.114 / ASTM C94 y NT E.060 / Reglamento ACI318.

2.2.15. Aditivos para el concreto

Es el producto que añadido al mortero o concreto en pequeña cantidad, con el propósito de mejorar o dar propiedades específicas a las mezclas, tanto para su estado fresco como para su estado endurecido.

Un aditivo tiene por lo general una acción principal, aunque puede presentarse igualmente a ciertas acciones secundarias.

Los aditivos se comercializan bajo la forma de polvos solubles o bien como líquidos, siendo estos los más aceptados y se venden bajo denominaciones correspondientes a una marca o sociedad. (Rivera, 2008).

2.2.16. Aditivo expansor para morteros y hormigones

Entre los nuevos desarrollos de la tecnología del hormigón se encuentran las aplicaciones de los aditivos expansores utilizados para compensar la contracción que se produce por efecto del fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland en morteros y hormigones.

En recientes publicaciones técnicas se comenzó a desarrollar el interés en los temas relacionados con los métodos de ensayos aplicados a la medición de la contracción, aparición de fisuras y medición de la efectividad en hormigones de retracción compensada. Actualmente, producción industrial de un aditivo expansor es en base mineral.

El aditivo expansor es un producto inorgánico en polvo exento de cloruros y de otros componentes perjudiciales para el hormigón. Está compuesto por un óxido de calcio tratado térmicamente de un modo particular y mediante un grado de molienda controlado; estos aditivos expansivos no contienen yeso y desarrollan un mayor grado de expansión y estabilidad que gradualmente incrementa la durabilidad de los productos manufacturados (disminuyen o eliminan el riesgo de fisuras, incrementan la alcalinidad que protege las armaduras, producen auto precompresión e incrementan la resistencia mecánica). También hay otros aditivos expansivos basados en la formación de ettringita (sulfoaluminato hidratado de calcio), Ambos productos son para uso profesional (Abanto, 2009)

La propiedad principal de un aditivo expansor para utilizar en mezclas de hormigón y morteros cementíceos por una parte se compensa la contracción por fraguado y endurecimiento y se da lugar a una expansión adicional.

Esta propiedad expansiva induce a una disminución de la porosidad, con la consiguiente reducción de la permeabilidad, un incremento de la resistencia a la compresión, un incremento de la durabilidad y una mayor adherencia al hierro de las estructuras. (AAHE ,2009).

2.2.17. Características técnicas de un aditivo expansor.

El grado de expansión depende de la dosis que contenga el agente expansor, el tipo y la cantidad de cemento, la relación agua-cemento y el tipo y naturaleza del agregado. La expansión depende del tiempo de mezclado, la temperatura, las condiciones y el período de envejecimiento del concreto y el expansor. Todos los factores que aceleran la tasa de hidratación del cemento promueven la expansión durante la etapa plástica y disminuyen el grado de expansión durante la etapa de endurecimiento. Los tiempos de mezcla más prolongados aumentan la temperatura y la aplicación de proporciones excesivas de agua/cemento ($>0,50$) reduce la cantidad de hinchazón. En el hormigón armado, el contraste de hierro de la barra de refuerzo y la expansión debida al agente de expansión crean un estado de tensión de tracción en el acero y un estado de tensión de compresión en el hormigón. La acción de precompresión provocada por la expansión de los aditivos debido a reacciones fisicoquímicas en el hormigón suprime parcial o totalmente la generación de tensiones por pérdida de agua. Evita las fuerzas de tracción que se producen en el hormigón y al mismo tiempo forma fisuras. Brinda los beneficios de durabilidad de los productos de concreto reforzado. Retracción compensada para aplicaciones donde se requiere una alta precisión del cambio dimensional y la dosificación inadecuada de aditivos de expansión perjudica el buen resultado de las intervenciones (p.e. juntas de elementos prefabricados, anclajes mecánicos o acabados superficiales) Se recomienda utilizar productos premezclados secos. (con acción de hinchamiento durante las etapas de plastificación y curado) y oscurecimiento Optimizado para aplicaciones específicas como las mencionadas anteriormente (Abanto, 2009).

2.2.18. Fraguado con aditivo expansor

La expansión del concreto ocurre solo cuando el curado del producto fabricado se lleva a cabo en un ambiente húmedo. La mayor parte de la expansión generalmente ocurre dentro de las 24 a 48 horas posteriores a la mezcla. Otra

ventaja sobre los agentes de expansión a base de sulfoaluminato de calcio (etringita) es que este aditivo de expansión se debe curar estando húmedo. menos de los 5 o 7 días necesarios para formar etringita (JCI,2014).

La hidratación (>80 %) de este aditivo expansor suele tardar entre 1 y 3 días. Claramente, un contenido de humedad prolongado durante el fraguado mejora el desempeño del concreto de retracción compensada. Especialmente en climas cálidos o secos, la humedad de ajuste debe ser más larga. Se recomienda rociar regularmente el producto fabricado, cubrirlo con una lona los primeros días o tratar todas las superficies expuestas con un producto antieaporantes (JCI,2014).

2.2.19. Definición de la Relación Agua/Cemento

Para elaborar concreto se mezcla el conglomerante, que es el cemento, agregados de piedra y arena, agua y en algunos casos aditivos. Es el cemento portland y agua, los que forman la pasta que une la mezcla de grava y arena, formando una masa parecida a la roca. Es aquí donde radica la gran importancia del agua y su relación con el cemento, pues dependerá de sus proporciones la adquisición de propiedades del producto final, es decir que entre más agua se encuentre en el sistema, aumentará la fluidez, la trabajabilidad y plasticidad de la mezcla, sin embargo, las aguas en exceso de las reacciones de hidratación disminuirán la resistencia como consecuencia del aumento de volumen de espacios creados por el agua libre, siendo esta la razón por lo que la resistencia a la compresión del concreto depende altamente de la relación proporcional entre el agua y el cemento (Rivera, 2008)

El rango adecuado para la relación agua cemento se encuentra entre 0.42 y 0.60 (comúnmente se utiliza una cantidad de agua por dos cantidades de cemento en peso, con una variación de agua por exceso (25%) o de cemento por defecto (18%), para una hidratación correcta del cemento; ya que un exceso de agua conlleva a que las partículas lleguen a un punto de saturación donde ya no absorben más agua, dejando espacios vacíos donde no se produce ninguna reacción (Abanto, 2009).

2.3. Marco conceptual

- **Fraguado en el concreto:** Es la pérdida de plasticidad debido al endurecimiento de la pasta de cemento por acción de las reacciones de

hidratación, desecación y recristalización de los hidróxidos en la mezcla del concreto. Se divide en dos etapas: La inicial cuando empieza a perder plasticidad la masa y la final cuando deja de ser deformable la pasta de cemento y se convierte en un bloque rígido (Pasquel, 1998).

- **Trabajabilidad o Manejabilidad en el Concreto:** Describe a una propiedad del concreto en estado fresco que facilita el manejo, la mezcla, la colocación, y compactación sin que se pierda la homogeneidad de la mezcla (Sánchez, 1994).
- **Fisuras:** Cuando la fuerza de tensión aplicada a un elemento de concreto reforzado supera su resistencia a tensión, aparecen las fisuras. Las características principales de una fisura son su extensión y profundidad; al evaluar se constata si es una fisura superficial y si ha alcanzado al acero de refuerzo o si ha atravesado todo el elemento de concreto. Las fisuras superficiales comprometen la estética de la estructura y la durabilidad si ya alcanzaron a las barras de acero. Las fisuras pasantes comprometen la rigidez, la durabilidad y la impermeabilidad, además de la estética. (Pasquel, 1998)

2.4. Sistema de hipótesis

La adición de un aditivo expansor en el concreto presentará un aumento de volumen inicial que ayudará a reducir o anular la contracción natural del concreto, pero presentará una disminución en la resistencia a la compresión, porque se producen reacciones químicas formando moléculas expansivas en el mortero modificando la estructura matriz.

2.4.1. Variables e indicadores.

Variables Independientes.

- Aditivo Expansor: Sika®IntraPlast® PE es un aditivo en polvo, que contiene plastificantes especiales y productos expansores finamente molidos, que actúa sobre las mezclas como: expansor y defloculante.

Variables dependientes.

- Reducción de la Contracción: Abarca la determinación de los cambios de longitud del concreto al estado fresco que sucede al pasar a endurecido, la variación de volumen se expresa en porcentaje (%).
- Resistencia a la compresión: El ensayo mecánico que se realiza sometiendo la muestra a una carga normal a una de las superficies aumentándola gradualmente hasta ocurrir su falla. Se expresa en Kg/cm².

Variables fijas.

- Los agregados finos.
- Cemento Pacasmayo portland Tipo I.

Tabla 5

Cuadro de operacionalización de Variables.

Variables Independientes	Definición conceptual	Definición operacional	Und.	Dimensiones	Indicadores
Concreto con aditivo expansor	Fraguado del concreto con mínima retracción por secado	Concreto para calzaduras capaz de encajar perfectamente las filas inferiores con las superiores por la casi nula contracción del concreto al solidificarse.	%	<ul style="list-style-type: none"> Dosificación en Porcentajes en peso. 	<ul style="list-style-type: none"> Peso aditivo por peso de cemento.
Variable Dependiente:	Definición conceptual	Técnicas	Und.	Dimensiones	Indicadores
Propiedades Físicas y Mecánicas del concreto	Variabilidad del volumen debido a la contracción por secado.	ASTM C 157	%	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de Variación. 	<ul style="list-style-type: none"> Variación de Longitud
	Propiedad del concreto relacionadas con sus posibilidades de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones.	NTP 339.034	Kg/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la compresión. 	<ul style="list-style-type: none"> Peso por unidad de área

Nota. La tabla muestra las características operacionales de las variables. Fuente: Propia.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo con el objetivo de este estudio, esta investigación es aplicada y experimental, con un método para el diseño y el análisis de experimentos con dos factores y 3 niveles de tratamientos; con experimentos aleatorizados completamente.

3.1.1 Descripción

Se realizaron 12 grupos, de los cuales tres grupos fueron elaborados como concreto de control, sin la incorporación de aditivo expansor a diferentes relaciones a/c y los otros nueve grupos serán los experimentales, en los cuales se evaluó diferentes dosis de aditivo expansor y relación a/c.

Tabla 6

Codificación de muestras experimentales y dosis de aditivo

Código	Descripción	% en Peso Aditivo Expansor y Relación a/c		
		Nivel Bajo	Nivel Medio	Nivel Alto
M0	Sin Aditivo	0	0	0
M1	% de aditivo expansor	2	6	10
M2	Relación a/c	0.35	0.45	0.55

Nota. La codificación y niveles de tratamientos de las variables independientes

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Unidad de análisis

Cada una de las probetas de concreto $f'c=210$ kg/cm².

3.2.2. Universo o Población

Todas las probetas de concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborados con cemento. Tipo I.

3.2.3. Muestra

La preparación de la muestra está de acuerdo con las características físicas del agregado según las NTP, el agregado de aditivos y el cemento Tipo I.

Se determinó el tamaño de la muestra a través de un muestreo aleatorio simple, para la Estimación de la Media Poblacional (μ) con Universo infinito es del tipo cuantitativo continuo. A continuación, se presenta la fórmula adecuada para este tipo de estudio:

$$n \geq \frac{Z_{\alpha/2}^2 \sigma_0^2}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño mínimo de la muestra.

$Z_{\alpha/2}$ = Coeficiente de (1- α) % de confiabilidad.

σ_0 = Desviación estándar poblacional de antecedentes.

E = Error máximo tolerable en la estimación de la media μ .

Nivel de confianza tomado es de un 95% y el nivel de significancia es del 5%.

De las tablas estadísticas el valor estandarizado de Z, para un nivel de confianza de 95 es de 1,96.

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

La desviación estándar poblacional de antecedentes (σ_0) se obtuvo de unas pruebas preliminares de $\sigma = \pm 0.43$ % muestras para variación de longitud (1" x 1" x 11"), con un diseño de mezclas para elaborar un concreto $f'c$ 210 Kg/cm².

El error máximo tolerable en la estimación de la media. E, se consideró pequeño con la finalidad de obtener un mayor tamaño muestral (**n**).

$$E = 0.10 \%$$

Teniendo:

$$n \geq \frac{1.96^2 \times 0.43^2}{0.10^2}$$

$$n \geq 71.5$$

El resultado da un tamaño de muestra de 71.5 (los cuales se redondeó a 72) probetas, se tiene 27 probetas para el ensayo de variación de longitud, 27 probetas para el ensayo de resistencia a la compresión axial y 18 como parámetros comparativos o de control; distribuidos de la siguiente manera:

- 09 probetas con el porcentaje fijo de aditivo expansor al 2%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, en el ensayo de la variación de longitud.
- 09 probetas con el porcentaje fijo de aditivo expansor al 6%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, en el ensayo de la variación de longitud.
- 09 probetas con el porcentaje fijo de aditivo expansor al 10%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, en el ensayo de la variación de longitud.
- 09 probetas con el porcentaje de aditivo expansor al 0%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, como probetas de control en el ensayo de variación de longitud.
- 09 probetas con el porcentaje fijo de aditivo expansor al 2%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, en el ensayo de resistencia a la compresión axial.
- 09 probetas con el porcentaje fijo de aditivo expansor al 6%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, en el ensayo de resistencia a la compresión axial.

- 09 probetas con el porcentaje fijo de aditivo expansor al 10%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, en el ensayo de resistencia a la compresión axial.
- 09 probetas con el porcentaje de aditivo expansor al 0%, variando la relación a/c en los niveles 0.35, 0.45 y 0.55, con tres replicas para cada nivel, como probetas de control en el ensayo de resistencia a la compresión axial.
- Finalmente se tiene las 63 probetas de ensayos. Cada tipo de concreto se diseñó con una relación a/c de 0.35, 0.45 y 0.55, variando el porcentaje de aditivo expansor, del 2%, 6% y 10%, para cada uno de los ensayos.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Diseño de contrastación

La presente investigación es aplicada porque genera información sobre la reducción de contracción, así como, las propiedades de un concreto elaborado con un aditivo expansor a base de ettringita-cal, el cual, se recopiló datos experimentales de laboratorio, medibles y analizados estadísticamente, en busca de usar los conocimientos para futuras aplicaciones.

De acuerdo con la metodología de la investigación, al ser cuantitativa, el presente estudio es experimental de acuerdo con la técnica de contratación; en un ambiente controlado se manipula intencionalmente las variables independientes para notar los efectos que produce en la reducción de la contracción y la resistencia a la compresión del concreto.

3.3.1.1. Diseño Experimental. Se utilizó un diseño factorial 3^2 , completamente aleatorio, es decir un arreglo factorial de 2 factores y tres niveles cada uno, el cual tiene como referencia un nivel bajo, uno intermedio y otro alto, se obtuvo un total de 36 tratamientos diferentes, donde las pruebas usarán 3 réplicas para cada tratamiento. Además, se utilizó 1 tratamiento de control para los ensayos de resistencia a la compresión, donde a cada tratamiento se le proporcionó también 3 réplicas.

El parámetro de control de los ensayos de retracción, es una medición a las 4 horas de fundido el concreto dentro del molde.

Tabla 7
Matriz de Ensayos de Contracción del concreto

Relación a/c	Aditivo Expansor		
	Inferior	Medio	Superior
0.35	2%	6%	10%
0.45	2%	6%	10%
0.55	2%	6%	10%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8
Matriz de ensayos de contracción del concreto (Variación Longitudinal)

Relación a/c	Aditivo Expansor					
	Inferior		Medio		Superior	
Inferior	Y ₁₁₁	Y ₁₁₂	Y ₁₂₁	Y ₁₂₂	Y ₁₃₁	Y ₁₃₂
	Y ₁₁₃		Y ₁₂₃		Y ₁₃₃	
Medio	Y ₂₁₁	Y ₂₁₂	Y ₂₂₁	Y ₂₂₂	Y ₂₃₁	Y ₂₃₂
	Y ₂₁₃		Y ₂₂₃		Y ₂₃₃	
Superior	Y ₃₁₁	Y ₃₁₂	Y ₃₂₁	Y ₃₂₂	Y ₃₃₁	Y ₃₃₂
	Y ₃₁₃		Y ₃₂₃		Y ₃₃₃	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9
Matriz de ensayos de resistencia a la compresión axial.

Relación a/c	Aditivo Expansor					
	Inferior		Medio		Superior	
Inferior	X ₁₁₁	X ₁₁₂	X ₁₂₁	X ₁₂₂	X ₁₃₁	X ₁₃₂
	X ₁₁₃		X ₁₂₃		X ₁₃₃	
Medio	X ₂₁₁	X ₂₁₂	X ₂₂₁	X ₂₂₂	X ₂₃₁	X ₂₃₂
	X ₂₁₃		X ₂₂₃		X ₂₃₃	
Superior	X ₃₁₁	X ₃₁₂	X ₃₂₁	X ₃₂₂	X ₃₃₁	X ₃₃₂
	X ₃₁₃		X ₃₂₃		X ₃₃₃	

Fuente: Elaboración Propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

Las técnicas de recolección de información básica para la presente investigación se obtuvieron de los ensayos experimentales de laboratorio con la metodología planteada, cumpliendo con las normas para cada ensayo que nos ayuda a asegurar una adecuada investigación.

Se procedió a determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto fresco y endurecido mediante los ensayos que se muestran a continuación, los cuales se basan en las normas de la sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM), normalización española (UNE) y de las Normas Técnicas Peruanas (NTP):

- NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino
- NTP 400.021 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para el peso específico y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados.
- NTP 339.036. CONCRETO. Practica para muestreo de mezclas de concreto fresco.
- NTP 339.033 CONCRETO. Practica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.
- NTP 339.035 HORMIGÓN. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- NTP 339.184 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón.
- NTP 339.0.34 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

- ASTM C157. Método de prueba estándar para el cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido.

Para el registro de datos de los ensayos de laboratorio, se usó como instrumento fichas de laboratorio, donde se describen las muestras, condiciones de ensayo y los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio en el concreto elaborado con cemento tipo I.

3.4.1. Estudio de las Propiedades Físicas de Agregado Fino

Se extrajo los agregados, de la cantera “ZM” ubicada en la vía Panamericana Norte, carretera Integración en el distrito de Huanchaco, Trujillo. Luego se realizaron los ensayos para caracterizar las propiedades físicas del agregado, en cumplimiento con los métodos de la norma técnica peruana:

Grafica 4

Ubicación de la cantera “ZM”



Nota. La imagen muestra la ubicación de la cantera “ZM” en el distrito de Huanchaco-Trujillo. Fuente: Propia

3.4.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012,2013).

3.4.1.1.1. Materiales y Equipos.

- Balanza
- Tamices (agregado grueso)
- Tamices (agregado fino)
- Recipientes
- Agua
- Horno
- Brocha pequeña

3.4.1.1.2. Procedimiento.

- Se comenzó el procedimiento secando la muestra a peso constante a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ con la muestra extraída de la cantera "ZM" teniendo cuidado de no contaminar la muestra con alguna clase de humedad, y finalmente se colocó al horno por 24 horas.
- Se seleccionó tamaños adecuados de tamices para dar la información solicitada por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. La utilización de tamices extras puede ser primordial para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la proporción de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de apertura decreciente a partir de la tapa hasta el fondo y poner la muestra sobre el tamiz preeminente. Agitar los tamices manualmente o mediante un artefacto mecánico por un lapso suficiente, predeterminado por tanda o verificado por la medida de la muestra ensayada.
- Se delimitó la proporción de material sobre el tamiz usado de tal forma que cada una de las partículas tengan la posibilidad de conseguir agrupar todo en datos estadísticos. Cada tamiz tiene la particularidad de colar a diferentes dimensiones por lo que al agregar la muestra ira quedando en cada tamiz.
- Se debe tener cuidado durante el procedimiento para evitar sobrecargar un tamiz individual, para ello se debe colocar un tamiz adicional con

abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado y de tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices. Se separó la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individual. Se realizó la combinación las masas de cada porción retenidas sobre un tamiz especificado antes de calcular el porcentaje de la muestra sobre el tamiz. Se utilizó tamices de mayor armazón que provean mayor área de tamizado.

- Se mantuvo firmemente el tamiz personal con su tapa y fondo bien ajustado en postura sutilmente inclinada en una mano. Se golpeó el filo contra el talón de la otra mano con un desplazamiento hacia arriba y a una rapidez de cerca de 150 veces por minutos, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes.
- En este ensayo se hizo el agitado manualmente lo cual se propone agitar a modo de círculo y después recto para que tal toda la muestra pueda distribuirse uniformemente por los tamices.
- Al consumir la época de agitado de tamices, procedemos a poner la serie de tamices en un espacio firme para después ir sacando la muestra retenida en cada tamiz.
- Al sacar el primer tamiz se procedió a apuntar el número de malla y pesar la muestra obtenida tarando el recipiente, es aconsejable con mover hasta las últimas partículas del tamiz ya que tienen la posibilidad de permanecer pegadas en los bordes del tamiz, para ello se usa un cepillo para retirar cada una de estas partículas, esto se da recurrente en las últimas mallas ya que poseen la apertura más pequeña en especial una vez que realizamos el agitado del añadido fino y en la malla N°200.
- Este ensayo de Estudio Granulométrico nos ayudó a obtener los módulos de fineza y los tamaños máximos nominales como para el añadido fino, el añadido grueso y añadido universal.

3.4.1.2. Contenido de Humedad del Agregado Fino y Grueso (NTP 339.185,2013).

3.4.1.2.1. Materiales y Equipos.

- Materiales y Equipos
- Horno
- Recipiente
- Balanza
- Espátula Procedimiento

3.4.1.2.2. Procedimiento.

- Primero se seleccionó el material para la cual se hace a cuartear la muestra.
- Después se zarandó la muestra de agregado fino y grueso por el tamiz N° 04, todo lo que se queda se selecciona para el ensayo.
- Se procedió a pesar el recipiente donde va a ser puesto el material
- También se pesó el material incluyendo el peso del recipiente.
- Luego de tener el peso parcialmente seco, se le incorporó al horno con una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, hasta su peso constante (Ps) y se establece el peso seco de la muestra.
- Se sacó del horno luego de 24 horas, y se procedió a pesar la muestra y obtener el contenido de humedad.

3.4.1.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022,2013).

3.4.1.3.1. Materiales y Equipos.

- Balanza
- Molde cónico
- Horno
- Barra compactadora
- Frasco

3.4.1.3.2. Procedimiento.

- El procedimiento comenzó cuarteando el agregado fino, quedándonos con 1 kg de muestra, luego del secado se pesó con una balanza analítica
- Para comprobar la humedad superficialmente seca con el cono calibrado, se procedió en colmar un diminuto cono de metal de arena hasta el desenlace del cono para de esta forma después compactarlo por medio de 25 golpes, después de concluir los 25 golpes se procedió a alzar el cono metálico, si se derrumba significa que la muestra ya está seca no obstante si el cono metálico al sacarlo no se derrumba desea mencionar que todavía está húmedo. El propósito del procedimiento del Cono es que la muestra pueda estar seca enteramente.
- Se procedió a pesar 500 g del agregado para luego echar en una probeta con agua
- Luego se vertió 50 g de agregado con agua luego de 24 h secamos en horno a 110°C
- Finalmente se enfrió a temperatura ambiente en un secador a lo largo de ½ hora a 1 ½ hora y se pesa.

3.4.1.4. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021,2013).

3.4.1.4.1. Materiales y Equipos.

- Balanza
- Tamices
- Horno
- Cesta de malla de alambre
- Depósito de agua

3.4.1.4.2. Procedimiento.

- Se obtuvo las muestras seleccionando la cantidad necesaria para realizar el ensayo, en este caso la cuarta parte de todo el material.
- Se procedió a tamizar el material al tamiz N°4 eliminando todo el material que pase por ese tamiz

- Se lavó la muestra seca limpiándolo de impurezas y colocándolo en el horno por 24 horas, para luego dejarlo seca por 3 horas.
- Luego se colocó la muestra en la canastilla metálica para pesar dicho agregado en la balanza hidrostática.

3.4.1.5. Peso Unitario suelto del Agregado Fino y Grueso (NTP 400.017,2013).

3.4.1.5.1. Materiales y Equipos.

- Balanza
- Barra compactadora
- Recipiente de medida
- Pala de mano
- Equipo de calibración

3.4.1.5.2. Procedimiento.

- Se tomó la muestra de ensayo que será entre 125% a 200% de la cantidad que se requiere, evitando en todo momento durante la manipulación, la dispersión de esta. Se procedió a secar el agregado en un horno a 110°C
- Se vertió el agregado hasta llenar la tercera parte del recipiente y se fue nivelando con la mano. Con la ayuda de la barra compactadora se compacta la capa de agregado, para ello se distribuyó equitativamente unos 25 golpes sobre la superficie. Luego se procedió a llenar las dos terceras partes del recipiente y se compacta con unos 25 golpes como antes.
- Luego se procedió a llenar todo el recipiente, golpeando 25 veces con la barra compactadora y el agregado sobrante se va retirando con la ayuda de la barra compactadora.
- Por último, se pesó el recipiente más el agregado compactado y el peso del recipiente solo para posteriormente registrar estas medidas.

3.4.1.6. Peso Unitario Compactado del Agregado Fino y Grueso (NTP 400.017,2013).

3.4.1.6.1. Materiales y Equipos.

- Balanza
- Barra compactadora
- Recipiente de medida
- Pala de mano
- Equipo de calibración

3.4.1.6.2. Procedimiento.

- Se llenó el recipiente en tres capas que sean lo más equitativo posible.
- Se fue compactando cada capa apoyándose el recipiente con el agregado sobre un piso estable.
- Se inclinó aproximadamente 5 cm del piso, para luego permitir que caiga con un golpe seco. Utilizando esta técnica las partículas del agregado se acomodan de modo compacto. Este procedimiento se repitió unas 50 veces, considerando 25 veces en cada lado, durante el procedimiento se fue retirando el sobrante con una regla.
- Finalmente se procedió a determinar el peso del recipiente más el agregado compactado.

3.4.2. Ensayos de laboratorio del Concreto fresco

3.4.2.1. Muestreo de Mezclas de Concreto Fresco (NTP 339.036, 2017).

3.4.2.1.1. Materiales y Equipos.

- Mezcladora de concreto de 9 pies cúbicos
- Balanza
- Palana
- Concreto fresco
- Cuchara de aluminio de 38 Onzas.
- Carretilla Buggie de 5.5 pies cúbicos

3.4.2.1.2. Procedimiento.

- Para el muestreo de la mezcladora de concreto, se realiza con dos o más partes a intervalos durante la descarga de lotes intermedios. Se tuvo cuidado de no tomar muestras desde el principio o el final de un lote de descarga. Se recopiló muestras para las pruebas dentro del tiempo permitido, es decir, entre la obtención de la porción inicial y final de una muestra compuesta, el tiempo deberá ser lo más breve posible y en ningún caso excederá de 15 minutos.
- Se tomaron muestras del concreto utilizado para verter después de todos los ajustes de la proporción de mezcla en el sitio, como agregar agua de mezcla o aditivos para mejorar la fluidez del concreto.
- Se muestreo varias veces pasando el contenedor a través de la corriente de escape redirigiendo al contenedor de muestra.

3.4.2.2. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto (NTP 339.033, 2015).

3.4.2.2.1. Materiales y Equipos.

- Moldes
- Moldes cilíndricos
- Moldes de plástico de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.
- Barra de acero liso y circular, de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud, con extremo redondeado.
- Cucharón metálico.
- Martillo con cabeza de goma con un peso aproximado de 600 gramos.
- Plancha de Superficie horizontal, plana y rígida.
- Tina de 50 cm de altura, 50 cm de ancho y un 100 cm de largo.
- 1 kg de Cal.

- Curadores Químicos (Membranil reforzado, Sikacem Curador, Z membrana blanco)

- 03 envases de plástico de 1 litro con atomizadores.

3.4.2.2.2. Procedimiento.

- Se eligió un área de trabajo adecuada para crear una muestra con una superficie nivelada, plana y rígida, la cual estaba protegida contra la vibración, el viento y la sombra.
- Se aseguró que el molde esté en buenas condiciones, debe estar vertical (90°) el molde en relación con la placa base y que la superficie interna del molde esté recubierta con un agente desmoldante ligero antes de comenzar a verter el molde.
- Se vertió uniformemente la muestra de hormigón en un recipiente de plástico (molde) con un cucharón y se divide uniformemente en 3 capas, cada capa de 10 cm de altura.
- Se dejó que la primera capa penetre por completo, insertándola 25 veces desde la barra lisa hasta el extremo redondeado, distribuyendo uniformemente en la mezcla y comprimiéndola. Después de eso, se golpeó suavemente el molde unas 10 veces con un mazo de goma para eliminar las burbujas de aire.
- Se colocó una segunda capa de la mezcla en el molde y se usó un cucharón para esparcir la mezcla uniformemente y se insertaron y comprimieron 25 varillas lisas. Esta vez se insertó una varilla lisa de 1 pulgada en la primera capa. Finalmente, se golpea el molde unas 10 veces con un martillo para eliminar las burbujas de aire.
- Se vertió la última capa de mezcla en el molde en cantidad suficiente para llenar ligeramente el molde. También comprimimos esta tercera capa con 25 insertos en una varilla lisa de 1 pulgada en la segunda capa. Se golpeó alrededor del molde 10 veces con un martillo para eliminar el aire, luego se alisó el exceso de mezcla con un compactador de malla fina para crear una superficie lisa y plana.
- Se procedió a etiquetar el exterior del molde para su identificación. Una vez completo el procesamiento, se transportó los tubos de ensayo al lugar de almacenamiento.
- Finalmente se retiró las muestras de los moldes 24 horas después de la preparación. Todos los datos de las etiquetas de papel se inscribieron en

el tubo con un marcador permanente, teniendo cuidado de no marcar la superficie del tubo.

Curado por inmersión

- Una vez desmoldadas las probetas, se procedió a curar, colocándolas en el interior de la tina con agua potable alcalinizada con Cal (3 gr/lts de agua), se debe tapar las probetas con esta mezcla durante el tiempo asignado hasta su fecha de rotura.

Curado Químico

- Después de retirar el tubo de ensayo del molde, se roció el agente de curado especificado en toda la superficie del tubo de ensayo con un recipiente de plástico y se guardó en un ambiente de 20 °C a 26 °C, evitando la luz solar directa.

3.4.2.3. Peso Unitario del Concreto (NTP 339.046, 2013)

3.4.2.3.1. *Materiales y Equipos.*

- Balanza
- Recipiente (Olla de Washington)
- Regla metálica
- Mazo de goma
- Varilla de acero
- Pala de mano

3.4.2.3.2 *Procedimiento.*

- Se realizó el mezclado del concreto según las especificaciones técnicas del fabricante, este se realiza siguiendo los tiempos de mezclado, con la finalidad de que el mezclado sea homogéneo.
- Se vertió la mezcla en una superficie libre de impurezas en este caso una carretilla.

- Se pesa el recipiente (olla de Washington) para luego calcular su volumen de acuerdo a sus dimensiones.

3.4.2.4. Temperatura (NTP 339.184, 2013).

3.4.2.4.1 Materiales y Equipos.

- Recipiente
- Termómetro digital de 0°C a 50 ° C, precisión de ± 0.5 °C

3.4.2.4.2. Procedimiento.

- El concreto se mezcló de acuerdo con las especificaciones del fabricante según el tiempo de mezclado para lograr un mezclado uniforme.
- La mezcla fue vertida sobre una superficie limpia (en este caso una carretilla).
- El termómetro digital se debe colocar en la muestra y se deja reposar de 2 a 3 minutos para asegurarse de que la lectura de temperatura del termómetro permanezca igual.

3.4.2.5. Ensayo a la Resistencia a la Compresión: (NTP 339.034, 2008)

3.4.2.5.1 Materiales y Equipos.

- Probetas cilíndricas de 6" x 12
- Máquina de ensayos

3.4.2.5.2. Procedimiento.

Después de que la muestra haya sido retirada del tanque de curado y transportada por el método anterior, se realizó una prueba de resistencia a la compresión después de que haya transcurrido el tiempo especificado.

Se limpia las superficies de los bloques superior e inferior del compresor con un paño y coloque la muestra en la unidad. Esta unidad se colocó en el soporte del compresor con el bloque de carga inferior colocado directamente debajo del bloque superior.

Se aplicó cargas hasta que falle y se registró la carga máxima que la muestra puede soportar durante la prueba. Al momento del registro se tomó en cuenta el tipo de daño y la apariencia del hormigón.

3.4.2.6. Ensayo de retracción (ASTM C 157)

3.4.2.6.1 Materiales y Equipos.

- Mezclador para concreto de laboratorio
- Moldes para las probetas.
- Comparador de conformidad
- Tanque de curado
- Compactador de longitud

3.4.2.6.2. Procedimiento.

- Tomar muestras de acuerdo con las disposiciones aplicables en la NTP 339.036
- El prisma usado para la prueba de concreto, cumplirá que todo el agregado pase el tamiz de 1 pulg. [25,0 mm]; entonces tendrán una sección transversal cuadrada de 3 pulg. [75 mm] y aproximadamente 11¼ pulg. [285 mm] de largo. Debido a que el cambio de longitud podría estar influenciado por el tamaño de muestra se realizarán tres especímenes por cada tratamiento.
- Mezcle el concreto en una mezcladora de laboratorio adecuada de acuerdo con las disposiciones aplicables en la norma ASTM C 192. Determine el asentamiento del concreto usando el Método de prueba C 143 y use suficiente agua de mezcla para producir un asentamiento de $3.5 \pm 1/2$ pulg. [90 ± 15 mm].
- Coloque el concreto en el molde en dos capas aproximadamente iguales, afirmar cada capa con varillas, excepto use vibración externa si el asentamiento es menor a 3 pulgadas [75]. mm]; la capa superior se debe sobrellenar ligeramente el molde. Una vez completada la consolidación, elimine el exceso de material con una regla. Inmediatamente después de completar el moldeado.
- Retire las muestras de los moldes a la edad de $23 \frac{1}{2} \pm 1/2$ h.

- La lectura inicial del comparador debe realizarse dentro de los 6 1/2 h de la misma edad. Con el dispositivo de desmoldeo, retire las muestras sin golpearlas ni sacudirlas y con especial cuidado de no ejercer presión directamente contra los pernos de medición. El soporte del espárrago del calibre debe permanecer unido al espárrago durante esta operación. Limite las marcas colocadas en los especímenes para identificación o posicionamiento a las hechas con grafito aplicado ya sea con un lápiz suave o como un líquido que deposita esencialmente grafito sin aglutinante, o aquellas hechas con tinta indeleble impermeable.
- Después de retirar los especímenes de los moldes, colóquelos en agua saturada con cal mantenida a $23 \pm 0,5$ °C, durante un mínimo 30 minutos antes de medir la longitud para minimizar la variación de longitud debido a la variación de temperatura. A la edad de $24 \pm 1/2$ h después de agregar agua al cemento durante la operación de mezcla, retire las muestras del almacenamiento de agua una a la vez, limpie con un paño húmedo e inmediatamente tome la lectura inicial del comparador.
- Después de la lectura inicial del comparador, almacene las muestras en agua saturada con cal a 23 ± 2 °C hasta que alcancen una edad de 28 días, incluido el período en los moldes. el período de curado, haga una segunda lectura del comparador después de que los especímenes hayan sido llevados a una temperatura más controlada como se hizo antes de la lectura anterior y de la misma manera descrita anteriormente.
- Lectura del comparador—Lea el dial del comparador con la muestra de prueba en el comparador; luego lea el dial del comparador con la barra de referencia en el comparador. Calcule la diferencia entre las dos lecturas.
- Calcule el cambio de longitud de cualquier espécimen a cualquier edad después de la lectura inicial del comparador de la siguiente manera:

$$\% \text{Retracción} = \frac{l_i - l_f}{l_i} \times 100$$

Donde:

l_f = Longitud Final (mm)

l_i = Longitud Inicial (mm)

3.4.3. Diseño factorial de 3^2

Los tipos más simples de diseños factoriales incluyen únicamente dos factores o conjuntos de tratamientos. Hay a niveles del factor A y b niveles del factor B, los cuales se disponen en un diseño factorial; es decir, cada réplica del experimento contiene todas las ab combinaciones de los tratamientos. En general, hay n réplicas.

En nuestro Caso tenemos: 2 factores A y B, donde son 3 niveles para A, es decir $a = 3$ y 3 niveles para B, es decir $b = 3$, y en general $n = 3$ réplicas.

3.4.3.1. Nivel de significancia - ANOVA

Relativamente es común y aceptable fijarlo en un 5% ($\alpha = 0.05$) es decir pruebas con un 95% de confianza, pero también es posible usar otro nivel, lo cual dependerá de las características del estudio y su finalidad; Esto representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

Se evaluó el valor de P de la prueba de ANOVA, si este valor de P es menor que el nivel de significancia α : ($P < \alpha$) entonces se concluirá que es significativo y por lo tanto el resultado no es aleatorio (posible), así rechazando la hipótesis nula.

3.4.3.2. Criterio de rechazo

Según Montgomery (2006), la hipótesis alterna H_1 se acepta si:

$$F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$$

F_0 : se obtiene experimentalmente.

F_{α, v_1, v_2} : se obtiene mediante tablas estadísticas.

Donde:

α = Nivel de confiabilidad o significancia (generalmente al 0.01 o 0.05).

v_1 = Grados de libertad de los efectos e interacciones, generalmente iguales a 2 en los diseños factoriales de 3 niveles.

v_2 = Grados de libertad de la suma de cuadrados del error, lo cual está calculado como la diferencia de los grados de libertad de la suma total de cuadrados menos la suma de los efectos o tratamientos.

3.4.3.3. Intervalos de confianza

Según Montgomery (2006), los intervalos de confianza se calculan con la siguiente formula:

$$\mu = X \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

n = Número de niveles.

σ = Desviación estándar.

X = Promedio

t = T- student.

3.4.3.4. Análisis de varianza

Según Montgomery (2006), los análisis de varianza se calculan con las siguientes formulas:

- Suma de cuadrados de los efectos principales.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{br} - \frac{Y^2}{abr}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{ar} - \frac{Y^2}{abr}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los efectos principales

$$SS_{Subtotales} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij}^2}{r} - \frac{Y^2}{N}$$

$$SS_{AB} = SS_{ST} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2}{abr}$$

- Suma de cuadrados de error

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados medios

$$CM_A = \frac{SS_A}{k-1}$$

$$CM_B = \frac{SS_B}{k-1}$$

- Suma de cuadrados medios del error

$$CM_E = \frac{SS_E}{N-k}$$

Dónde:

$N = a \times b \times r$ = Número total de muestras.

k = Número de niveles del factor de tratamientos.

a = Número de niveles del factor A.

b = Número de niveles del factor B.

r = Número de réplicas.

Y = Media general de todas las observaciones.

Y_i = Media del $i^{\text{ésimo}}$ nivel del factor A.

Y_j = Media del $j^{\text{ésimo}}$ nivel del factor B.

Y_{ij} = Media del $i^{\text{ésimo}}$ nivel del factor A y el $j^{\text{ésimo}}$ nivel del factor B.

3.4.3.5. Media aritmética

La definimos como el valor característico de la serie de datos resultado de la suma de todas las observaciones dividido por el número total de datos.

Se suma todos los resultados de cada ensayo por dosificación, así como lo indica la formula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n}$$

Donde:

\bar{X} = Media Aritmética.

Σ = Sumatoria.

x_i = Observación de la muestra.

n = Tamaño de la muestra.

3.4.3.6. Varianza

La varianza en estadística es la raíz cuadrada de la desviación estándar, siendo una media de las frecuencias con la media elevadas al cuadrado.

Para determinar la varianza de cada ensayo, se reemplaza los datos hallados de cada dosificación en la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Donde:

σ^2 = Varianza

Σ = Sumatoria.

x_i = Observación de la muestra.

\bar{X} = Media Aritmética.

n = Tamaño de la muestra.

3.4.3.7. Desviación estándar

La desviación estándar es la medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.

El dato de la varianza de cada ensayo se reemplaza en la formula siguiente para determinar la desviación estándar:

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Dónde:

σ^2 = Varianza

3.4.3.8. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación permite comparar la dispersión entre dos poblaciones distintas e incluso, comparar la variación producto de dos variables diferentes (que pueden provenir de una misma población).

El coeficiente de variación elimina la dimensionalidad de las variables y tiene en cuenta la proporción existente entre una medida de tendencia y la desviación típica o estándar.

$$CV = \frac{DS}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

DS = Desviación estándar

\bar{x} = Media Aritmética

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Para desarrollar el análisis de datos, las variables de investigación y los datos de salida se sintetizarán mediante regresión y correlación de variables y se procesarán utilizando el software IBM SPSS Statistics 25.

Para comparar medias de grupos, variables proporcionales continuas y distribuidas normalmente, se optó por una prueba conocida como análisis de varianza o ANOVA path.

Las conclusiones se sacarán al final. Los datos recopilados se encuentran en diferentes tablas (tablas de doble entrada, histogramas, histogramas) que explican el comportamiento de las variables en estudio.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de las Propiedades Físicas del Agregado Fino.

4.1.1. Análisis granulométrico de la Arena Fina - NPT:400.12

Tabla 10

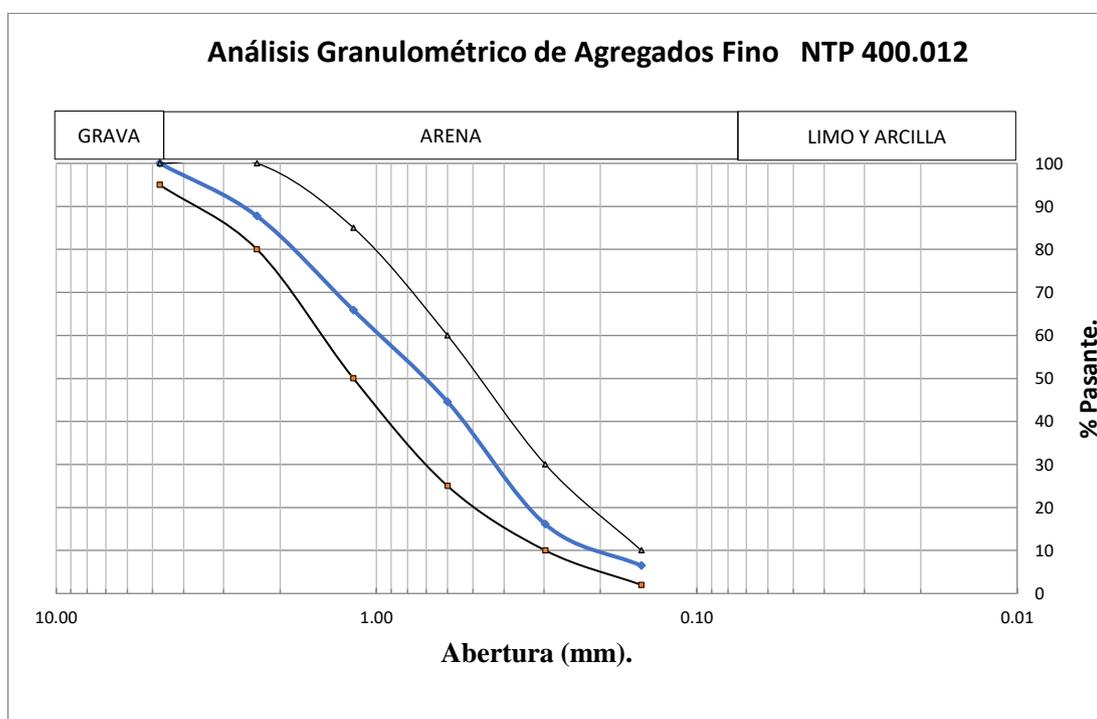
Análisis Granulométrico del agregado fino

Tami z N°	Æ (mm)	Límites		Peso Retenido (g.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
		Granulométricos Mínimo	Máximo				
4	4.75	95	100	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.36	80	100	85.3	12.3	12.3	87.7
16	1.18	50	85	152.3	21.9	34.2	65.8
30	0.60	25	60	148.0	21.3	55.4	44.6
50	0.30	10	30	198.2	28.5	83.9	16.1
100	0.15	2	10	66.9	9.6	93.5	6.5
-100	Bandeja			45.0	6.5	100.0	0.0
Total:				695.7			

Nota. La tabla muestra el % de pasante acumulado del agregado pasado por las mallas 4,8,16,30,50,100 y la malla ciega. Fuente: Elaboración propia.

Grafica 5

Granulometría del agregado fino



Nota. La grafica del agregado fino se muestra dentro de los límites granulométricos de la norma NPT:400.12 y clasificado como arena. Fuente: Elaboración propia.

D ₆₀ :	1.05	% de Grava :	
D ₃₀ :	0.48	% de Arena :	100
D ₁₀ :	0.2	% de Finos :	1.8
Cc (Coeficiente de curvatura) :	1.1		
Cu (Coeficiente de uniformidad) :	5.3		
Módulo de Finura:	2.79		

La tabla N° 10 muestra el desarrollo de un análisis granulométrico usando los tamices N° 4,8,16,50,100; los resultados son expresados en la gráfica N°05 que muestra la abertura de los tamices (mm) vs el porcentaje pasante acumulado de la muestra del agregado fino, dando como resultado valores dentro de los usos granulométricos de la NTP 400.0.12 y al usar esta grafica se obtiene el valor de 2.79 para el módulo de finura; el cual es ideal para el agregado fino, debido a que se encuentra en el rango de 2.5 a 3.

4.1.2. Contenido de Humedad del Agregado Fino (NTP 339.185,2013)

Tabla 11

Contenido de Humedad del agregado fino

Contenido de Humedad	Agregado Fino
Peso tazón (gr)	295.4
Peso tazón + material húmedo (gr)	831.5
Peso tazón + material seco (gr)	824.5
Peso material húmedo (gr)	536.1
Peso material seco (gr)	529.1
Contenido de humedad (gr)	7.0
Contenido de Humedad (%)	1.32%

Nota. Detalle de la ficha de laboratorio, para el ensayo de humedad. Fuente: Propia

La tabla N°, muestra el porcentaje total de humedad evaporable en la muestra de agregado fino por secado igual a 1.32%. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que

no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método.

4.1.3. Peso Unitario Suelto del Agregado Fino- NTP: 400.017,2016

Tabla 12

Peso unitario suelto del agregado fino.

Agregado Fino	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + material (kg)	12.254	12.163	12.150	
Peso recipiente (kg)	0.870	0.870	0.870	
Peso neto muestra (kg)	11.384	11.293	11.280	
Volumen recipiente (m ³)	0.007	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1626.29	1613.29	1611.43	1617.00

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario suelto por triplicado del agregado fino. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra como media aritmética del ensayo de peso unitario suelto de agregado fino el valor de 1617.00 kg/m³, donde para determina la densidad de masa suelta por este método no se consideró la condición e secar la muestra en la estufa

4.1.4. Peso Unitario Compactado del Agregado Fino - NTP: 400.017,2016

Tabla 13

Peso unitario compactado del agregado fino

Arena	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + material (kg)	14.810	14.885	14.831	
Peso recipiente (kg)	0.930	0.930	0.930	
Peso neto muestra (kg)	13.880	13.901	13.955	
Volumen recipiente (m ³)	0.007	0.007	0.007	
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1,983	1,986	1,994	1987.4

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario compactado por triplicado del agregado fino. Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla se muestra la media aritmética del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino realizado por triplicado, resultando el valor de 1987.4 kg/m, donde para determinar la densidad de masa compactada por este método no se consideró la condición de secar la muestra en el horno.

4.1.5. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022,2013).

Tabla 14

Peso específico y absorción de la arena gruesa

Agregado Fino		E1	E2
Peso de Muestra (SSD)	[g]	501.5	503.2
Peso frasco con agua	[g]	687.2	693.4
Peso frasco con agua + (A)	[g]	1188.7	1196.6
Peso del frasco con muestra aforado con agua	[g]	981.9	993.4
Vol de masa + vol de vacío = [C-D]	[cm ³]	206.8	203.2
Peso de material seco al horno	[g]	491.0	492.0
Resultados		R1	R2
Peso Especifico	[g/cm ³]	2.37	2.42
Promedio	[g/cm ³]	2.40	
% De Absorción		2.14	2.28
Promedio		2.21	

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso específico y % de Adsorción por duplicado del agregado fino. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra el ensayo por duplicado por peso específico obtenido del agregado fino, siendo el valor promedio obtenido de 2.40 y los valores de % de absorción es de 2.21, el cual se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca.

4.2. Propiedades físicas del agregado grueso.

4.2.1. Granulometría del agregado grueso - NPT:400.12

Tabla 15

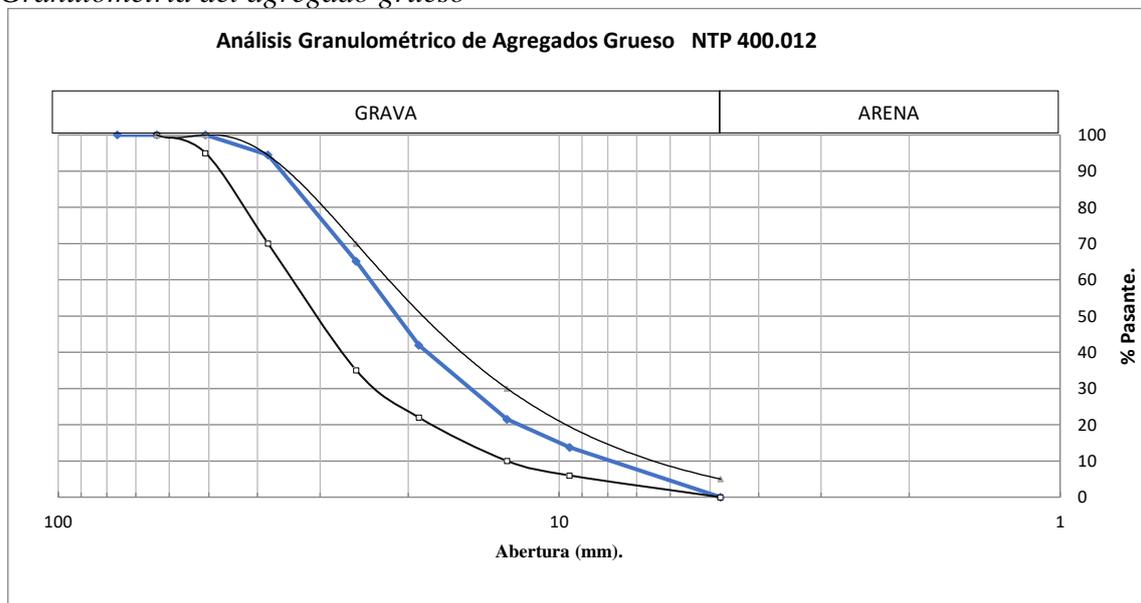
Granulometría del agregado grueso

Tamiz N°	Æ (mm)	Límites Granulométricos NTP 400.012		Peso Retenido (g.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado
		Mínimo	Máximo				
		3"	76.2				
2 1/2"	63.5	100	100	0.0	0.0	0.0	100
2"	50.8	95	100	0.0	0.0	0.0	100
1 1/2"	38.1			220.0	5.5	5.5	94.5
1"	25.4	35	70	1172.7	29.4	34.9	65.1
3/4"	19.05			925.4	23.2	58.1	41.9
1/2"	12.7	10	30	816.7	20.5	78.5	21.5
3/8"	9.525			308.6	7.7	86.2	13.8
N° 4	4.76	0	5	549.8	13.8	100	0.0
				3993.2			

Nota. La tabla muestra el % de pasante acumulado del agregado pasado por las mallas de 3" hasta la N°4. Fuente: Elaboración propia.

Grafica 6

Granulometría del agregado grueso



Nota. La grafica del agregado grueso se muestra dentro de los límites granulométricos de la norma NPT:400.12 y clasificado como grava. Fuente: Elaboración propia.

D ₆₀ : 22	C.c. (Coeficiente de Curvatura) : 1.0	% Grava: 100
D ₃₀ : 13	C.u. (Coeficiente de Uniformidad) : 2.8	TM: 2"
D ₁₀ : 8		TMN: 1 1/2"

La tabla N° 11 muestra el desarrollo de un análisis granulométrico donde los resultados expresan una curva granulométrica dentro de los usos granulométricos de la NTP 400.12; obteniendo el valor de 3.0 para el coeficiente de uniformidad; inferior a 4 por lo que, se considera mal gradado.

4.2.2. Contenido de Humedad del Agregado Grueso (NTP 339.185)

Tabla 16

Contenido de Humedad del agregado grueso

Contenido de Humedad	Agregado Grueso
Peso tazón (gr)	415.0
Peso tazón + material húmedo (gr)	5521.0
Peso tazón + material seco (gr)	5495.0
Peso material húmedo (gr)	5106.0
Peso material seco (gr)	5080.0
Contenido de humedad (gr)	26.0
Contenido de Humedad (%)	0.51%

Nota. Ficha de laboratorio para el ensayo de humedad de la grava. Fuente: Elaboración Propia

La tabla N°, muestra el porcentaje total de humedad evaporable en la muestra de agregado grueso por secado igual a 0.51%. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método.

4.2.3. Peso Unitario suelto del Agregado Grueso (NTP 400.017).

Tabla 17

Peso unitario suelto del agregado fino

Agregado Fino	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + material (kg)	14.538	14.552	14.512	
Peso recipiente (kg)	3.438	3.438	3.438	
Peso neto muestra (kg)	11.100	11.114	11.074	
Volumen recipiente (m3)	0.007	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	1585.71	1587.71	1582.00	1585.14

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario suelto por triplicado del agregado grueso. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.4. Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso (NTP 400.017).

Tabla 18

Peso unitario compactado del agregado grueso

Arena	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + material (kg)	15.251	15.358	15.289	
Peso recipiente (kg)	3.438	3.438	3.438	
Peso neto muestra (kg)	11.813	11.851	11.920	
Volumen recipiente (m ³)	0.007	0.007	0.007	
Peso Unitario Compactado (Kg/m³)	1,688	1,693	1,703	1694.5

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso unitario compactado por triplicado del agregado grueso. Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022,2013).

Tabla 19

Peso específico y absorción de la grava

Agregado Grueso		E1	E2
Peso de Muestra (SSD)	[g]	5515.5	5512.0
Peso frasco con agua	[g]	1955.0	1931.0
Peso frasco con agua + (A)	[g]	7470.5	7443
Peso del frasco con muestra aforado con agua	[g]	5431.3	5412.1
Vol de masa + vol de vacío = [C-D]	[cm ³]	2039.2	2030.9
Peso de material seco al horno	[g]	5440.3	5455.5
Resultados		R1	R2
Peso Especifico	[g/cm ³]	2.67	2.68
Promedio	[g/cm ³]	2.68	
% De Absorción		1.20	1.22
Promedio		1.21	

Nota. Ficha de laboratorio para ensayo de peso específico y % de Adsorción por duplicado del agregado grueso. Fuente: Elaboración Propia.

La tabla muestra el ensayo por duplicado por peso específico obtenido de la grava, siendo el valor promedio obtenido de 2.68 y los valores de % de absorción es de 1.21, el cual se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca.

4.3. Ensayo del concreto fresco.

Tabla 20

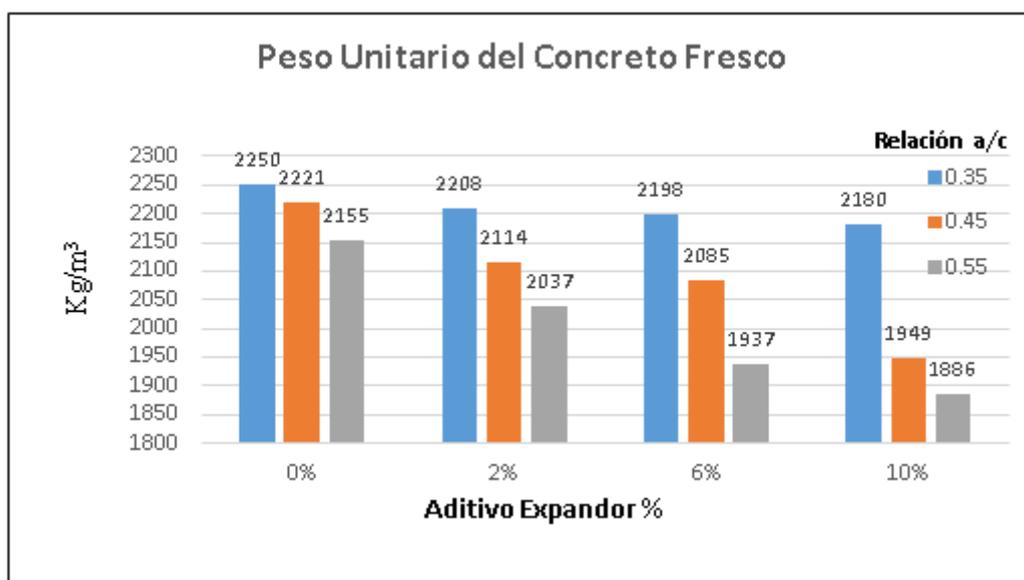
Peso unitario del concreto Fresco.

Aditivo Expansor (%)	Relación a/c		
	0.35	0.45	0.55
0%	2250	2221	2155
2%	2208	2114	2037
6%	2198	2085	1937
10%	2180	1949	1886

Nota. Se realizaron los ensayos del P.U. (Kg/m^3) del concreto en estado fresco en función de ambas variables. Fuente: Elaboración Propia.

Grafica 7

Peso unitario del concreto fresco.



Nota. Se realizaron los ensayos del P.U. (Kg/m^3) se observa que al aumentar el volumen disminuye la masa. Fuente: Elaboración Propia.

4.4. Ensayo de retracción del concreto.

Tabla 21

Porcentaje de retracción del concreto, sin uso de aditivo expansor.

<i>Relación a/c</i>	<i>% de Retracción del concreto</i>			
	<i>1°</i>	<i>2°</i>	<i>3°</i>	<i>Promedio</i>
0.35	0.071	0.065	0.053	0.063
0.45	0.078	0.085	0.070	0.078
0.55	0.091	0.094	0.112	0.099

Nota. Se realizaron por triplicado los ensayos de % de retracción, sin aditivo expansor, para usarlos de patrón de comparación. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22

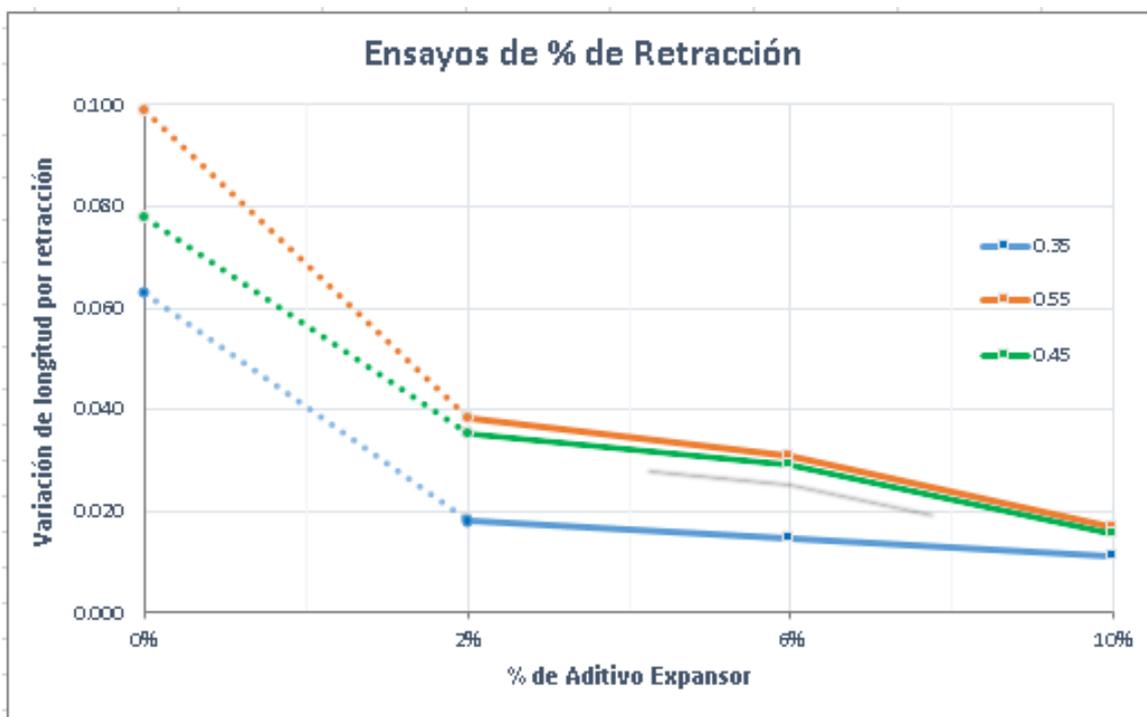
Resultados de los Ensayos de Retracción (Variación de Longitud)

<i>Relación a/c</i>	<i>% de Aditivo Expansor</i>							
	<i>2%</i>		<i>6%</i>		<i>10%</i>			
0.35	0.018	0.015	0.014	0.012	0.012	0.011		
		0.018			0.015		0.011	
	0.021		0.018		0.010			
0.45	0.037	0.040	0.032	0.025	0.013	0.020		
		0.035			0.029		0.015	
	0.029		0.03		0.013			
0.55	0.035	0.039	0.034	0.037	0.016	0.017		
		0.038			0.031		0.017	
	0.041		0.022		0.018			

Nota. Se realizaron por triplicado los ensayos de % de retracción, variando el % de aditivo expansor y la relación a/c, para usarlos de patrón de comparación. Fuente: Elaboración Propia.

Grafica 8

Influencia del aditivo expansor sobre el porcentaje de retracción en el concreto, en tres niveles de relación a/c.



Nota. La Figura muestra en el eje de las ordenadas los valores de comparación y proyecta la influencia del aditivo expansor sobre la retracción del concreto, en tres niveles de relación a/c.

4.5. Ensayo de compresión axial del concreto.

Tabla 23

Resistencia a la compresión axial del concreto, sin uso de aditivo expansor.

Relación a/c	Resistencia a la Compresión Axial (Kg/cm ²)			
	1°	2°	3°	Promedio
0.35	231.2	227.4	220.4	226.3
0.45	220.9	216.4	217.1	218.1
0.55	205.3	215.1	213.2	211.2

Nota. Se realizaron por triplicado los ensayos de resistencia a la compresión axial del concreto, sin aditivo expansor, para usarlos de patrón de comparación. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24

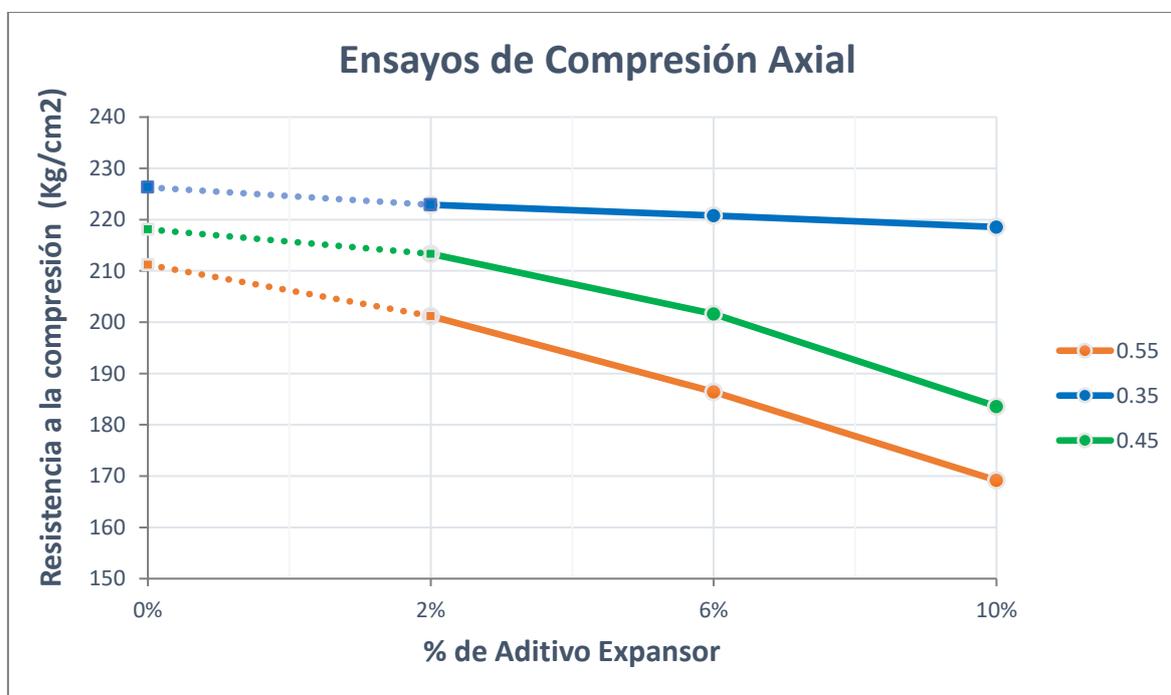
Resultados de los Ensayos de la Resistencia a la Compresión axial.

Relación a/c	% de Aditivo Expansor								
	2%			6%			10%		
0.35	224.1	223.2	222.9	221.7	222.6	220.8	218.9	214.4	218.6
	221.4			218.1			222.4		
0.45	215.4	212.9	213.3	197.5	205.9	201.6	177.2	184.2	183.6
	211.7			201.4			189.4		
0.55	198.4	201.5	201.2	185.6	190.8	186.4	170.4	173.6	169.2
	203.7			182.9			163.5		

Nota. Se realizaron por triplicado los ensayos de resistencia a la compresión, variando el % de aditivo expansor y la relación a/c, para usarlos de patrón de comparación. Fuente: Elaboración Propia.

Grafica 9

Influencia del aditivo expansor sobre resistencia a la compresión axial, en tres niveles de relación a/c.



Nota. La Figura muestra en el eje de las ordenadas los valores de comparación y proyecta la influencia del aditivo expansor sobre la resistencia a la compresión del concreto, en tres niveles de relación a/c.

4.6. Análisis de Varianza de los resultados.

Tabla 25

Anova de los resultados del ensayo de retracción de longitud.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
A = Relación a/c	1.05E-03	2	5.27E-04	29.21	2.23E-06	3.55
B = % Aditivo Expansor	1.20E-03	2	6.01E-04	33.33	8.88E-07	3.55
Interacción AB	2.03E-04	4	5.08E-05	2.81	5.64E-02	2.93
Error	3.25E-04	18	1.80E-05			
Total	2.78E-03	26				

Nota. La tabla muestra el análisis estadístico del valor calculado F y el F_{tabular} , para evaluar el criterio de rechazo o aceptación del origen de las variaciones. Fuente: Excel 2016

Tabla 26

Anova de los resultados del ensayo de resistencia de compresión axial.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
A = Relación a/c	5642.28	2	2821.14	192.04	7.22E-13	3.55
B = % Aditivo Expansor	2197.81	2	1098.90	74.80	1.90E-09	3.55
Interacción AB	718.44	4	179.61	12.23	5.60E-05	2.93
Error	264.43	18	14.69			
Total	8822.95	26				

Nota. La tabla muestra el análisis estadístico del valor calculado F y el F_{tabular} , para evaluar el criterio de rechazo o aceptación del origen de las variaciones. Fuente: Excel 2016

4.1. Análisis e interpretación de resultados.

De los resultados obtenidos de las características físicas del agregado fino (arena gruesa) procedentes de la cantera denominada “ZM”, Distrito de Huanchaco-Trujillo; su clasificación de tamaños cumplió con los husos granulométricos de la norma NTP 400.012, que al usar la proyección grafica nos arroja un módulo de finura con el valor aproximado a 2.79, un porcentaje de humedad de 1.32% ideal según NTP 339.185, el Peso Unitario Suelto de 1617 Kg/m³, el Peso Unitario Compactado de 1987.4 Kg/m³, un porcentaje de Adsorción promedio de 2.21% y un peso específico de 2.40 g/cm³; con lo que se deduce que la arena gruesa es un buen material para la elaboración de concreto de calzaduras.

En el caso del agregado grueso se obtuvo un análisis granulométrico que cumplía la norma NTP 400.012 dentro del rango de grava, un tamaño máximo 2” es decir todo el agregado pasa este tamiz [50 mm] como indica la norma ASTM C57 para la preparación de especímenes de prueba, Tamaño máximo nominal de 1 ½”, contenido de humedad de 0.51% adecuada según NTP 339.185, el Peso Unitario Suelto de 1585.14 Kg/m³, el Peso Unitario Compactado de 1694.5 Kg/m³, un porcentaje de Adsorción promedio de 2.84% y un peso específico de 2.37 g/cm³; Aunque su coeficiente de uniformidad fue bajo, cumplió con los parámetros necesarios para considerarlo un buen material para la elaboración del concreto.

De los resultados de los ensayos de retracción del concreto para calzaduras mostrados en la Grafica 8; lo cual hace evidente la influencia causada por el aditivo expansor teniendo una reducción del 81.89% en promedio para una dosis del 10% de aditivo expansor en todas las variaciones de relación a/c, sin embargo, en la relación más baja de 0.35 no se nota un efecto significativo de elevar la dosis de 2% al 10%.

Se consiguió el menor porcentaje de retracción con el valor de 0.011; en el nivel superior de aditivo expansor (10%) y con el nivel inferior de la relación a/c (0.35), muy por debajo de los conseguidos por la investigación de Alanya Veli J. (2017) que fueron de realizados a un espécimen de mortero de cemento 1:3, al mismo nivel de expansor, pero a una relación a/c que estuvo en función a la trabajabilidad buscando alcanzar una fluidez del 110 ± 5 %. Sin embargo, los valores fueron muy cercanos a relación de a/c similares.

Estadísticamente los resultados obtenidos de la tabla 21 y analizados en la tabla 24, nos muestra que, aunque las dos variables evaluadas: el % de aditivo expansor y la relación a/c influyen en la retracción del concreto, la interacción de ambas variables no existe y por lo tanto no afectan la retracción del concreto.

De los resultados de los ensayos de resistencia a compresión axial del concreto mostrados en la Grafica 9; donde es notoria la influencia causada por el aditivo expansor reduciendo la resistencia a la compresión y, además el efecto se aminora o compensa a menor relación a/c. en el nivel de relación a/c de 0.35 la reducción de resistencia es poco manifiesta, pero si es relevante a una relación de a/c de 0.55, pudiendo llegar a niveles de reducción de la resistencia de diseño del 20%. Aun así, estos resultados presentan menor impacto que la reducción alcanzada en la investigación de Alanya Veli J. (2017) que fue del 32% aproximadamente en la cual sabemos que la relación a/c utilizada fue mayor; Entonces el nivel medio de aditivo expansor y relación a/c (6% en Peso y 0.45 respectivamente) nos permiten aumentar el volumen de la masa, disminuyendo la retracción del concreto, obteniendo una resistencia a la compresión satisfactoria, que fueron valores de 0.029 % de retracción y 201.6 Kg/cm² para la resistencia a la compresión.

Estadísticamente los resultados obtenidos de la tabla 23 y analizados en la tabla 25, nos muestra que las dos variables evaluadas: el % de aditivo expansor y la relación a/c influyen en la resistencia a la compresión axial del concreto, al igual que la interacción de ambas variables.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En los resultados para la caracterización de los agregados (arena gruesa y gravilla) nos muestran valores que cumplen con los husos granulométricos, el TM y TMN son ideales para la elaboración de concreto para calzaduras. La absorción y humedad se encuentran dentro del rango de valores que no representa una dificultad para la elaboración de concreto, así también, el peso específico y peso unitario muy similares a diseños de mezclas propuestos por las investigaciones de los antecedentes consultados.

El peso unitario en estado fresco del concreto disminuye su valor por efecto del aditivo expansor, al aumentar el volumen la masa podría perder resistencia y esto puede ser perjudicial si los valores de resistencia de diseño no se alcanzan, entonces al trabajar a relaciones de a/c bajas puede ayudar a equilibrar esta consecuencia, sin embargo, en nuestros resultados observamos que en el nivel alto de aditivo expansor (10 % en peso), el nivel medio y alto de relación agua/cemento (0.45 y 0.55) presenta una pérdida del 12% el valor del peso unitario aproximadamente, pero en el nivel de 0.35, esa variación es del 3.1%; es decir que a tan bajas relación a/c, el aditivo expansor carece de efecto significativo. Por otro lado, en el nivel medio de aditivo expansor (6 % en peso), si hay un aumento en volumen significativo, al pasar de la relación a/c de 0.45 a 0.55, pasamos a una reducción del peso unitario de 6.1% al 10.1%.

En la búsqueda de una dosificación óptima de aditivo expansor, se observó que a relaciones de agua/cemento bajas (0.35), se pudo contrarrestar tanto la contracción por secado del concreto, así como también la pérdida de resistencia a la compresión por el uso del aditivo expansor en la mezcla de diseño; la contracción de volumen debido a la contracción de la fragua se debe mayormente a el agua adicionada en exceso para brindar una mayor trabajabilidad en la mezcla, entonces durante el endurecimiento y secado del concreto a relaciones a/c bajas, la pérdida de humedad se hace mínima. Es decir, que la hipótesis planteada de una expansión del volumen inicial por acción del aditivo expansor, seguida de la disminución en la resistencia a la compresión, no se hacen evidentes en este rango. En los rangos medio y alto utilizados en la fase experimental, el efecto del aditivo expansor sobre

los resultados, si respaldan las tendencias planteadas en la hipótesis, cuando interactuaran con la adición del aditivo expansor en los niveles medio y alto.

Los resultados muestran que a mayor aumento de volumen del concreto por el uso de aditivo expansor, la influencia es perjudicial en la resistencia a la compresión, es allí donde la interacción con la disminución de la relación agua/cemento es favorable para aminorar la pérdida de resistencia.

CONCLUSIONES

1. Se realizaron las pruebas de laboratorio para determinar las propiedades físicas de los agregados, obteniendo como resultados del agregado fino (arena gruesa), un 2.79 para el módulo de finura, un contenido de humedad del 1.32 %, un peso unitario suelto de 1617 Kg/m³, un peso unitario compactado de 1987.4 Kg/m³, un peso específico de 2.37 g/cm³, un grado de absorción de 2.84 % y para el agregado grueso (grava) se obtuvo un Tamaño máximo de 2", un tamaño máximo nominal de 1 ½", un contenido de humedad del 0.51%, un peso unitario suelto de 1585.14 Kg/m³, un peso unitario compactado de 1694.5 Kg/m³, un peso específico de 2.68 g/cm³, un grado de absorción de 1.21 %; cumpliendo con los Husos granulométricos de materiales bien graduados, así como características físicas ideales para la preparación de concreto.
2. El Peso Unitario del concreto en estado fresco (Tabla 20) tiene un efecto debido al uso del aditivo expansor, conforme aumenta el nivel de dosificación la masa disminuye progresivamente, debido a un aumento del volumen, estos resultados se aprecian a relaciones a/c de 0.45, 0.40 y en menor grado a 0.35.
3. Del análisis estadístico (ANOVA) de las medias sobre los resultados obtenidos en la retracción del concreto alcanzada a los 28 días de maduración de concreto, resulto que, si existe una disminución significativa de la retracción del concreto por efecto de la adición de aditivo expansor, lográndose contrarrestar hasta un 82.83% de este fenómeno a un nivel del 10% de dosificación, asimismo a menor relación a/c el efecto de la retracción del concreto es mínima, consiguiéndose el mínimo valor de retracción con 0.011 a una relación a/c de 0.35, con 10% de aditivo expansor, sin embargo, no existe interacción entre las variables que afecte la retracción del concreto a un intervalo de confianza del 95%.

4. Del análisis estadístico (ANOVA) de las medias de la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días de maduración de concreto, resultó que, si existe una disminución significativa en la resistencia a la compresión del concreto por efecto de la adición de aditivo expansor y de la relación a/c ayudando a que el efecto sea el menor, asimismo, si existe interacción entre estas variables por lo que su combinación influye en la resistencia a la compresión del concreto a un intervalo de confianza del 95%. La pérdida de la resistencia a la compresión que existe por el uso del aditivo expansor se puede disminuir con la reducción de la relación a/c; se obtuvo valores de 19.9 % en pérdida de resistencia a compresión, que se lograron controlar hasta alcanzar pérdidas de solo de 3.43%.

RECOMENDACIONES

- Es necesario hacer una evaluación de la retracción del concreto en periodos tempranos de maduración, ya que cuando se trata de calzaduras es importante determinar cuándo su retracción culmina siendo conveniente recién realizar un anillo inferior de calzaduras.
- Evaluar un diseño de mezcla que utilice un remplazante del agregado grueso, para obtener una mayor trabajabilidad sin pérdida de resistencia.
- Repetir estos ensayos utilizando en el diseño de mezcla un aditivo súper plastificante, en lugar de la variable relación a/c, debido a que para calzaduras es muy complicado trabajar a bajas relaciones a/c, sería más adecuado usar eficientes reductores de agua que proporcionan buena trabajabilidad.
- Realizar un estudio comparativo con varios tipos de aditivos expansores que se encuentren en el mercado nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abanto Castillo Flavio (2009) *Tecnología del concreto* (2.^a ed.). Editorial San Marcos.
- Alanya Veli, J. (2018). *Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de ingeniería civil* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/9300>
- Architecture Institute of Japan (2013). *State-of-Art Report on Concrete with Expansive Additive/ Shrinkage Reducing Admixture*. (1^{era} ed.). JCI
- Calleja, J. (1971). Sobre la expansión de los cementos y sus métodos de determinación. *Materiales de Construcción*, 21 (141), 75-91
<http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- Douglas C. Montgomery (2017). *Diseño y análisis de experimentos*. (2.^a ed.). Limusa Wiley.
- Japan Concrete Institute (2014). *Report of Crack Control Guideline Revision Committee on Mass Concrete*. (1^{era} ed.). JCI.
- Kaku, D., Tanimura, M., Satake, S. and Shibagaki, M., (2008). Reduction of shrinkage of ultra-high strength concrete by expansive additive. *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, 30(1), 471-476.
- Mendoza La, Enrique (2010). *Análisis cualitativo de los métodos de estabilización de excavaciones profundas: muro pantalla y calzadura* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/3318>
- Mestanza López, Maykol A. (2020) *Influencia del material fino que pasa la malla 200 y aditivo expansivo en las propiedades del mortero para resanes* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Archivo digital.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/56238>
- Mykola Zaichenko, Antonina Nazarova, Qosai Marshdi (2019). Effect of expansive agent and shrinkage reducing admixture in shrinkage-compensating concrete under hot-dry curing environment. *Teka. Commission of motorization and energetics in agricultura*, 14(2), 170-78.
- Pasquel Carvajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima: Álamos de Monterrico.
- Rodríguez Dávila, Pamela Marula (2018) *Estudio del concreto con aditivo reductor de contracción, utilizando cemento Portland tipo I* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/3217>
- Rivera L. Gerardo A. (2008) *Concreto Simple*. Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca.
- Sánchez De Guzmán, D. (1994). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bhandar editores.
- Sarapon Treesuwan and Komsan Maleesee (2018). Effects of Shrinkage Reducing Agent and Expansive Additive on Mortar Properties. *Hindawi - Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 8917957.
<https://doi.org/10.1155/2017/8917957>

- Sika Perú S. A. (2019). Hoja técnica IntraPlast PE, Aplicación y uso final de los productos Sika. (4^{ta} ed.). Sika Editores.
- Yulu Zhang, Atsushi Teramoto and Taka-aki Ohkubo (2018). Efecto de la tasa de adición del aditivo expansivo en la contracción autógena y la expansión retardada del mortero de ultra alta resistencia. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 16 (1), 250-261.
- ASTM C 150, (2007) “Especificación Normalizada para Cemento Portland” American Testing Materials Vo. 4.02 Concreto y Agregados, 201 ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, U.S.A.

ANEXO I

(Especificaciones Técnicas de Aditivos del Concreto)



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sika® Intraplast® PE

EXPANSOR PARA MEZCLAS DE CEMENTO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

IntraPlast® PE es un aditivo en polvo, que contiene plastificantes especiales y productos expansores finamente molidos, que actúa sobre las mezclas como:

- Expansor
- Defloculante

USOS

- Inyecciones de pastas o morteros en fisuras, grietas, juntas, vainas de cables pretensados.
- Reparaciones de concreto dañado o mal confeccionado (cangrejeras).
- Concreto de relleno y en general cualquier tipo de inyección de concreto o mortero (grouting).

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Impide la floculación plastificando las partículas de cemento en suspensión acuosa, se logra así una mejor penetración del aglomerante en fisuras o poros.
- Estabiliza las lechadas de cemento, reduciendo la segregación y exudación del agua.
- Expande el material inyectado antes y durante el fraguado (1% a 3% del volumen), aumentando la adherencia e impermeabilidad.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Caja de 7 Unidades x 850 g
Apariencia / Color	Polvo color blanco
Vida Útil	1 año
Condiciones de Almacenamiento	Intraplast® PE debe mantenerse en sitio fresco y bajo techo; en estas condiciones se puede almacenar en su envase cerrado original.
Densidad	1,40 kg/L

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Consumo	2 kg. de Intraplast® PE por 100 kg de cemento (1 bolsa de 0.85kg por saco de cemento).
----------------	--

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

CALIDAD DEL SUSTRATO PRE-TRATAMIENTO

La cavidad (fisura, cangrejas, vaina de postensado, anclaje, etc.) debe estar limpia y sana, sin polvo, grasas, aceites o partículas sueltas o mal adheridas. Los encofrados deben ser firmes e impermeables. El concreto antiguo debe estar saturado de agua, pero sin agua libre en su superficie.

MEZCLADO

- Intraplast® PE se debe agregar distribuido uniformemente en el cemento o en el árido fino, en dosis de 2% del peso del cemento. Para casos particulares la dosis puede ajustarse según los requerimientos de expansión deseados.
- Una vez agregada el agua a la mezcla, se debe agitar continuamente y usar de inmediato.
- Se debe emplear solamente cemento fresco.

MÉTODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

Para cangrejas y rellenos:

Debe eliminarse piedras sueltas y lechada superficial hasta llegar al concreto sano. Para asegurar una perfecta adherencia en reparaciones estructurales, debe emplearse Sikadur®-32 Gel, puente de adherencia epóxico. La mezcla para la reparación debe ser hecha con los mismos materiales con que se confeccionó el concreto y de aproximadamente la misma dosificación. La utilización de Sikament® al 1% del peso del cemento es recomienda para asegurar resistencia y fluidez en la mezcla de relleno. El tamaño máximo del árido deberá ser compatible con el espesor de la cavidad a rellenar. El mortero o concreto de relleno se confeccionará con Intraplast® PE al 2% del peso del cemento. El parche y el área circundante deben mantenerse húmedos durante 7 días por lo menos. En concretos estructurales de relleno deben comprobarse la resistencia del concreto mediante ensayos preliminares.

Para inyecciones:

En inyecciones de grietas o vainas de cables de concreto postensado debe utilizarse una bomba (manual o con motor) para introducir a presión la mezcla de inyección. Esta mezcla puede ser un mortero rico (una parte de cemento por una parte de arena fina) o pasta pura con Intraplast® PE. En cada caso hay que determinar previamente el grado de inyectabilidad de la mezcla para asegurar su buena penetración y evitar la exudación o segregación.

LIMITACIONES

- Los materiales (cemento, agua y agregados) deben cumplir con las normas correspondientes.
- Para verificar el comportamiento y la dosis más adecuada de Intraplast® PE es recomendable realizar pruebas preliminares.
- Las mezclas preparadas con Intraplast® PE deben ser aplicadas antes de transcurridos 30 minutos desde su confección.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

ANEXO II

(Diseño de Mezcla de Concreto)

DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI

I. Datos Obtenidos de Laboratorio:

Propiedades	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de fineza del agregado	2.70	7.50
Peso específico de masa del agregado (gr/cm ³)	2.40	2.68
Porcentaje de humedad (w%)	1.32	0.51
Absorción de agua (a%)	2.21	1.21
Peso unitario suelto seco (kg/m ³)	1617.0	1585.14
Peso unitario compactado seco (kg/m ³)	1987.4	1694.5
Tamaño máximo	-	2"
Tamaño máximo nominal	-	1½"

II. Condiciones:

Tipo de Estructuras: Cimentaciones Simples y Calzaduras

Tipo de Exposición: Moderado

f'c: 210 Kg/cm²

III. Calculo de asentamiento:

Tabla 1.

Asentamiento recomendado para diversos tipos de estructura.

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MINIMO
Zapatas y muros de cimentaciones reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas , Placas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Resultado:

Slump Máximo: 3"

Slump Mínimo: 1"

IV. Cálculo del aire atrapado:

Tabla 2.

Contenido de aire atrapado.

TMN del Agregado Grueso	Aire atrapado %
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

TNM: 1 1/2"

Resultado: 1 % de aire atrapado.

V. Cálculo de agua en la mezcla:

Tabla N° 03.

Volumen de agua por m²

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
≥ 5"	243	228	216	202	190	178	160	***
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
≥ 5"	216	205	187	184	174	166	154	***

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones RNE

Condiciones:

TNM: 1 1/2"

Slump Máximo: 3"

Resultado: 181 lit/m³

VI. Cálculo del cemento:

Relación a/c: 0.35

Resultado: 517.1 Kg de cemento

12.2 bolsas.

VII. Cálculo del Agregado Grueso:

Tabla 5

Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

TNM del Agregado Grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos Módulos de fineza del fino (b/b0)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	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

TNM : 1½"

MF_{FINO} : 2.70

Entonces extrapolamos:

MF	TNM (1½")	
2.6	0.74	X = 0.73 P.U. cs : 1694.5 kg/m ³
2.7	X	
2.8	0.72	

Resultado: 0.73 * 1694.5 = 1237 Kg

VIII. Cálculo del Agregado Fino:**a) Método de los Pesos:**Tabla 01-A: Primera estimación del peso de Concreto Fresco (Kg/m³)

TMN T.M. DEL AGREGADO (mm)	PESO DEL CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO
10	2280
13	2310
20	2350
25	2380
38	2415
50	2445

TNM: 1½"

1.5 pulgadas

38.1 mm

TMN (mm)	Peso del concreto sin aire incluido	Resultado:
38	2415	$X = 2415.3 \text{ Kg/m}^3$
38.1	X	
50	2445	

$$\text{Peso AFSC} = 2415.3 - 181 - 517.1 - 1237 = 480.12 \text{ Kg}$$

b) Método de los volúmenes:

$$V_{\text{AGREGADO GRUESO}}: 1237 / (2.68 \times 1000) = 0.46 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CEMENTO}}: 517.1 / 3150 = 0.16 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AGUA}}: 181 / 1000 = 0.18 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AIRE}}: 1/100 = 0.01 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AGREGADO FINO}}: 1 - 0.46 - 0.16 - 0.18 - 0.01 = 0.18 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso AFSC}: 0.183 \times 2.4 = 439.8 \text{ Kg}$$

IX. Correcciones de Agua por Humedad:

$$\text{Peso AGREGADO GRUESO}: 1237 \times (1 + 0.51 / 100) = 1243.3 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso AGREGADO FINO}: 439.8 \times (1 + 1.32 / 100) = 445.6 \text{ Kg}$$

$$\text{AGUA en Agregado Grueso}: 1237 \times (0.51 - 1.21) / 100 = -8.7 \text{ Kg}$$

$$\text{AGUA en Agregado Fino}: 439.8 \times (1.32 - 1.21) / 100 = -3.9 \text{ Kg}$$

$$\text{AGUA}: 181 - (-0.87 + -3.9) = 193.6 \text{ litros.}$$

X. Tabla De Resultados:

MATERIALES	PESOS (Kg.)
CEMENTO	517.1
AGUA	194
AGREGADO GRUESO	1243.3
AGREGADO FINO	445.6

Proporciones:

$$1: 2.4 : 0.9$$

XI. Para relación agua cemento: 0.45

Relación a/c: 0.45

Resultado: 402.2 Kg de cemento

9.5 bolsas.

Calculo del Agregado Fino:**a) Método de los Pesos:**Tabla 01-A: Primera estimación del peso de Concreto Fresco (Kg/m³)

TMN T.M. DEL AGREGADO (mm)	PESO DEL CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO
10	2280
13	2310
20	2350
25	2380
38	2415
50	2445

TNM: 1½"

1.5 pulgadas

38.1 mm

TMN (mm)	Peso del concreto sin aire incluido	Resultado:
38	2415	X = 2415.3 Kg/m ³
38.1	X	
50	2445	

$$\text{Peso AFSC} = 2415.3 - 181 - 402.2 - 1237 = 595.04 \text{ Kg}$$

b) Método de los volúmenes:

$$V_{\text{AGREGADO GRUESO}} = 1237 / (2.68 \times 1000) = 0.46 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{CEMENTO}} = 595.04 / 3150 = 0.13 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AGUA}} = 181 / 1000 = 0.18 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AIRE}} = 1/100 = 0.01 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AGREGADO FINO}} = 1 - 0.46 - 0.13 - 0.18 - 0.01 = 0.22 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso AFSC} = 0.22 \times 2.4 = 527.4 \text{ Kg}$$

Correcciones de Agua por Humedad:

Peso AGREGADO GRUESO: $1237 \times (1 + 0.51 / 100) = 1243.3 \text{ Kg}$

Peso AGREGADO FINO: $527.4 \times (1 + 1.32 / 100) = 534.4 \text{ Kg}$

AGUA en Agregado Grueso $1237 \times (0.51 - 1.21) / 100 = -8.7 \text{ Kg}$

AGUA en Agregado Fino: $527.4 \times (1.32 - 1.21) / 100 = -4.7 \text{ Kg}$

AGUA: $181 - (-0.87 + -4.7) = 194.4 \text{ litros.}$

Tabla De Resultados:

MATERIALES	PESOS (Kg.)
CEMENTO	402.2
AGUA	194.4
AGREGADO GRUESO	1243.3
AGREGADO FINO	534.4

Proporciones:

1: 3.1 : 1.3

XII. Para relación agua cemento: 0.55

Relación a/c: 0.55

Resultado: 329.09 Kg de cemento

7.7 bolsas.

Calculo del Agregado Fino:

a) Método de los Pesos:

Tabla 01-A: Primera estimación del peso de Concreto Fresco (Kg/m^3)

TMN T.M. DEL AGREGADO (mm)	PESO DEL CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO
10	2280
13	2310
20	2350
25	2380
38	2415
50	2445

TNM: 1½"

1.5 pulgadas

38.1 mm

TMN (mm)	Peso del concreto sin aire incluido
38	2415

$$\begin{array}{l|l} 38.1 & X \\ 50 & 2445 \end{array} \quad \text{Resultado:} \\ X = 2415.3 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso AFSC} = 2415.3 - 181 - 329.09 - 1237 = 668.17 \text{ Kg}$$

b) Método de los volúmenes:

$$\begin{aligned} V_{\text{AGREGADO GRUESO}} &= 1237 / (2.68 \times 1000) = 0.46 \text{ m}^3 \\ V_{\text{CEMENTO}} &= 329.09 / 3150 = 0.10 \text{ m}^3 \\ V_{\text{AGUA}} &= 181 / 1000 = 0.18 \text{ m}^3 \\ V_{\text{AIRE}} &= 1/100 = 0.01 \text{ m}^3 \\ V_{\text{AGREGADO FINO}} &= 1 - 0.46 - 0.10 - 0.18 - 0.01 = 0.243 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso AFSC: } 0.243 \times 2.4 = 583.1 \text{ Kg}$$

Correcciones de Agua por Humedad:

$$\text{Peso AGREGADO GRUESO: } 1237 \times (1 + 0.51/100) = 1243.3 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso AGREGADO FINO: } 583.1 \times (1 + 1.32/100) = 590.8 \text{ Kg}$$

$$\text{AGUA en Agregado Grueso } 1237 \times (0.51 - 1.21) / 100 = -8.7 \text{ Kg}$$

$$\text{AGUA en Agregado Fino: } 583.1 \times (1.32 - 1.21) / 100 = -5.2 \text{ Kg}$$

$$\text{AGUA: } 181 - (-0.87 + -5.2) = 194.8 \text{ litros.}$$

Tabla De Resultados:

MATERIALES	PESOS (Kg.)
CEMENTO	329.1
AGUA	194.8
AGREGADO GRUESO	1243.3
AGREGADO FINO	590.8

Proporciones:

$$1: 3.8 : 1.8$$

ANEXO III

(Constancia de Investigación)

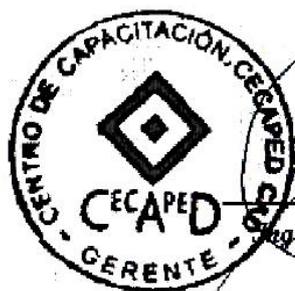


CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

El que suscribe, Ing. Walter Hugo Delgado Florián con Reg. CIP N° 126873, hace constar por medio de la presente que los Sres. Julio Enrique Paraizamán Vásquez, identificado con DNI N° 42152862 y Luis Alfredo Zumarán Castro, identificado con DNI N° 73688472, han realizado los ensayos de granulometría, contenido de humedad, peso específico, absorción, peso unitario de agregados, ensayos de consistencia y peso unitario del concreto y de resistencia a la compresión de especímenes de concreto, en las instalaciones del *Laboratorio de Suelos CECAPED*; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestros archivos.

Se expide esta certificación a solicitud de los interesados, para los fines que estime conveniente.

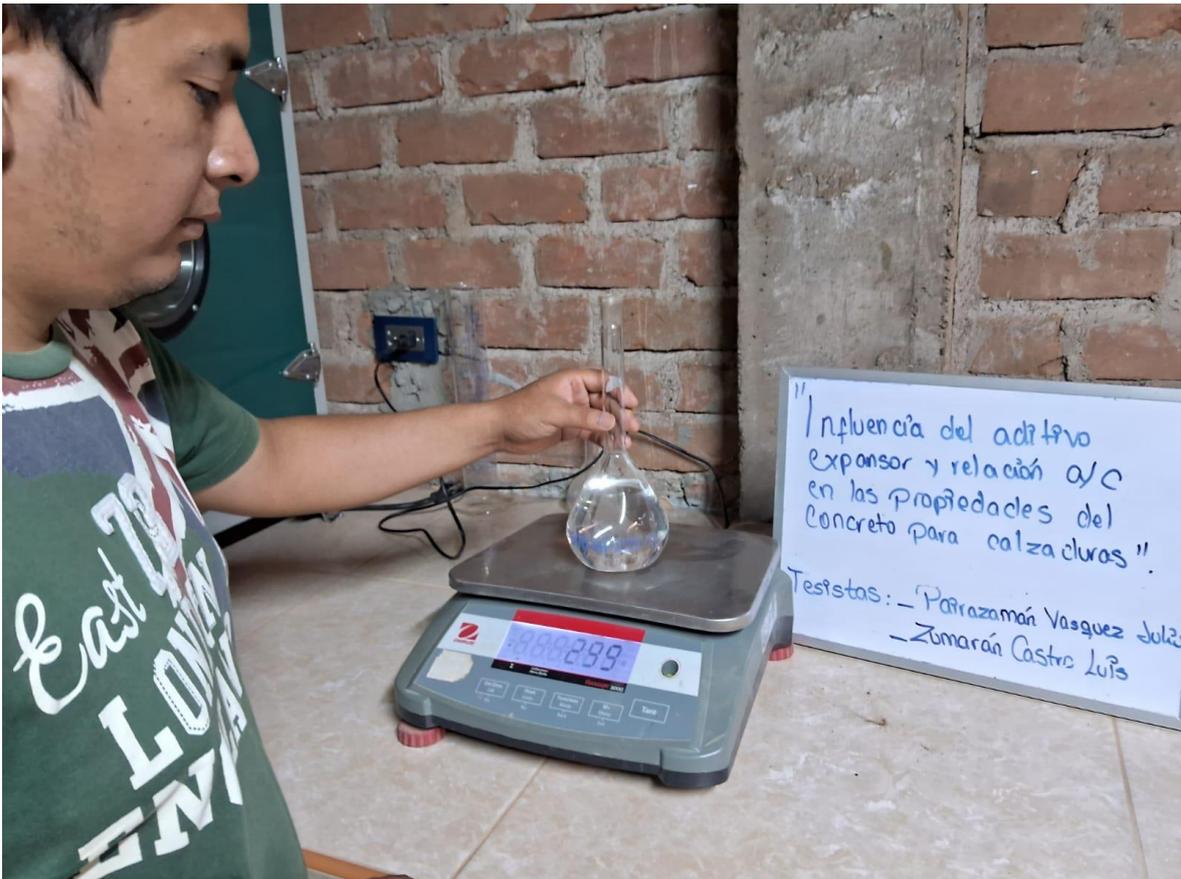
Trujillo, 31 de agosto del 2023



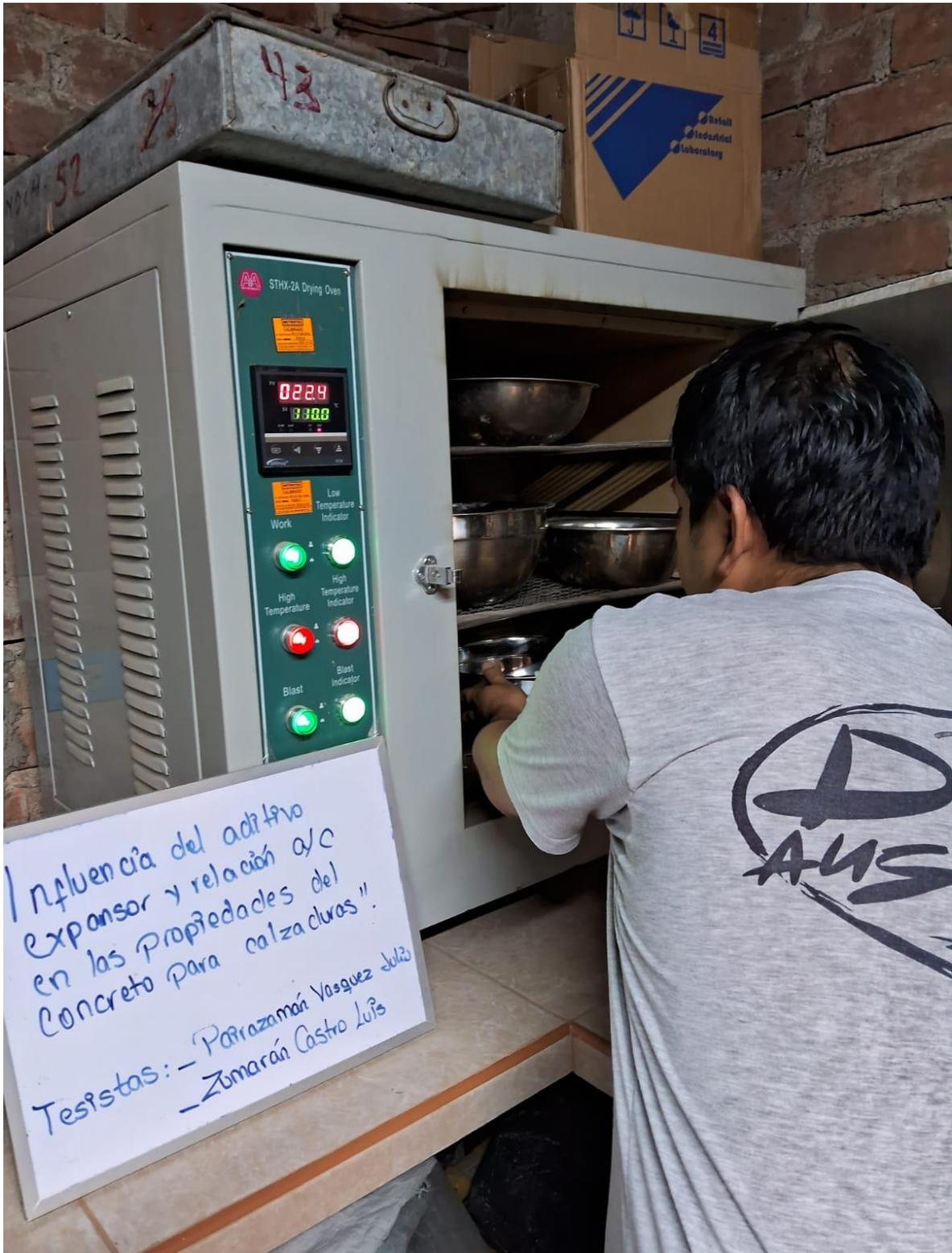
Ing. W. Hugo Delgado Florián
Reg. CIP N° 126873
PROMOTOR



ANEXO IV
(Panel Fotográfico)



Fotografía N° 01. Determinación del peso específico del agregado fino.



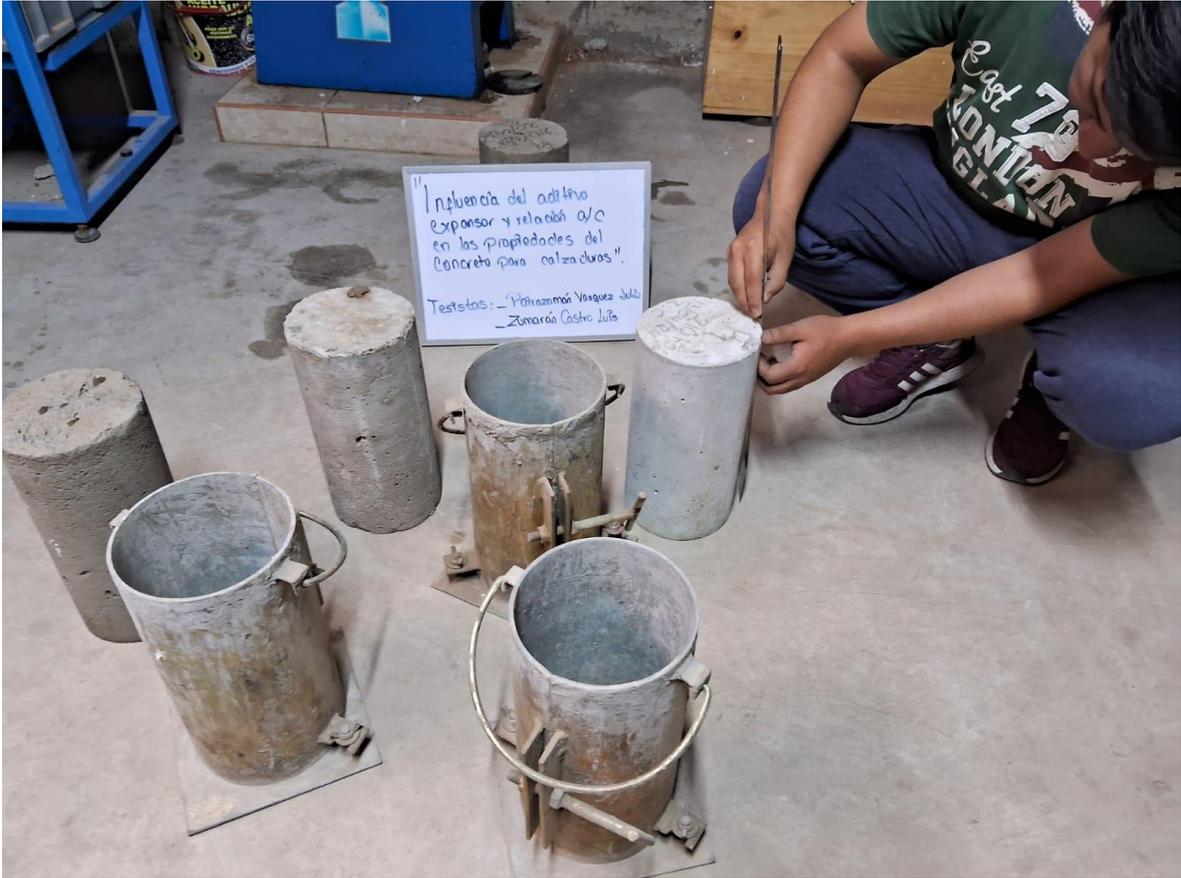
Fotografía N° 02. Determinación de humedad de los agregados.



Fotografía N° 03. Densidad Aparente del agregado



Fotografía N° 04. Moldes de para probetas cilíndricas para ensayos de compresión.



Fotografía N° 05. Codificación de Probetas.



Fotografía N° 06. Ensayo de resistencia a la compresión axial



Fotografía N° 07. Elaboración de probetas para ensayo de retracción



Fotografía N° 08. probetas para ensayo de retracción



Fotografía N° 09. Equipo para medir variación de longitudes en las probetas.