

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE
AGREGADOS EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO
REOPLÁSTICO”.**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS Y MATERIALES

AUTOR: Br. DAVID ARTURO RONCALLA CABREJO

ASESOR: Ing. URTEAGA GARCIA, JUAN MANUEL

TRUJILLO - PERU

2017

ACREDITACIONES

TITULO: “INFLUENCIA DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO REOPLÁSTICO”

AUTOR: Br. Roncalla Cabrejo, David Arturo

APROBADO POR:

Ing. Manuel Antonio, Villalobos Vargas

PRESIDENTE

N° CIP: 7156

Ing. Jorge Antonio, Vega Benites

SECRETARIO

N° CIP: 78666

Ing. Carmen Lucia, Geldres Sánchez

VOCAL

N° CIP: 70103

Ing. Juan Manuel, Urteaga García

ASESOR

N° CIP: 75985

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado **“Influencia del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados en el Módulo de Elasticidad del Concreto Reoplástico”**, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen.

Atentamente,

Br. Roncalla Cabrejo, David Arturo

Trujillo, Noviembre del 2017

DEDICATORIA

A DIOS, Por protegerme durante todo mi camino, darme fuerzas y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES, David y Guicela por su amor, trabajo y sacrificio; que en todos estos años han sido la guía y el camino impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A MI HERMANA, Sophía por su apoyo incondicional; siendo el estímulo y fuente de mi constante esfuerzo por mejorar cada día. .

**Br. DAVID ARTURO RONCALLA
CABREJO**

A G R A D E C I M I E N T O S

Esta Tesis no hubiera sido posible sin la participación, el apoyo y la compañía de muchas personas. En primer lugar quiero agradecer a mis padres, hermana y familia.

Una persona central en esta tesis, así como en la formación universitaria, profesional y humana ha sido el asesor Ing. Juan Manuel Urteaga Garcia. Gracias a él por su apoyo metodológico y profesional para la orientación en el desarrollo de esta tesis. Asimismo, gracias por la gran cantidad y calidad de saberes brindados en este tiempo.

Un agradecimiento especial a la Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por el apoyo brindado en la etapa de la titulación. Y a nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que a lo largo de la formación académica inculcan la dedicación al estudio y a la constante superación personal. Y sobre todo a estar siempre identificados con nuestra Universidad.

El autor.

INDICE

ACREDITACIONES	i
PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.....	2
1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivo General	3
1.4. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la Investigación	3
1.6. Limitación de la Investigación	4
1.7. Viabilidad de la Investigación.....	4
CAPITULO II.....	5
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Módulo de Elasticidad	9
2.2.2. Parámetros Influyentes en el Módulo de Elasticidad del Concreto	13
2.2.3. Concretos Reoplásticos.....	20
2.3. Definiciones Conceptuales.....	22
2.3.1. Concreto.....	22
2.3.2. Reología del Concreto	23
2.3.3. Elasticidad.....	23
2.3.4. Aditivo:	23
2.3.5. Agregado Fino:	24
2.3.6. Agregado Grueso:	24
2.3.7. Módulo de Elasticidad:	24
2.3.8. Módulo de Finura de la Combinación de Agregados:	24

2.4.	Hipótesis.....	25
2.5.	Variables.....	25
2.5.1.	Variable Independiente	25
2.5.2.	Variable Dependiente	25
2.6.	Operacionalización de Variables (Dimensiones e indicadores).....	25
CAPITULO III		27
3.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	27
3.1.	Tipo De Investigación	27
3.1.1.	Enfoque	27
3.1.2.	Alcance o Nivel	27
3.1.3.	Diseño	27
3.2.	Población y Muestra.....	27
3.2.1.	Población	27
3.2.2.	Muestra	28
3.3.	Técnicas e instrumento de Recolección de Datos	29
3.3.1.	Recolección de datos	29
3.3.2.	Presentación de datos	30
3.3.3.	Análisis e interpretación de los datos	34
CAPITULO IV		38
4.	RESULTADOS	38
4.1.	Procesamiento de Datos (Cuadros estadísticos con su respectivo análisis e interpretación).....	38
4.1.1.	Ensayos de Resistencia a la Compresión de Testigos Cilíndricos de Concreto	38
4.1.2.	Ensayo del Módulo de Elasticidad del Concreto:	40
4.2.	Contrastación de Hipótesis.....	42
CAPITULO V		45
5.	Discusión de los resultados	45
5.1.	Presentar la contratación de los resultados del trabajo de Investigación	45
CONCLUSIONES.....		47
RECOMENDACIONES		48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		49
ANEXOS.....		1

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modulo Tangente y secante del Concreto.....	12
Figura 2. Módulo de Deformación de Hognestad y Todeschini.....	13
Figura 3. Relación Esfuerzo vs Deformación según Tipo de Rocas	15
Figura 4. Grafica Comparativa del Módulo Plástico de Bingham, Modelo plástico de Herschel & Bulkley y del Modelo de Newton	22
Figura 5. Grafica Modulo de Elasticidad de la Combinación de Agregados vs Modulo de Elasticidad	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modulo Granulométrico de Áridos que siguen la Parábola de Fuller	18
Tabla 2. Operacionalización de Variables del Proyecto	26
Tabla 3. Denominación para la clasificación de diseños de mezcla.....	29
Tabla 4. Resumen de Propiedades de los Agregados	31
Tabla 5. Módulo de Finura de la Combinación de agregados obtenidos	32
Tabla 6. Proporción de Materiales de diseño de mezcla	33
Tabla 7. Asentamientos obtenidos en estado Fresco	34
Tabla 8. Resistencia Cilíndrica a Compresión	39
Tabla 9. Módulo de Elasticidad del Grupo A	40
Tabla 10. Módulo de elasticidad del Grupo B	41
Tabla 11. Módulo de elasticidad del grupo C	41
Tabla 12. Análisis de Dispersión del Grupo A	42
Tabla 13. Análisis de Dispersión del Grupo B	43
Tabla 14. Análisis de Dispersion del Grupo C	43

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito determinar la relación que existe entre el módulo de finura de la combinación de agregados con el módulo de elasticidad del concreto reoplástico, con la finalidad de obtener un criterio del comportamiento elástico más idóneo para realizar análisis estructurales y, a través de este, obtener resultados de mayor precisión tras la evaluación de cargas por peso propio y de sismo.

El trabajo tuvo como objetivo determinar la relación que existe entre ambos parámetros y el porcentaje de variación que poseen los concretos reoplásticos de 8 pulgadas de asentamiento, elaborando para la misma relación agua cemento diseños de mezcla con aditivo Sika Cemplastificante y agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4", 1/2" y 3/8", obteniéndose un módulo de finura de la combinación de agregados propio para cada uno, siendo este parámetro menor para menor tamaño máximo de piedra.

Para determinar los resultados de la investigación se desarrolló lo expuesto en la ASTM C-469, determinando el módulo elástico de los testigos cilíndricos de cada grupo, encontrándose elasticidades más altas para módulos de finura de la combinación de agregados más bajos, cuyo coeficiente de variación fue 3.46%, 3.91% y 7.57% para relaciones agua cemento de 0.40, 0.45 y 0.50 respectivamente

ABSTRACT

The present investigation has the purpose of determining the relationship that exists between the modulus of fineness of the combination of aggregates with the modulus of elasticity of the reoplastic concrete, with the purpose of obtaining a criterion of elastic behavior more suitable to perform a structural analysis and, Through this, obtain more accurate results by evaluating loads by own weight and earthquake.

The objective of the work was to determine the relationship between parameters and the percentage of variation that the reoplastic materials of 8 inches of settlement, elaborating for the same relation water cement mix designs with Sika Cemplastificante additive and thickness of maximum nominal size of 3 / 4 ", 1/2 " and 3/8 ", obtaining a fineness module of the combination of own aggregates for each one, this parameter being smaller for smaller maximum stone size.

In order to determine the results of the investigation, what was stated in the ASTM C-469, to determine the elastic modulus of the cylindrical witnesses of each group, finding higher elasticities for modules of completion of the combination of lower aggregates, whose coefficient of variation was 3.46%, 3.91% and 7.57% for water cement ratios of 0.40, 0.45 and 0.50 respectively

INTRODUCCION

Debido a la necesidad de edificaciones cuyos elementos estructurales proporcionen mayor rigidez, los ingenieros proponen diseños donde el elemento posee mayor concentración de acero y una resistencia mayor del concreto, buscando que posea buenas características en estado endurecido permitiendo una trabajabilidad adecuada y una fácil nivelación durante el proceso de vaciado.

En la ciudad de Trujillo, existen problemas cuando se busca una continuidad de mezcla que evite la formación de vacíos en el elemento (cangrejeras), por lo que la aplicación de aditivos superplastificante en el concreto se ha vuelto usual para lograr asentamientos fluidos, que eviten circunstancias que compliquen el sistema constructivo.

Ante esto, la tecnología del concreto clasifica como concreto reoplástico a aquel que cuyo asentamiento se encuentre entre 8 y 11 pulgadas permitiendo una reducción de tiempo de vibrado.

La investigación surge de la necesidad de obtener elementos que proporcionen mayor rigidez a la estructura; siendo importante evaluar los factores involucrados en las características del concreto para obtener elementos de mayor elasticidad, medido por el módulo de Young o módulo de elasticidad.

En la investigación se buscó determinar la influencia de una característica global en el concreto llamada módulo de finura de la combinación de agregados, debido a la relación que otorga entre la arena y la grava, en el Módulo de elasticidad del concreto reoplástico.

Para tal efecto se usó tamaños máximos nominales de agregado grueso de tipo chancado (3/4", 1/2", 3/8") y agregado fino de la cantera Silva ubicada en km 588 de la carretera panamericana norte, al cual se le añadió un aditivo superplastificante "Sika CemPlastificante" comercializado por la empresa Sika Perú S.A.

Se hicieron diseños a partir de las combinaciones de diferentes tamaños de agregado grueso más con variaciones en la relación agua - cemento (a/c) de: 0.40, 0.45 y 0.50, donde se consideró cemento Tipo Ms Mejorado de Cementos Pacasmayo, evaluando los testigos de concreto a 28 días según lo expuesto en la norma ASTM C469 para obtener el módulo de elasticidad de cada diseño.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Trujillo es la ciudad con mayor desarrollo en el norte del país, lo que ha originado la migración de diversos grupos humanos a esta ciudad. Ello ha generado la necesidad de una mayor cantidad de viviendas para las nuevas familias, por lo que hoy en día las edificaciones se proyectan a un número mayor de niveles de altura considerando elementos estructurales de mayor dimensión y requiriendo una suma concentración de acero.

Estas edificaciones deben cumplir los estándares solicitados en el reglamento nacional de edificaciones, volviéndose necesario que el concreto cumpla con ciertos requerimientos en su estado fresco y endurecido; siendo para el primer caso, la existencia de una continuidad de la mezcla alrededor de los elementos. Sin embargo, en la actualidad, el concreto utilizado en la ciudad de Trujillo, tiene un asentamiento plástico, ocasionando cangrejeras y debilitando a la estructura. Para este tipo de circunstancias, la tecnología del concreto expone el uso de mezclas de asentamiento fluido a partir de aditivos superplastificantes; reduciendo, de esta manera, los tiempos de vibrado denominados “Concretos Reoplásticos”.

A partir de la solución a este problema se puede considerar criterios adecuados en su estado endurecido para el análisis estructural, tales como propiedades de resistencia a la compresión y rigidez, siendo este último medido por el módulo de elasticidad. Estas consideraciones del concreto varían de lo que se desarrolla *in situ* ya que no consideran todos los criterios para su cálculo, pues a nivel de módulo de elasticidad se obtiene a partir de una formula expuesta por el Instituto Americano del Concreto; considerando únicamente su peso propio y la resistencia a la compresión del material, generalizando la influencia de las características de sus componentes, tales como el módulo de finura de la combinación de agregados, el porcentaje de absorción, el tamaño máximo nominal, entre otros.

Respecto a la característica del módulo de finura de la combinación de agregados, se desconoce la relación que guarda con el comportamiento elástico del concreto ante cargas estáticas debido que, al cambiar este parámetro por la necesidad de otro tamaño máximo nominal de piedra, los módulos de elasticidad variarían por un grado de cohesión de las partículas de sus componentes; llevándonos a formular la relación que guardan ambos parámetros considerando los materiales usados en nuestra ciudad.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye el módulo de finura de la combinación de agregados en el módulo de elasticidad del concreto reoplástico elaborado con: aditivo SikaCem Plastificante, cemento Ms mejorado y agregados de la cantera Silva para diferentes relaciones agua cemento?

1.3. Objetivo General

Determinar en qué medida influye influencia del módulo de finura de la combinación de agregados en el módulo de elasticidad elaborado con aditivo SikaCem Plastificante, cemento Ms mejorado y agregados de la cantera Silva para diferentes relaciones agua cemento.

1.4. Objetivos específicos

- Determinar el módulo de finura de la combinación de agregados de cada diseño de concreto elaborado para tres diferentes relaciones agua cemento y con diferente caracterización de materiales.
- Elaborar mezclas de concreto reoplástico que cumplan el asentamiento de 8 pulgadas para tres relaciones agua cemento.
- Determinar los coeficientes de variación del módulo de elasticidad de cada grupo de testigos de concreto para para la misma relación agua cemento.
- Establecer la relación entre el módulo de finura de la combinación de agregados con el módulo de elasticidad del concreto reoplástico elaborado para tres diferentes relaciones agua cemento

1.5. Justificación de la Investigación

La presente investigación permitirá conocer la relación entre el módulo de elasticidad del concreto y el módulo de finura de la combinación de agregados

considerados en la presente investigación; con el fin de obtener un criterio de diseño más idóneo para realizar análisis estructurales y, a través de este, obtener resultados de mayor precisión tras la evaluación de cargas por peso propio y de sismo. A nivel de norma técnica, la investigación colaborará en la comprobación lo dicho por el American Concrete Institute: *“El módulo de elasticidad del concreto es sensible al módulo de elasticidad de sus agregados, variando de 120% a un 80% de este último”*.¹

1.6. Limitación de la Investigación

La presente investigación se limita por la ausencia de un deformímetro de 0.001 mm de precisión, y la necesidad de crear un compresometro como expone la ASTM C-469 para la determinación del Módulo de Elasticidad.

1.7. Viabilidad de la Investigación

La presente investigación cuenta con suficiente acceso de información primaria para realizarse a partir de antecedentes investigativos como de teorías sobre la variable dependiente. Así mismo, la investigación se realizará a corto plazo aproximadamente de 6 meses por la ejecución de los ensayos, atendiendo al problema planteado dentro de un tiempo adecuado.

Respecto a la instrumentación, el presente trabajo es viable debido a que se cuenta con el equipo necesario para su elaboración en el laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Privada Antenor Orrego, y con los recursos financieros para la fabricación de la instrumentación faltante.

¹ Comité A. C. I. (enero, 2015) *318-American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-11) y Comentario. (ACI 318S-05)*. USA, pp. 109. Recuperado de: https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

A. Sánchez, (2013), realizó la investigación: *La resistencia a la Compresión del Hormigón y su Influencia en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. En la Universidad Técnica de Ambato, Ambato, ECUADOR. La investigación llego a las siguientes principales conclusiones:

- a. El Módulo de Elasticidad Estático experimental (E_c) del hormigón según la norma ASTM 469, obteniendo valores mucho más bajos que los propuestos con las ecuaciones del comité ACI 318 y ACI 363, esto se debe a que las ecuaciones del comité ACI fueron realizadas con materiales muy distintos a las de nuestro sector, por lo tanto en una estructura el valor de sus deformaciones horizontales y derivas de piso serán mayores a las que estamos considerando
- b. Se consiguieron las resistencias a la compresión próximas a las resistencias especificadas de 210, 240 y 280 kg/cm², el Módulo de Elasticidad Estático experimental menor con respecto al teórico, se debe además a la calidad de los agregados, en especial al agregado grueso, el cual presenta una elevada porosidad que se evidencia por su alta capacidad de absorción y baja densidad, que permiten que el hormigón tenga mayor deformación bajo la acción de una carga axial.

Esta investigación considero estudiar la relación entre la resistencia a la compresión con el módulo de elasticidad para resistencias de 210, 240 y 280 kg/cm², para concretos de asentamiento estándares determinando así que existe una variabilidad entre el modulo elástico estático experimental frente al teórico, por lo que es necesario estudiar las propiedades de los componentes del concreto, pues dependerá de sus agregados, sirviendo así de base para que la presente investigación considere necesario estudiar la características del módulo de finura de la combinación de agregados en concretos utilizados en la región de estudio.

B. Vargas, (2004), realizó la investigación: *Estudio del concreto de mediana a alta resistencia variando el tamaño del agregado grueso de tipo canto rodado de río, usando aditivo superplastificante de fraguado normal*, en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. PERU. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

- a. El concreto aumenta su resistencia a la compresión por dos motivos, uno por el uso del aditivo súper plastificante Euco - 37, y lo otro por variar el tamaño máximo del agregado grueso.
- b. Para concretos con aditivo superplastificante, al reducir el tamaño máximo del agregado grueso, se aumenta el módulo de Elasticidad, esto se cumple para todas las relaciones a/c utilizadas en esta investigación.
- c. Concretos con aditivo superplastificante, al reducir el tamaño máximo del agregado grueso, también se reducen las características del concreto fresco tales como la fluidez, exudación, peso unitario, asentamiento y tiempo de fraguado. Pero la ventaja es que las características del concreto endurecido tales como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y módulo de elasticidad estático, aumentan en promedio del 15%.²

Esta investigación consideró un aditivo Euco- 37 y tamaños máximo de agregado grueso de su localidad de: 1'', 3/4'' y 1/2'', para determinar la variación de las características de los concretos de alta resistencia en estado fresco y endurecido considerando relaciones agua- cemento de 0.40, 0.45, 0.50 y 0.55. Sin embargo para nuestra investigación se pretende estudiar principalmente el módulo de elasticidad de un concreto de alta resistencia denominado reoplástico, para lo cual se espera resultados aceptables en la investigación. También la presente investigación se enfoca en el módulo de finura de los tamaños máximos nominales del agregado grueso de 3/4'', 1/2'' y 3/8'' junto con el agregado utilizando un aditivo muy usado en la localidad.

² Vargas Enriquez, D. (2004). *Estudio del concreto de mediana a alta resistencia variando el tamaño del agregado grueso de tipo canto rodado de río, usando aditivo superplastificante de fraguado normal* (Tesis de Pregrado). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3098>

C. Dos, De Arruda, Da Silva, De Carvalho & Mouta (2017) realizaron la investigación: *Influence of coarse aggregate on concrete's elasticity modulus*. En la Universidad Federal de Uberlandia, Uberlandia, BRASIL. La investigación llevo a las siguientes principales conclusiones:

- a. El presente estudio analizó la influencia de agregados gruesos sobre E_{ci} . Los resultados demostraron que f_c y E_{ci} del concreto producido con agregado dolomítico mostraron menores tasas de ganancia de 7 a 56 días.
- b. Según los resultados experimentales, la forma más eficaz de aumentar E_{ci} fue aumentar la clase de resistencia del concreto, ya que el cambio de la fuente mineralógica del agregado grueso tuvo poco efecto sobre E_{ci} en comparación con el efecto obtenido al cambiar la clase de resistencia del hormigón.³

Esta investigación consideró agregado dolomítico en la realización de testigos de concreto, demostrando así que la influencia de las propiedades de los agregados si influyen en el módulo de elasticidad, permitiendo así justificar la necesidad de determinar la influencia de sus características de los agregados. A su vez demostraron la estricta relación que posee la resistencia del concreto con el modulo, pues al aumentar este aumenta el módulo de elasticidad, por lo que para abarcar una muestra mayor para la presente investigación, se considerará elaborar testigos para diferentes resistencias a partir de diferentes relaciones agua- cemento

D. Zhou, Lydon & Barr (1995) realizaron la investigation: *effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete*. En University of Wales College of Cardiff, Cardiff, UNITED KINGDOM. La investigación llevo a las siguientes principales conclusiones:

- a. Como se esperaba, el módulo de agregado grueso se reflejaba en el módulo de hormigón. Este último alcanzó aproximadamente el 95% de su valor de 28 días en 7 días y ganó poco en edades posteriores.

³ Dos Santos, A. C., de Arruda, A. M., da Silva, T. J., de Carvalho Palma Vitor, P., & Mouta Trautwein, L. (enero – marzo 2017). *Influence of coarse aggregate on concrete's elasticity modulus*. Acta Scientiarum. Technology, volume 39, pp. 17-25. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3032/303249921003.pdf>

- b. Para mortero con módulo de aproximadamente 41 GPA, hormigón con agregados normales y resistencia a 28 días de 90 Mpa tenían un módulo de 50 Gpa, el módulo máximo de hormigón ligero de composición similar (y resistencia de 74 Mpa) es probable que sea de 32 Gpa . Pero el valor límite para el hormigón de densidad más baja (resistencia de techo de aproximadamente 30 MPa) es probable que sea de aproximadamente 20 Gpa.
- c. La resistencia del cubo fue afectada por el tipo de agregado, hubo una mayor reacción cuando se usó el agregado más poroso y hubo alguna evidencia de que alguna reducción ocurrió con el agregado más rígido.⁴

Esta investigación considero un total de 6 diferentes agregados en la búsqueda de determinar su influencia en el módulo de elasticidad y su resistencia a la compresión, demostrando lo expuesto por el conocimiento teórico sobre los niveles de porosidad de los agregados y su influencia en sus propiedades mecánicas. Sin embargo la presente investigación evaluara la relación que existe en conjunto del agregado fino y del grueso a partir del módulo de finura de la combinación de agregados en el módulo de elasticidad del concreto, para lo cual se esperan resultados aceptables en la investigación. A su vez esta investigación considera sustitutos del agregado grueso, evitando considerar la influencia de los diferentes tamaños de agregado que existen, por lo que la presente investigación considerara 3 tamaños encontrados en nuestra localidad.

E. Burgos, (2012), realizó la investigación: *Variación del módulo de finura del agregado fino de 3.0 a 3.6 en concretos de mediana a baja resistencia*, en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. PERU. La investigación llego a las siguientes principales conclusiones:

⁴ Zhou, F. P., Lydon, F. D., & Barr, B. I. G. (enero 1995). *Effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete. Cement and Concrete Research. Volumen 25*, pp. 177 – 186. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884694001251>

- a. La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, disminuye a medida que el módulo de finura aumenta desde 3.00 hasta 3.60, para todos los casos de relación a/c estudiados
- b. El módulo elástico estático, disminuye a medida que el módulo de finura aumenta desde 3.00 hasta 3.60, para todos los casos de relación a/c estudiados.
- c. Para todos los casos estudiados de relación a/c= 0.60, 0.65, 0.70 cuando se incrementa el módulo de finura del agregado fino, con valores superiores a 3.00, todas las propiedades del concreto endurecido estudiadas disminuyen.
- d. Al comparar los resultados de laboratorio con los teóricos obtenidos mediante las fórmulas de las normas E-060 del RNE los porcentajes de error varían para el caso del módulo elástico estático de 5.02% a 29.76%⁵

En esta investigación se evaluó la variación de las propiedades del concreto endurecido a partir de diferentes módulos de finura del agregado fino, además en este estudio se emplearon relaciones a/c mayor a las necesarias para un concreto de alta resistencia. Sin embargo para nuestra investigación, se considera utilizar diferentes módulos de finura de la combinación de agregados esperando resultados aceptables en la investigación. Y a su vez, se pretende llegar a concretos de alta resistencia con un estado fluido gracias a la aplicación de un aditivo superplastificante.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Módulo de Elasticidad

El concreto es un material compuesto, debido a que está conformado a partir de una matriz continua de aluminatos y silicatos hidratados, además de una fase dispersa de partículas de grava y arena influyentes por su distribución, tamaño, y características tanto mecánicas

⁵ Burgos Pauro, E. (2012). *Variación del módulo de finura del agregado fino de 3.0 a 3.6 en concreto de mediana a baja resistencia.* (Tesis de Pregrado). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3413>

como físicas. Es por ello que, considerando su interrelación de los componentes a un nivel macroscópico, se le clasifica como un material compuesto de partículas grandes.⁶

La influencia de las partículas se expone en el método de la regla de las mezclas, la cual considera que el producto final se encuentra influenciado por las características de los materiales que lo componen; definiendo al módulo elástico de un material compuesto como un valor influenciado a partir del módulo de elasticidad de la matriz junto al de las partículas y una fracción de volumen de los mismos. Ello se puede apreciar en la ecuación 1.⁷

Este criterio recalca que la composición de la macro estructura, microestructura y composición atómica de los materiales es diferente uno de otro, dependiendo de su extracción, creación y estado en el que se encontraba, entregando diferentes resultados dependiendo de la forma en la que se evalué, dando así, un comportamiento elástico diferente para cada material.

Ecuación 1

$$E_c = E_m V_m + E_p V_p$$

Donde:

E: Módulo de Elasticidad (Pa)

V: volumen (m³)

c: material compuesto

m: Valor de la matriz

p: Valor de las partículas

⁶ Carbajal, E. P. 2da Edición. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Editorial Limusa, pp. 129.

⁷ Salas, M., Luco, R., & Ojeda, R. (2003). Salas, M., Luco, R., & Ojeda, R. (2003). *Análisis estructural de un catamarán de materiales compuestos. Anales de la Mecánica de la Fractura*. Volumen 20, pp.501 – 505. Recuperado de

https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Ojeda/publication/242510399_ANALISIS_ESTRUCTURAL_DE_UN_CATAMARAN_DE_MATERIALES_COMPUESTOS/links/5600b02608aec948c4fa91f9.pdf

El comportamiento elástico es una de las cualidades de estudio de la mecánica de sólidos deformables; en donde la elasticidad cuenta con un comportamiento de deformaciones reversibles ante la aplicación de cargas y varía dependiendo de si cumple o no el concepto elástico lineal. En caso de serlo, se clasificará si es isótropo o no.⁸

Para el concreto, las deformaciones se presentan de manera elástica-no lineal con tendencia a un comportamiento con ablandamiento⁹; en otras palabras, tras superar su estado tensional, el concreto pierde rigidez y el material se va descargando aunque su deformación sigue en aumento.

Como se puede apreciar en la figura N°1, la norma ASTM C469 considera en las gráficas esfuerzo-deformación, un módulo tangente medido por la inclinación de la tangente a la curva hasta el 40% de la resistencia cilíndrica máxima a compresión.¹⁰ Cabe recalcar la existencia de otros dos módulos, siendo estos un módulo tangente en el origen que corresponde a la tensión nula es cual es medido por la tangente del ángulo de inclinación de la recta; y el modulo secante que se determina como la pendiente de una recta a partir de un punto cercano al original y un punto cualquiera de la curva.¹¹

⁸ Canoba, C. & Fraga, H. (2004). *Propiedades elásticas de las rocas*. Recuperado del sitio de internet de la Universidad Nacional de Rosario, Departamento de Ciencias Geológicas, Escuela de Agrimensura, Facultad de Ciencias exactas, pp. 5. Recuperado de: http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Elasticidad_de_rocas.pdf

⁹ Carbajal, E. P. 2da Edición. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Editorial Limusa, pp. 140

¹⁰ ASTM, (2002). Norma N°C469M, *Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression*, Estados Unidos.

¹¹ Harmsen, T. E. (2005) *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Fondo editorial PUCP, pp. 33

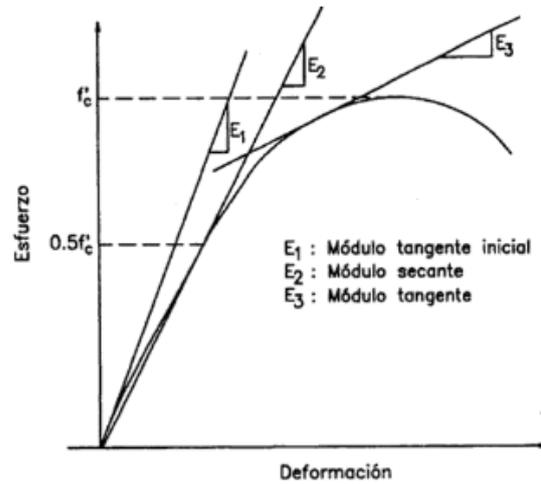


Figura 1; Módulo tangente y secante del concreto. Fuente: Harmsen, T. E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Fondo editorial PUCP.

Para describir el comportamiento de las deformaciones ante la aplicación de cargas, E. Hognestad et al. (1955) formularon el modelo esfuerzo-deformación del concreto en compresión a partir de evaluaciones, donde comenzara desde 0 la parte curvilínea en forma de parábola hasta donde el concreto alcance la resistencia máxima f'_c de manera que sea tangente a la horizontal en el punto máximo. Seguido de esto, los esfuerzos disminuyen linealmente aumentando las deformaciones hasta llegar a la falla. A partir de estas ecuaciones, Todeschini et al. (1964) establece un modelo general donde se considera que la resistencia máxima f'_c se alcanza para una deformación del concreto $\epsilon_0 = 0.002$ y que el concreto falla cuando $\epsilon_{cu} = 0.003$.¹²

¹² Villagrán, A., Edgar, I., Vera, M., Posada, S., & Elena, A. (julio – diciembre 2013). *Modelo esfuerzo-deformación para elementos de concretos reforzado que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF 2004*. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*. Volumen 5, pp. 32 – 39. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361233553003>

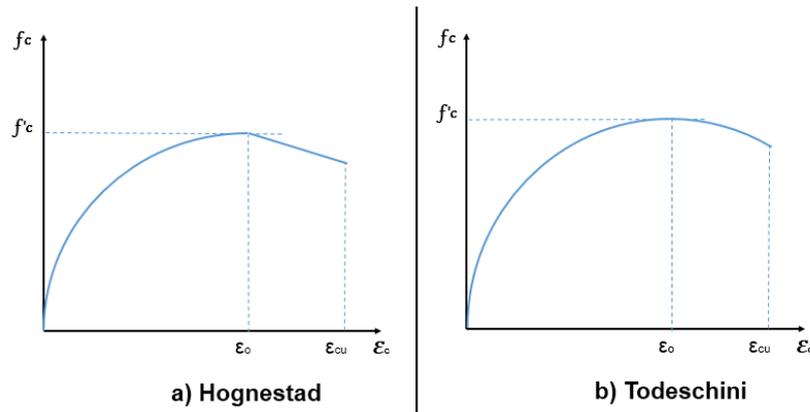


Figura 2; Módulo de Deformación de Hognestad y Todeschini. Fuente: Villagrán, A., Edgar, I., Vera, M., Posada, S., & Elena, A. (julio – diciembre 2013). Modelo esfuerzo-deformación para elementos de concretos reforzado que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF 2004. Concreto y cemento. Investigación y desarrollo. Volumen 5, pp. 32 – 39.

2.2.2. Parámetros Influyentes en el Módulo de Elasticidad del Concreto

En párrafos anteriores, para el parámetro a estudiar del concreto se deberá de conocer las características de los materiales que lo componen; sustentado por la regla de las mezclas y por la norma del ACI 318S-11, en la que se menciona que el módulo de elasticidad del concreto es sensible al módulo de elasticidad de los agregados y pueden diferir de un 120% a un 80%. Para esto, se debe mencionar que según la mecánica de rocas, los agregados áridos presentan características de discontinuidad, falta de homogeneidad y son anisótropas, volviéndolas así materiales no perfectamente elásticos.¹³ Estos comportamientos se debe, en algunos casos, a que no poseen una cohesión interna continua que genere una distribución pareja de tensiones en el material como respuesta de la aplicación de esfuerzos ni que se pueda considerar que una muestra representativa posea las propiedades mecánicas del todo, debido a que estará influenciado por el tamaño del grano de la roca. Siendo para los granos de mayor tamaño menos homogéneo a comparación de los granos

¹³ Comité A. C. I. (enero, 2015) *318-American Concrete Institute. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-11) y Comentario.* (ACI 318S-05). USA, pp. 109. Recuperado de: https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf

finos, ya que el fenómeno es dado por cualidades como la porosidad y la isotropía del material.

Farmer I.W. (1968) expone que según el tamaño del grano, la cohesión de sus partículas y la porosidad podemos determinar el comportamiento elástico de algunas rocas, teniendo en primer caso una relación cuasi- lineal para los que posean un grano fino y tengan una composición compactada como las rocas volcánicas que no presenten espacios vacíos visibles (Riolita).

Para un segundo caso se hace mención un comportamiento semi-elástico en rocas ígneas de grano grueso (Granito, Grabo) y rocas sedimentarias de grano fino con una relativa cohesión aceptable y baja porosidad (Litita). Pero para los que presentan un alto grado de porosidad como las rocas sedimentarias débiles (Arcilla y Limos), se presenta un tercer caso donde el comportamiento de las curvas es no elástica, pues al ser ensayadas, su comportamiento muestra un incremento de pendiente inicial dado por el cierre de grietas antes mas no por una deformación inicial.¹⁴

Para rocas como las del tercer caso mencionado, se debe tomar en cuenta el grado de porosidad en el que se encuentren, pues es conveniente un grado bajo para reducir el nivel de absorción de agua; logrando aumentar la densidad aparente, volviéndolo así un material más rígido y con una probabilidad menor de ataques químicos a los minerales de la roca durante su contacto con el agua.¹⁵

¹⁴ Canoba, C. & Fraga, H. (2004). *Propiedades elásticas de las rocas*. Recuperado del sitio de internet de la Universidad Nacional de Rosario, Departamento de Ciencias Geológicas, Escuela de Agrimensura, Facultad de Ciencias exactas, pp. 6 - 7. Recuperado de: http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Elasticidad_de_rocas.pdf

¹⁵ Rómel Solís, C. (marzo, 2006). *Análisis de la porosidad del concreto con agregado calizo*. *Revista de la Facultad de Ingeniería*. Volumen 21, pp. 57 – 68. Recuperado de <http://revistadelafacultaddeingenieria.com/index.php/ingenieria/article/viewFile/497/497>

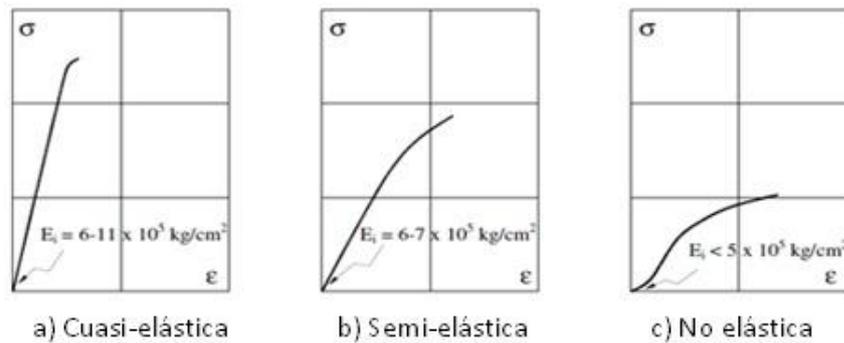


Figura 3: Relación Esfuerzo vs Deformación según el Tipo de Rocas

Fuente: Canoba, C. & Fraga, H. (2004). *Propiedades elásticas de las rocas*. Recuperado del sitio de internet de la Universidad Nacional de Rosario, Departamento de Ciencias Geológicas, Escuela de Agrimensura, Facultad de Ciencias exactas

La morfología de los poros nos establece un primer modelo de un sistema poroso a partir de medios fisurados donde incluyen las fracturas, exfoliaciones y bordes de grano abierto.

En el segundo se considera a los medios porosos con rangos de variación tanto de los poros y de los accesos entre ellos, por lo que el nivel de porosidad será, en su mayoría, mayor para los medios porosos a comparación de los medios fisurados; dando así clasificaciones según el nivel de porosidad en el que se encuentre la piedra. De esta manera, en términos de resistencia a la compresión, mientras una roca tenga el grado más bajo posible de porosidad, su resistencia será mayor a comparación de las otras.¹⁶

El segundo material de la fase dispersa de partículas grandes es la arena, que al también ocupar parte de los $\frac{3}{4}$ partes del volumen total, reduce el grado de espacios vacíos pues actúa como aceite para las piedras permitiendo una compactación mayor en el concreto.¹⁷

¹⁶ Rodrigues, J. (abril, 2006). *La Porosidad como Componentes Petrográfico: La Porosidad de las Rocas Carbonatadas*. Recuperado del sitio de internet de la Universidad de Oviedo, pp. 1 - 5. Recuperado de: http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/4886/mod_resource/content/1/T3a-PetrografiaPorosidad.pdf

¹⁷ Carbajal, E. P. 2da Edición. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Editorial Limusa, pp. 13 - 15.

Este material posee una composición de sus partículas entre 0,063 y 2 milímetros de tamaño, por lo que una de las propiedades físicas que podemos determinar en este material es su módulo de finura; un valor proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas¹⁸, obtenido por un análisis granulométrico para conocer la distribución de los tamaños de las partículas, que a su vez, nos permite hallar el nivel de finos o suciedad (tamaños inferiores a 0,075 mm) que interfieren con mantener la constante la relación agua/cemento; debido a que a mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, aumentando el contenido de cemento a requerir, y por lo tanto, impedirá una buena relación con la pasta creando zonas débiles para originar posibles roturas.¹⁹

El Módulo de finura es el valor medio del árido obtenido a partir de un ensayo de granulometría tras sumar el porcentaje retenido acumulado en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100, siendo estos tamices los No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, $\frac{3}{8}$ ", $\frac{3}{4}$ ", $1\frac{1}{2}$ ", 3" y de 6". Sin embargo, aunque ciertas arenas podrán tener el mismo módulo de finura, no poseen la misma granulometría, debido a que, tras un ensayo para obtener la curva granulométrica, podemos apreciar si presenta fracciones de todos los tamaños a lo largo de las diferentes aberturas, llamándose así de manera gráfica una curva continua.²⁰

La norma ASTM C33 contempla límites permisibles para las gradaciones del agregado fino y grueso evaluando si es adecuado su uso para el diseño del concreto.²¹ Más vale recalcar que, en búsqueda de granulometrías óptimas, nace la teoría de Fuller; exponiendo que si se desea obtener un concreto más trabajable se debe preferir granulometrías

¹⁸ Carbajal, E. P. 2da Edición. (1998 - 1999). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Editorial Limusa, pp. 91.

¹⁹ Rivva Lopez, E. (2013). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 24 – 26.

²⁰ Rivva Lopez, E. (2013). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 24 – 26.

²¹ ASTM, (agosto, 2004). Norma N° C 33 – 03; Especificación Normalizada para Agregados para Concreto, Estados Unidos.

continúas, tomando en cuenta que mientras mayor sea el tamaño máximo de los agregados fino y grueso, menor será la cantidad necesaria de cemento y agua, dando así, una menor retracción y fluencia en el concreto. Bajo este concepto, la pasta de cemento cumplirá su función como conglomerante al unir los granos de los áridos formando una película que recubre y llene los espacios vacíos entre los granos más finos de la arena, requiriendo así mayor cantidad de agua para la compactación de los granos de los áridos.²²

Fuller consideraba que a partir de áridos redondeados de 50 ± 20 mm y con cantidades de 300 kg/m³ mínimo de cemento se obtenían resultados óptimos, permitiéndole así considerar una parábola a partir de diferentes módulos de finura para diferentes tamaños máximos de áridos considerando los valores por la fórmula:

Ecuación 2

$$P = 100 * \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Donde:

P= Porcentaje en peso que pasa por el tamiz (%)

d= Abertura de cada tamiz (mm)

D= Tamaño máximo del árido (mm)

²² Antenaza, M. O. (2006) *Apoyo Didactico para la Enseñanza y Aprendizaje en la asignatura de "Tecnología del Hormigón*, pp. 41 - 43. Recuperado de https://issuu.com/fank2/docs/libro_b_sico_sobre_tecnolog_a_del

TABLA 1

Módulo Granulométrico de Áridos que siguen la Parábola de Fuller

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Módulo Granulométrico
25	5.21
30	5.45
35	5.64
40	5.82
45	6
50	6.16
55	6.29
60	6.4
65	6.51
70	6.6

Fuente: Antenaza, M. O. (2006) Apoyo Didactico para la Enseñanza y Aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del Hormigón”.

En la actualidad, tras buscar un valor ideal que requiera un mínimo de pasta se consideró que no existe un valor óptimo para mezclas universales, debido a cada concreto tiene propiedades variables en cada proceso de diseño, pero para recomendaciones de concretos estructurales, se recomienda que los módulos de finura se encuentren entre 2.35 a 3.15.²³

Stanton Walker, citado por Enrique Rivva Lopez, considero un procedimiento donde la cantidad de pasta depende de la relación que posea los agregados denominado Método del módulo de finura de la combinación de los agregados. Este método considera que el módulo de finura del agregado fino o grueso es un indicador de su superficie específica y conforme este parámetro aumente, el requerimiento de pasta aumentara, y en caso la demanda de pasta se mantenga constante, disminuirá la resistencia por adherencia si se incrementara la finura de los agregados²⁴

²³ Rivva Lopez, E. (2013). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 24 – 25.

²⁴ Delmar Bloem y Stanton Walker. Citado por Enrique Rivva Lopez (2013). Proportioning Ready Mixed Concrete. National Ready Mixed Concrete Asociation.. *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y

Además, contempla diversos valores del módulo de fineza de la combinación de agregados entregando así una mejor trabajabilidad para diversos contenidos de cemento, a partir de la suma de los productos de los módulos de fineza de cada agregado por la relación de volumen absoluto respectiva.

Ecuación 3

$$m = r_r * m_r + r_g * m_g$$

Donde:

m= Modulo de fineza de la combinación de agregados

m_r= Módulo de fineza del agregado fino

m_g= Módulo de fineza del agregado grueso

r_r= porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado

r_g= porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregado

Esta característica permite obtener datos más precisos para cada diseño de concreto en cuanto a la repartición de los tamaños de los granos, obteniendo así diferentes grados de cohesión entre sus partículas; que tras llegar el aproximamiento a la homogeneidad de sus granos, pese a ser un material isotrópico, permitirán mezclas con un leve comportamiento menos no lineal de los módulos inferiores.

Sobre la relación agua cemento, Guevara *et al* (2012) señalan que la relación de la pasta es un factor influyente en el comportamiento del concreto, pues al variar la relación agua cemento, varia la resistencia y por consecuente la pendiente del límite elástico. Este fenómeno se da debido a la relación inversa que existe entre la resistencia y la porosidad, puesto que para un volumen dado de cemento, la pasta con el mayor contenido de agua tendrá el mayor volumen de espacio disponible, que después de la hidratación completa, terminará con mayor volumen de poros creando

Gerencia, pp. 161 – 165. Delmar Bloem y Stanton Walker. Citado por Enrique Rivva Lopez (2013). Proportioning Ready Mixed Concrete. National Ready Mixed Concrete Asociation.. *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 161 – 165.

quebraduras finísimas dentro del concreto; debilitándolo a comparación de relaciones agua cemento que permitan tener concretos más densos y por ende más resistentes.²⁵

2.2.3. Concretos Reoplásticos

De acuerdo a la consistencia de la mezcla se les puede clasificar como mezclas secas (25 a 50 mm), plásticas (75mm a 100 mm) o fluidas (más de 150 mm).²⁶ Para este último existe una sub clasificación que los divide en concretos autocompactantes y reoplásticos o reodinámico. Este último es aquel cuyas características reológicas están controladas gracias a aditivos que generan mayor plasticidad, impidiendo la producción de segregación y exudación, ni la relación Agua / Cemento.²⁷

Para los concretos reoplásticos, es importante conocer el grado de viscosidad plástica que la mezcla tendrá con la finalidad de eliminar efecto de inestabilidad en el concreto y poder llegar a analizar deformaciones diferidas que se producirían frente a cargas de larga duración; ocasionando fenómenos reológicos de retracción y fluencia²⁸. Bajo el concepto de suspensión reológica, la viscosidad es la resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia, que para el caso se logra gracias a los agregados con la pasta, esto se sostiene bajo el modelo modificado de Krieger-Dougherty, exponiendo que hay un incremento en la viscosidad del

²⁵ Guevara-Fallas, G., Hidalgo-Madrigal, C., Pizarro-García, M., Rodríguez-Valenciano, I., Rojas-Vega, L. D., & Segura-Guzmán, G. (2012). *Efecto de la variación/cemento en el concreto*. *Revista Tecnología en Marcha*. Volumen 25, pp. 80 - 86. Recuperado de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1632

²⁶ Rivva Lopez, E. (2013). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 75 - 76.

²⁷ Imbaquingo Chamorro, A. (2012) *Diseño de hormigón de alto desempeño*. (Tesis de Pregrado), pp. 58 – 62. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5967>

²⁸ Urtubey, E., & Lorefice, R. (noviembre, 2005). *Reología Del Hormigón-Fluencia Básica, Estado Del Arte– Propuesta De Simulación Numérica. Mecánica Computacional*. Volumen 24, pp. 423 – 424. Recopilado de <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/40/40>

medio cuando se agregan más partículas sólidas, pues al haber mayor concentración abra mayor consistencia.²⁹

Todos los modelos buscan describir las características propias para cada mezcla debido a sus estructuras poliatómicas diversas que proporcionan un gran número de respuestas mecánicas a solicitudes dadas. Para diferenciarlas, existe una clasificación de fluidos reológicos en el que este material se describe como fluidos newtonianos o no newtonianos, dependiendo de su respuesta a la cizalladura. Para el caso del concreto fresco se le puede clasificar como un no newtoniano, debido a que disminuye su viscosidad a medida que aumenta la velocidad de corte.³⁰

El Modelo de Bingham consideraba a la mezcla como un material fluido de asentamiento mayor a 100mm y libre de segregación, exhibiendo así un comportamiento lineal de esfuerzo cortante versus velocidad de corte lo que lo clasificaría dentro de los newtonianos, pero al ser el concreto un material elástico-visco-plástico, Herschel- Bulkley proponen una formula a partir de los conocimientos teóricos y prácticos de los modelos plásticos de Bingham que permitan describir adecuadamente el comportamiento para concretos no estándares. Este modelo reduce el número de parámetros considerando un cierto esfuerzo mínimo para iniciar el flujo, pero disminuyendo el esfuerzo con el aumento de la cizalladura ya que la viscosidad plástica no se podía calcular directamente por los modelos mencionados anteriormente, de esta manera, proporciona un valor más cercano al real representando mejor la capacidad de levantamiento de cortes del fluido.³¹

²⁹ Portugal Barriga, P.A. (2003) *Reología del Concreto. Trabajo presentado en nombre del XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil*. Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú, Iquitos, pp. 11. Resumen recuperado de http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/C3.pdf

³⁰ Ramírez-Navas, J. S. (junio, 2006). *Introducción a la reología de los alimentos*. Revista ReCiTeIA. Volumen 6, pp. 4 – 40. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Juan_Ramirez-Navas/publication/259620275_Introduccion_a_la_Reologia_de_Alimentos/links/556112fe08ae6f4dcc93c383/Introduccion-a-la-Reologia-de-Alimentos.pdf

³¹ Portugal Barriga, P.A. (2003) *Reología del Concreto. Trabajo presentado en nombre del XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil. Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú, Iquitos*, pp. 3. Resumen recuperado de http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/C3.pdf

Estos modelos permitieron conocer que, a diferencia de los concretos convencionales, los concretos de mayor fluidez en estado fresco tendrían un comportamiento no-estándar. Por lo que para dar parámetro a su comportamiento a nivel práctico se dio origen a una variedad de ensayos que corroboran el comportamiento de la mezcla actual. Un ejemplo de esto es el ensayo de escurrimiento, pues se sabe que es directamente relacionado con la característica reológica de tensión de inicio de flujo del modelo de Bingham.³²

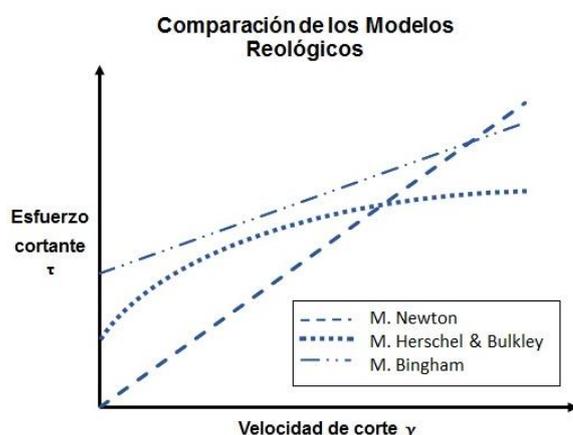


Figura 4: Gráfica Comparativa del Modelo Plástico de Bingham, Modelo plástico de Herschel & Bulkley y del Modelo de Newton. Fuente: Portugal Barriga, P.A. (2003) Reología del Concreto. Trabajo presentado en nombre del XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil. Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú, Iquitos.

2.3. Definiciones Conceptuales

2.3.1. Concreto

El concreto es un material compuesto constituido por un elemento cementante, agua y agregado. El cemento, normalmente tipo Portland, una vez hidratado genera la adhesión química entre los componentes. Por lo general el agregado representa entre el 60% al 75% del volumen total del concreto estructural, el cemento entre un 7 a 15% y el aire atrapado entre 1 al 3%. Para ciertos propósitos se puede incorporar hasta un 8% de aire, en forma de pequeñas burbujas en el mortero, agregando sustancias especiales.

³² *Ibidem*, pp. 4 – 11.

El aire incorporado es importante para concretos que van a estar sometidos a procesos de hielo – deshielo.³³

2.3.2. Reología del Concreto

La reología del concreto es la ciencia que estudia el flujo y la deformación del concreto en su estado fresco, debido a que es una suspensión concentrada de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento) dándole explicación de su flujo con la ayuda de la mecánica de fluidos y teóricas a partir de esta. Cabe aclarar que la pasta de cemento a su vez no es un fluido homogéneo y está compuesta de partículas (granos de cemento) en un líquido (agua). Por lo tanto el concreto en estado fresco en una escala macroscópica fluye como un líquido.³⁴

2.3.3. Elasticidad

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no posee un comportamiento lineal visible en su diagrama carga vs deformación durante la compresión; sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un módulo de elasticidad estático del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido normalmente en un porcentaje de la tensión última.³⁵

2.3.4. Aditivo:

Un aditivo es definido, tanto por el comité 116R del American Concrete Institute como por la Norma ASTM C-125, como "*un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente, antes y durante su mezclado*".³⁶

³³ Carbajal, E. P. 2da Edición. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Editorial Limusa, pp. 140

³⁴ Portugal Barriga, P.A. (2003) *Reología del Concreto. Trabajo presentado en nombre del XIV Congreso Nacional De Ingeniería Civil*. Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú, Iquitos, pp. 11. Resumen recuperado de http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/C3.pdf

³⁵ Carbajal, E. P. 2da Edición. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: Editorial Limusa, pp. 140

³⁶ *Ibidem*, pp.142

2.3.5. Agregado Fino:

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el Tamiz NTP 9.4mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 ó ASTM C-33.³⁷

2.3.6. Agregado Grueso:

Se define como agregado grueso el material retenido en el Tamiz NTP 4.75 mm (N° 4) y que cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C-33.³⁸

2.3.7. Módulo de Elasticidad:

El módulo de elasticidad es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones. El módulo de elasticidad de los agregados se determina en muy contadas ocasiones, sin embargo, desde que la deformación que experimenta el concreto es, parcialmente, una deformación del agregado. Es razonable pensar que mayor será el módulo de elasticidad del concreto conforme aumenta el de los agregados que lo íntegra. Es importante recordar que el valor del módulo de elasticidad del agregado tiene especial influencia sobre la magnitud del escurrimiento plástico y la contracción que pueden presentarse en el concreto.³⁹

2.3.8. Módulo de Finura de la Combinación de Agregados:

El módulo de finura total es proporcional al medio logarítmico del tamaño de las partículas para una cierta distribución granulométrica y experimentalmente está demostrado que independientemente de la granulometría, los concretos con igual módulo de fineza de los agregados, tienen dentro de ciertos límites los mismos requerimientos de agua, características resistentes y trabajabilidad. En base a esto varios investigadores han establecido módulos de fineza óptimos para ciertas

³⁷ *Ibidem*, pp.145

³⁸ *Ibidem*, pp. 143

³⁹ *Ibidem*, pp.139

condiciones de contenido de cemento, tamaño máximo y tipo e agregados que permiten una aproximación práctica muy buena a los diseños más eficientes.⁴⁰

2.4. Hipótesis

Si se varia el Modulo de Finura de la Combinación de Agregados entonces variará el Modulo de Elasticidad del concreto reoplástico en un 5%.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente

Módulo de finura de la combinación de agregados

2.5.2. Variable Dependiente

Módulo de elasticidad del concreto reoplástico

2.6. Operacionalización de Variables (Dimensiones e indicadores)

⁴⁰ *Ibidem*, pp.140

Tabla 2

Operacionalización de Variables del Proyecto.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
Módulo de Finura de la Combinación de Agregados	Variable Independiente	Tamaño Máximo nominal de la piedra de 3/4	Módulo de Finura de la Piedra de 3/4	adimensional	Método de Dosificación de Mezclas del Módulo de Finura de la Combinación de Agregados
		Tamaño Máximo nominal de la piedra de 1/2	Módulo de Finura de la piedra de 1/2		
		Tamaño Máximo nominal de la piedra de 3/8	Módulo de Finura de la piedra de 3/8		
		arena	Módulo de Finura de la Arena		
Módulo de Elasticidad del concreto reoplástico	Variable Dependiente	zona elástica del comportamiento del concreto	Resistencia del Concreto	Mpa	Compresometro expuesto en la Norma ASTM C-469

Fuente: Diseñado por el Autor

CAPITULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. Tipo De Investigación

3.1.1. Enfoque

El presente trabajo de investigación está enfocado en un tipo de investigación descriptiva y experimental, debido a que se realizarán e interpretaran los ensayos a los componentes que constituyen el concreto bajo lo expuesto por las normas vigentes; además se realizará el análisis y diseño de mezclas de concreto, siendo fundamental determinar las propiedades de los agregados para obtener óptimos resultados al ensayar los testigos cilíndricos y encontrar el módulo de elasticidad propuesto en esta investigación.

3.1.2. Alcance o Nivel

Los niveles de investigación a utilizados en este proyecto fueron experimentales y descriptivos. Fue exploratorio debido a que era desconocimiento del verdadero valor del módulo de elasticidad del concreto con los agregados de la cantera Silva a partir de diferentes módulos de finura de la combinación de agregados, pero que con ayuda de ensayos fue determinado.

Fue descriptivo ya que en la necesidad de conocer las propiedades de los agregados y las propiedades del concreto, se midió y determinó los valores de esfuerzos y deformaciones, para presentarlos en un informe descriptivo del comportamiento de las variables.

3.1.3. Diseño

El trabajo realizado fue de tipo experimental, debido a que la variable dependiente a estudiar se determina únicamente por ensayos estipulados normativamente y controlada rigurosamente en laboratorio, al igual que la obtención de las características de la variable independiente.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

El presente trabajo considera todos los concretos elaborados con todos los tamaños máximos nominales posibles al igual que sin excluir por

sus módulos de finura de la arena y sin considerar el nivel de asentamiento que posea.

3.2.2. Muestra

La muestra está representada por 45 testigos de concreto de 12x6 pulgadas elaborados según los lineamientos de la norma ASTM C192, los cuales estarán compuestos por un módulo de finura de la combinación de agregados a partir del módulo de finura de la arena y diferentes tamaño nominales de piedra correspondiente para cada caso.

Estos testigos se elaborarán con cemento Ms mejorado según las ASTM 1857, que posee las características de un cemento de moderada resistencia a los sulfatos, moderada hidratación (MH) y resistencia a los agregados reactivos (R).

Los agregados serán obtenidos a partir de la Cantera Silva ubicada en el km 588 de la carretera panamericana norte, donde se obtendrán los tamaños de las piedras a utilizar de 3/4, 1/2 y 3/8 pulgadas.

La característica de la mezcla de concreto en su estado fresco será de un asentamiento de 8'' cumpliendo el criterio de concreto reoplástico. Esto se logrará a partir de la aplicación de aditivo SikaCem Plastificante, que se comporta como superplastificante usándose 500ml por bolsa de cemento de 42.5 kg.

Se le dará una denominación a cada diseño de mezclas a elaborar, siendo para las mezclas elaboradas con tamaño máximo nominal de piedra 3/4 y arena A1 para la relación agua cemento de 0.40, B1 para la relación agua cemento 0.45 y C1 para la relación agua cemento 0.50. Así mismo para los diseños elaborado con un tamaño máximo nominal de piedra de 1/2 y arena se les denominara A2 para la relación agua cemento 0.40, B2 para la relación 0.45 y C2 para la relación 0.50. por último, para los diseños que consideran piedra de tamaño máximo nominal de 3/8 y arena de relación agua cemento 0.40 se les denominará A3, B3 para las de relación 0.45 y C3 para las de relación 0.50

A continuación se presenta en la tabla 3 la denominación de cada grupo de especímenes según corresponda a sus criterios para el diseño, siendo el tamaño de la muestra para cada grupo de 5 testigos de los cuales

2 se utilizaran para determinar la resistencia a la compresión y 3 para determinar el módulo de elasticidad.

Tabla 3

Denominación para la clasificación de diseños de mezcla.

características	a/c= 0.4	a/c= 0.45	a/c= 0.5
(arena + piedra 3/4)	A1	B1	C1
(arena + piedra 1/2)	A2	B2	C2
(arena + piedra 3/8)	A3	B3	C3

Fuente: Propuesto por el autor

3.3. Técnicas e instrumento de Recolección de Datos

3.3.1. Recolección de datos

Para el desarrollo de la presente investigación se determinó las propiedades de los agregados fino y grueso de tamaño máximo nominal de 3/4'', 1/2'' y 3/8'' de la cantera Silva; ello a partir de una muestra representativa tal cual como estipula la norma ASTM D75. En este proceso se realizó el análisis granulométrico bajo la NTP 400.037 y la norma ASTM C-33, el contenido de humedad a partir de lo expuesto por la ASTM C-566, el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado grueso y del agregado fino según la norma ASTM C-128 y ASTM C-127 respectivamente.

Se realizaron 9 diseños de mezcla a partir de la combinación de los diferentes tamaños máximos nominales del agregado grueso junto al agregado fino, utilizándose el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados, obteniendo así un módulo de finura de la combinación de sus agregados para cada uno.

Dichas mezclas se realizaron en el laboratorio, evaluándose el revenimiento del concreto en estado fresco a partir de lo expuesto por la norma ASTM C-143, para determinar la efectividad de su comportamiento reológico cumpliéndose las 8 pulgadas de asentamiento, para posteriormente elaborar y curar las probetas como expone la norma ASTM C-31

Se realizó, como se expone en la norma ASTM C39, el ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto a 2 testigos cilíndricos de cada uno de los 9 diseños, para determinar la resistencia promedio a compresión de cada grupo a través de un equipo hidráulico en el laboratorio.

Finalmente, se desarrolló el ensayo a partir de la norma ASTM C-469-94, determinando el módulo de elasticidad a una carga de ratio constante dentro del rango de 35 a 5psi (241 a 34kpa/segundos) para tomar lectura a una deformación longitudinal de 50 millonésimas y cuando la carga este aplicada al 40% de la carga ultima.

3.3.2. Presentación de datos

En el desarrollo de la presente investigación fue necesario identificar las propiedades mecánicas de los agregados, siendo estos especificados en el anexo N°1 y obteniéndose los resultados de la tabla 4.

Tabla 4

Resumen de Propiedades de los Agregados.

ORIGEN:		Cantera Silva				
TIPO DE AGREGADO		VALOR				unidad
PROPIEDAD MECANICA	FINO	GRUESO				
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	n°4	3/8.	1/2.	3/4.	pulg	
MODULO DE FINURA	2.57	6.04	6.8	7.68	-	
PESO ESPECIFICO SECO	2.53	2.51	2.58	2.59	gr/cm3	
CAPACIDAD DE ABSORCION	2.63	2.07	1.05	1.2	%	
CONTENIDO DE HUMEDAD	1.48	0.77	0.49	0.33	%	

Posteriormente, se identificó el Modulo de Finura de la combinación de agregados a partir del método del mismo nombre, como se muestra en el anexo N°1, obteniéndose los resultados expuestos por la tabla 5.

Tabla 5

Módulo de Finura de la Combinación de Agregados obtenidos

METODO: Módulo de Finura de la Combinación de Agregados			
GRUPO	CARACTERISTICAS		Módulo de Finura Combinación de Agregados
	A/C	TMN"	
A1	0.4	3/4"	5.65
A2	0.4	1/2"	5.2
A3	0.4	3/8"	4.76
B1	0.45	3/4"	5.49
B2	0.45	1/2"	5.09
B3	0.45	3/8"	4.66
C1	0.5	3/4"	5.24
C2	0.5	1/2"	4.82
C3	0.5	3/8"	4.49

De esta manera, se determinó una dosificación para cada módulo de finura de la combinación de agregados como se expone en la tabla 6.

Tabla 6

Proporción de Materiales de Diseño de mezcla.

METODO UTILIZADO:	Módulo de Finura de la Combinación de Agregados					
	DOSIFICACION POR kg/M3				ADITIVO	
GRUPO	CEMENTO	AGUA	AG. FINO	AG. GRUESO	%	CANT.
A1	512.5	220.22	617.37	948.05	1	5.13
A2	540	227.6	563.45	935.25	1.1	5.94
A3	570	245.33	523.97	883.18	1.2	6.84
B1	455.55	220.82	686.78	926.8	0.8	3.64
B2	480	228.12	622.8	926.82	0.9	4.32
B3	506.67	246.35	586.32	874.79	1	5.07
C1	410	221.4	783.67	867.93	0.7	2.87
C2	432	229.12	740.24	849.44	0.8	3.46
C3	456	246.35	677.9	827.12	0.9	4.1

Durante la elaboración de las mezclas en laboratorio se comprobó la viscosidad del material a través del ensayo de revenimiento, tal y como se muestra en la tabla 7, se obtuvieron asentamientos aceptables con variaciones mínimas de 8 pulgadas.

Tabla 7

Asentamientos obtenidos en estado fresco.

NORMA UTILIZADA:		ASTM C143	
GRUPO	Módulo de Finura de la Combinación Agregados	ASENTAMIENTO	UNIDAD
A1	5.65	8.3	plg
A2	5.2	8.2	plg
A3	4.76	8	plg
B1	5.49	8.2	plg
B2	5.09	8.05	plg
B3	4.66	8.2	plg
C1	5.24	8.3	plg
C2	4.82	8.15	plg
C3	4.49	8.1	plg

Culminando el ensayo de revenimiento, se procedió a la elaboración y curado de testigos cilindros de concreto, obteniéndose al pasar los 28 días las características Físicas del concreto mostradas en el anexo N°3.

3.3.3. Análisis e interpretación de los datos

Para la presente investigación, se realizó un análisis previo a los agregados de diversas canteras ubicadas en la zona. La cantera utilizada presenta una granulometría con un mejor cumplimiento de los límites expuestos por la norma ASTM C-33, debido a que en las canteras difieren del chancado presentan una cantidad dispersa mayor de tamaños de los agregados del grupo al que corresponden y una cantidad mayor de partículas finas, además de presentar una distribución dispareja de proporciones de los tamaños, demostrado por el módulo de finura de cada agregado.

Sobre las propiedades de los agregados, se determinó a partir de la muestra representativa tal y como expone la norma ASTM D75; un módulo de finura de la arena de 2.57, siendo este aceptable debido a que se encuentra entre los límites de 2.35 a 3.15 como expone Enrique Rivva Lopez en su libro de Diseño de Mezclas.

En lo que respecta al agregado Grueso, estos poseen módulos de finura obtenidos a partir de una granulometría aceptable pues se encuentra en lo mayor posible dentro de los rangos, dando así para agregados gruesos de tamaño máximo nominal de 3/8'' 6.04, de 1/2'' 6.8 y de 3/4'' 7.68.

A su vez, Enrique Rivva Lopez considera que las características de un agregado respecto a su peso específico sea de 2.5 a 2.75 para considerarse un agregado normal, pues de encontrarse por debajo entraría a los rangos de agregados ligeros y por encima en los rangos de los agregados pesados, dando así un peso específico de 2.53 gr/cm³ para la arena, para el agregado grueso de 3/8'' 2.51 gr/cm³, de 1/2'' 2.58 gr/cm³ y al de 3/4'' 2.59 gr/cm³.

Respecto a sus características de Absorción; se determinaron a partir de la norma ASTM C-127 para los agregados gruesos y la norma ASTM C-128 para los agregados finos; obteniendo en la arena un porcentaje de 2.63%, en el agregado de 3/8'' 2.07%, con las de tamaño máximo nominal de 1/2'' 1.05% y las de 3/4'' 1.2%.

También se obtuvieron características del contenido de humedad a partir de la norma ASTM C-566 en la arena de 1.48%, en agregado de 3/8'' 0.77%, en agregado de 1/2'' 0.49% y agregado de 3/4'' 0.33%.

En la realización del diseño de mezcla, se consideró usar el método de Modulo de Finura de la Combinación de Agregados, debido a que se buscó analizar la influencia de los agregados en el Módulo de elasticidad del Concreto; descartando la utilización del método de diseño del Comité 211 del American Concrete Institute, debido a que considera que cual fuera la relación agua cemento para una resistencia, siempre que se mantenga constante el tamaño máximo nominal del agregado grueso y módulo de

finura del agregado fino, el contenido de los agregados en su totalidad serán el mismo dentro de la mezcla.

Este método posee la característica de determinar una variable para dosificar la cantidad de agregado grueso y fino a partir de sus módulos de finura, por lo tanto, se consideró adecuado estudiar esta variable que abarca ambas partículas dispersas en el concreto; comparándose entre ellas para una misma relación agua cemento, obteniéndose así para una relación agua cemento de 0.40 un módulo de finura de la combinación de agregados de 5.65 para un diseño con piedra de 3/4"; 5.2 con piedra 1/2" y 4.76 con piedra de 3/8".

Para la relación de 0.45 con piedra de 3/4" un módulo de 5.49, con piedra de 1/2" un módulo de 5.09, y 4.66 con piedra de 3/8", y por ultimo con relación de 0.50 se obtuvo un 5.24 con piedra de 3/4", 4.82 con piedra de 1/2" y 4.49 con piedra de 3/8". Vale recalcar que la arena fue constante en todos los diseños, por ende sus características no fueron variables.

Estos diseños se realizaron bajo el criterio de un asentamiento de 4 pulgadas, lográndose las 8" gracias a un aditivo superplastificante llamado aditivo "Sika Cemplastificante", seleccionado debido a su fácil acceso en el mercado.

Para lograr la viscosidad adecuada, se varió levemente la cantidad de aditivo, pues como se conoce, a menor tamaño máximo nominal mayor cantidad de agua de diseño, por lo tanto, para lograr el asentamiento adecuado, se requirió en agregados de menor tamaño mayor cantidad de aditivo variando como máximo en 0.2% entre el agregado 3/4" a 3/8".

De esta manera para una relación agua cemento de 0.40, se utilizó en 1% de aditivo para piedra de 3/4", para piedra de 1/2" 1.10% y para piedra de 3/8" 1.20%. En diseños cuya relación agua cemento era 0.45, se utilizó en piedra de 3/4" 0.8%, con 1/2" 0.9% y con 3/8" 1%.

Por ultimo en relación agua cemento de 0.50 se utilizó 0.7% para tamaños máximos nominales de 3/4'' y con las de 1/2'' una cantidad de 0.80% de aditivo. Para el agregado de tamaño máximo nominal de 3/8'' se utilizó 0.9%. Con esto, se logró el asentamiento adecuado finalizando el primer ensayo de esta investigación.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Procesamiento de Datos (Cuadros estadísticos con su respectivo análisis e interpretación)

4.1.1. Ensayos de Resistencia a la Compresión de Testigos Cilíndricos de Concreto

La determinación de la resistencia promedio, previo al ensayo del módulo de elasticidad, se ha realizado utilizando almohadillas de neopreno tal y como lo expone la norma ASTM C-1231 y bajo los estándares de la norma ASTM C-39, donde se obtuvieron los resultados expuestos en la tabla 8.

Tabla 8

Resistencia Cilíndrica a Compresión

N°	Grupo	Módulo de Finura de la Combinación de Agregados	Resistencia		Promedio (Kg/cm2)
			Kgf	Kgf/cm2	
1	A1-R1	5.65	88520.58	497.6	491.65
2	A1-R2		85830.48	485.7	
3	A2-R1	5.2	96380.36	545.4	541.25
4	A2-R2		96183.36	537.1	
5	A3-R1	4.76	106294.1	601.5	607.75
6	A3-R2		108503	614	
7	B1-R1	5.49	79020.99	444.2	436.5
8	B1-R2		76789.1	428.8	
9	B2-R1	5.09	91220.28	516.2	508.6
10	B2-R2		89718.61	501	
11	B3-R1	4.66	98278.58	548.8	539.395
12	B3-R2		93657.18	529.99	
13	C1-R1	5.24	59782.68	338.3	339.15
14	C1-R2		86519.66	340	
15	C2-R1	4.82	71375.19	403.9	406.45
16	C2-R2		72759.08	409	
17	C3-R1	4.49	80051.9	453	460
18	C3-R2		82525.91	467	

4.1.2. Ensayo del Módulo de Elasticidad del Concreto:

Los resultados del módulo de elasticidad elaborados según lo expuesto por la norma ASTM C469 se presentan en la tabla 9 para el Grupo A; en la tabla 10 para el Grupo B y en la tabla 11 para el Grupo C.

Tabla 9

Módulo de Elasticidad de Grupo A

Grupo	Resistencia al 40% (Mpa)	Deformación Unitaria al 40%	Resistencia a 0.00005 en deformación (Mpa)	Módulo de Elasticidad	Módulo de Elasticidad Promedio
A1-1	19.35	0.000495	2.55	37717.84	
A1-2	18.86	0.000482	2.55	37770.25	37780.91
A1-3	19.10	0.000479	2.86	37854.63	
A2-1	21.46	0.000505	3.24	40061.25	
A2-2	21.18	0.000503	3.29	39474.00	39487.85
A2-3	21.27	0.000507	3.49	38928.30	
A3-1	23.37	0.000542	3.15	41113.90	
A3-2	24.01	0.000554	3.09	41540.63	41652.76
A3-3	23.74	0.000544	2.86	42303.76	

Tabla 10

Módulo de Elasticidad de Grupo B

Grupo	Resistencia al 40% (Mpa)	Deformación Unitaria al 40%	Resistencia a 0.00005 en deformación (Mpa)	Módulo de Elasticidad	Módulo de Elasticidad Promedio
B1-1	17.46	0.000459	2.67	36122.02	
B1-2	17.38	0.000456	2.68	36224.96	36140.86
B1-3	17.22	0.000453	2.67	36075.60	
B2-1	19.73	0.000481	3.12	38550.42	
B2-2	19.97	0.000484	3.29	38410.65	38636.32
B2-3	19.63	0.000471	3.24	38947.90	
B3-1	21.65	0.000501	3.37	40562.82	
B3-2	21.85	0.000507	3.37	40413.56	40363.11
B3-3	21.38	0.000500	3.35	40112.95	

Tabla 11

Módulo de Elasticidad de Grupo C

Grupo	Resistencia al 40% (Mpa)	Deformación Unitaria al 40%	Resistencia a 0.00005 en deformación (Mpa)	Módulo de Elasticidad	Módulo de Elasticidad Promedio
C1-1	13.34	0.000442	1.90	29207.12	
C1-2	12.96	0.000404	2.10	30715.03	30284.53
C1-3	12.89	0.000393	2.30	30931.43	
C2-1	16.04	0.000447	2.55	34001.56	
C2-2	16.40	0.000445	2.61	34873.74	34489.53
C2-3	16.17	0.000446	2.48	34593.30	
C3-1	18.24	0.000465	2.80	37209.63	
C3-2	18.48	0.000466	2.70	37896.48	37552.54
C3-3	17.95	0.000457	2.65	37551.51	

4.2. Contrastación de Hipótesis

La presente investigación buscó determinar la relación que existe entre el módulo de Finura de la combinación de agregados y el módulo de elasticidad de los concretos reoplásticos. Tras culminar el método científico se encontró la existencia de una relación inversa de las variables expuestas en esta tesis, donde a menor módulo de finura de la combinación de agregados se obtienen mayores módulo de elasticidad tal y como se muestra en la figura 5.

De esta manera se obtuvieron según el análisis por dispersión, denotado en la tabla 12 lo siguiente: para el grupo A de relación agua cemento 0.40, una desviación estándar de 1372.1 con un coeficiente de variación de 3.46%. A su vez, en la tabla 13 el grupo B de relación agua cemento 0.45 existe una desviación estándar de 1501.013 y un coeficiente de variación de 3.91% y en la tabla 14 para el grupo C de relación agua cemento 0.50 una desviación estándar de 2580.183 y un coeficiente de variación de 7.57%.

Tabla 12

Análisis de Dispersión del Grupo A

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>n</i>	<i>x</i>	\bar{X}	$ X - \bar{X} $	$(X - \bar{X})^2$	$\sqrt{(X - \bar{X})^2}$
1	37780.91		1859.59	3458109.38	
1	39487.85	39640.51	152.66	23304.09	2744.19
1	41652.76		2012.25	4049174.35	
3				7530587.82	
DESVIACION ESTANDAR (S)					
	$f/(a-1)$		$S =$		1372.096
VARIANZA (S²)					
	$(f^2)/(a-1)$		$S^2 =$		3765293.909
COEFICIENTE DE VARIACION (CV %)					
	$S/c * 100$		$CV \% =$		3.461

Tabla 13

Análisis de Dispersión del Grupo B

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>n</i>	<i>X</i>	\bar{X}	$ X - \bar{X} $	$(X - \bar{X})^2$	$\sqrt{(X - \bar{X})^2}$
1	36140.86		2239.244	5014175.1	
1	38636.32	38380.10	256.22	65651.19	3002.03
1	40363.11		1983.01	3932330.7	
3				9012157	
DESVIACION ESTANDAR (S)					
	$f/(a-1)$		$S =$		1501.013
VARIANZA (S²)					
	$(f^2)/(a-1)$		$S^2 =$		4506078.476
COEFICIENTE DE VARIACION (CV %)					
	$S/c * 100$		$CV \% =$		3.911

Tabla 14

Análisis de Dispersión del Grupo C

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>n</i>	<i>X</i>	\bar{X}	$ X - \bar{X} $	$(X - \bar{X})^2$	$\sqrt{(X - \bar{X})^2}$
1	30284.53		3824.34	14625588.23	
1	34489.53	34108.87	380.67	144907.7938	5160.37
1	37552.54		3443.67	11858890.47	
3				26629386.49	
DESVIACION ESTANDAR (S)					
	$f/(a-1)$		$S =$		2580.183
VARIANZA (S²)					
	$(f^2)/(a-1)$		$S^2 =$		13314693.247
COEFICIENTE DE VARIACION (CV %)					
	$S/c * 100$		$CV \% =$		7.565

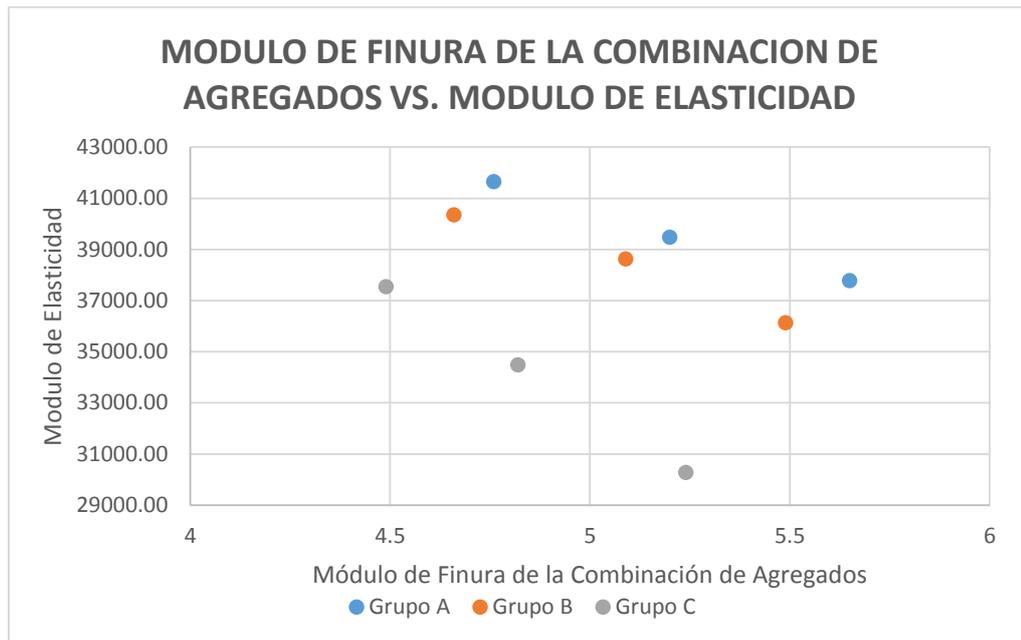


FIGURA 5.- Grafica Modulo de Finura de la Combinación de agregados vs. Módulo de Elasticidad

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Presentar la contratación de los resultados del trabajo de Investigación

La determinación de la resistencia a compresión cilíndrica y el módulo de elasticidad del concreto se realizaron en base a la norma ASTM C-39 y la norma ASTM C-469 respectivamente.

De acuerdo con los resultados del análisis, se obtuvieron mayores módulos de elasticidad a menor módulo de finura de la combinación de agregados para cada grupo de diseño de una misma relación agua cemento, cuyo comportamiento fluido en estado fresco permitió las 8 pulgadas de revenimiento. Estos resultados guardan relación con lo expuesto por Burgos (2012) en la investigación “*Variación del módulo de finura del agregado fino de 3.0 a 3.6 en concretos de mediana a baja resistencia*”, donde evaluando únicamente las propiedades de la arena, obtiene una relación inversa entre el módulo de elasticidad y el módulo de finura del agregado fino.

La justificación de este comportamiento variable del módulo de elasticidad se sostiene en la variación de la resistencia, pues tal y como concluyen Dos, De Arruda, Da Silva, De Carvalho & Mouta (2017) en la investigación “*Influence of coarse aggregate on concrete’s elasticity modulus*”, la forma más eficaz de variar el módulo de elasticidad es aumentando la resistencia del concreto más que un cambio mineralógico del agregado.

Este acontecimiento de la variación de la resistencia se debió a los factores de variación de tamaño máximo nominal del agregado grueso y a la cantidad de aditivo agregado a la mezcla para cumplir el requisito indispensable de las 8 pulgadas de asentamiento del concreto reoplástico; justificándose, de igual manera, por lo concluido por Vargas (2004) en la investigación “*Estudio del concreto de mediana a alta resistencia variando el tamaño del agregado grueso de tipo canto rodado de rio, usando aditivo superplastificante de fraguado normal*”, donde también se justifica la necesidad de la variación de la cantidad de aditivo debido a que de no ser así no se llegaría al asentamiento necesario, exponiendo que “*los concretos con*

aditivo superplastificante, al reducir el tamaño máximo del agregado grueso, también se reducen las características del concreto fresco tales como la fluidez”.

A su vez, Vargas (2004) expone que, aplicándose una cantidad constante de aditivo superplastificante la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad estático aumentarían en promedio del 15% si se reduce el tamaño máximo nominal del agregado grueso, por lo que en relación con los diseños que varían su cantidad de aditivo y varía el tamaño máximo del agregado grueso, debería obtener resultados menores de lo ya expuesto, aceptándose los coeficientes de variación obtenidos para el Grupo A de 3.46%, Grupo B de 3.91% y Grupo C de 7.57%.

Los valores obtenidos también se ven influenciados por características no relacionadas con su módulo de finura de la combinación de agregados, pues características como el porcentaje de absorción de los agregados influyeron también en los resultados obtenidos, donde al compararse con la relación que guarda con los resultados de Sánchez (2013) en la investigación “*La resistencia a la Compresión del Hormigón y su Influencia en el Módulo de Elasticidad Estático en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua*”, se observa una notable variación de la elasticidad final del concreto, recomendándose utilizar agregados de bajo nivel de porosidad para óptimos resultados.

Ello a su vez se justifica a su vez por Zhou, Lydon & Barr (1995), en la investigación “*effect of coarse aggregate on elastic modulus and compressive strength of high performance concrete*”, donde luego de analizar 6 diferentes tipos de agregado grueso, determina que “*el módulo de agregado grueso se reflejaba en el módulo de hormigón. Este último alcanzó aproximadamente el 95% de su valor de 28 días en 7 días y ganó poco en edades posteriores*”.

CONCLUSIONES

- Se determinó que el módulo de finura de la combinación de agregados aumenta conforme vaya disminuyendo la relación agua cemento y aumente el tamaño máximo nominal de piedra; de esta manera, para una misma relación agua cemento, se obtendrá un módulo de finura menor para el diseño que tenga el menor tamaño máximo nominal.
- Se consiguieron mezclas cuyo asentamiento cumplió las 8 pulgadas establecidas para ser un concreto reoplástico a partir de la aplicación del aditivo Sika Cemplastificante en porcentajes variables para una misma relación agua cemento y diferentes tamaño máximo nominal.
- Se determinó que para los concretos reoplásticos de relación agua cemento de 0.40, 0.45 y 0.50 un coeficiente de variación de 3.46%, 3.91% y 7.57% respectivamente.
- Para concretos reoplásticos elaborados con aditivo superplastificante y de asentamiento de 8 pulgadas, se obtuvieron mayores módulos de elasticidad a menor módulo de finura de la combinación de agregados para una misma relación agua cemento, siendo así una relación inversa entre ambas características.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que estudios similares se realicen en otras regiones del Perú, para la obtención de variables módulo de finura de la combinación de agregados y relaciones agua cemento expuestos a otros factores climáticos.
- Se recomienda estudiar la evolución en el tiempo de los módulos de elasticidad y resistencias a la compresión del concreto.
- Se recomienda utilizar los valores obtenidos en el presente estudio y posteriormente compararlo con lo expuesto para su obtención por el American Concrete Institute en el análisis de estructuras de concreto armado.
- Se recomienda determinar la relación que existe entre el módulo de finura de la combinación de agregados y el módulo de elasticidad dinámico del concreto reoplástico en la ciudad de Trujillo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

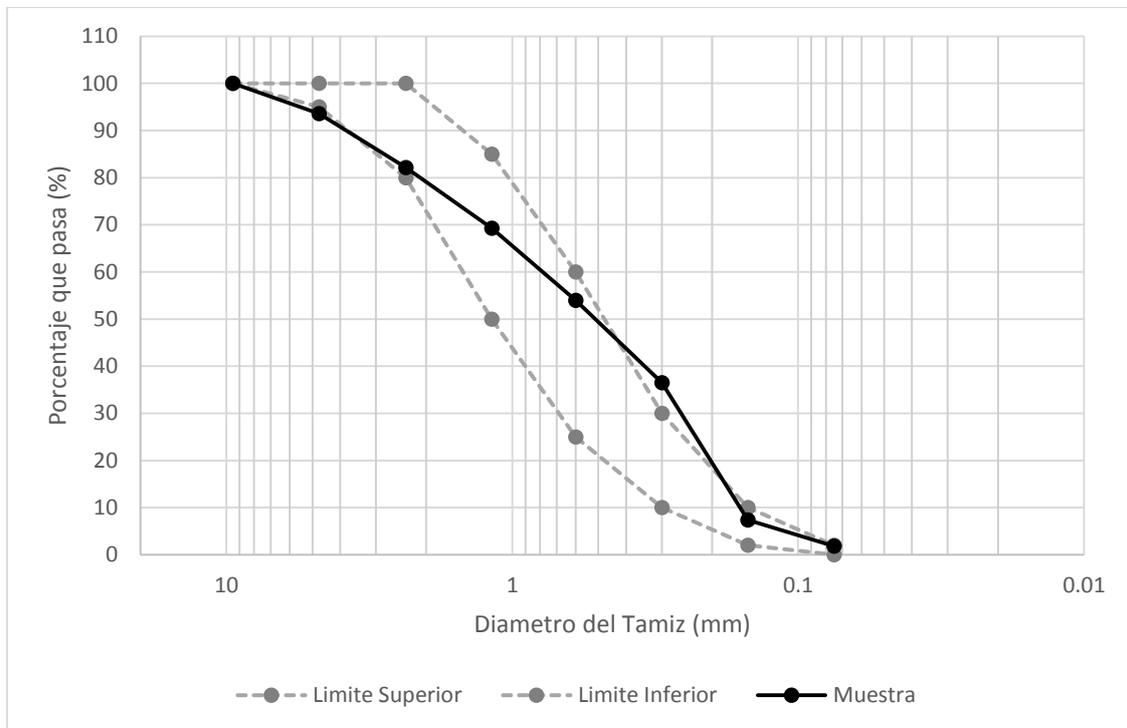
1. Carbajal, E. P. (2da ed.) (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto* (pp. 129). Lima, Perú: Editorial Limusa,
2. Rivva Lopez, E. (2013). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 24 – 25.
3. ASTM. (1994). Norma C469, *Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression*. Editorial Annual book of ASTM standards.
4. Rivva, L. P. (2000) *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima, Perú. Edicion Capitulo Peruano A.C.I.
5. Harmsen, T. E. (2005) *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Editorial PUCP, pp. 33
6. Neville Y Brown J.J. (2da ed.) (2000) *Tecnología del Concreto*. Edición: Edinburgh Gate.
7. Astm, C. (2004). Norma C39, *Standard test method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Editorial Annual book of ASTM standards
8. Astm, C. (2003). Norma C31, *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. Editorial Annual book of ASTM standards
9. Astm. C. (1999). Norma C33, *Standard Specification of Concrete Aggregates*. Editorial Annual book of ASTM standards

ANEXOS

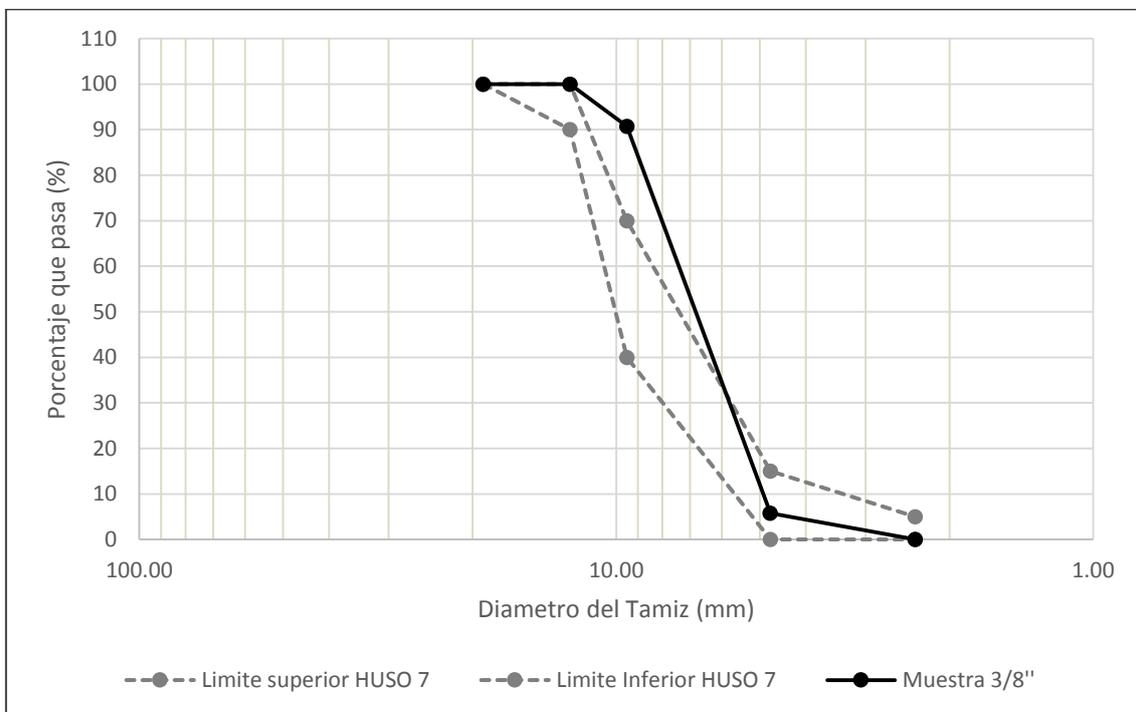
ANEXO N°1

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS
AGREGADOS

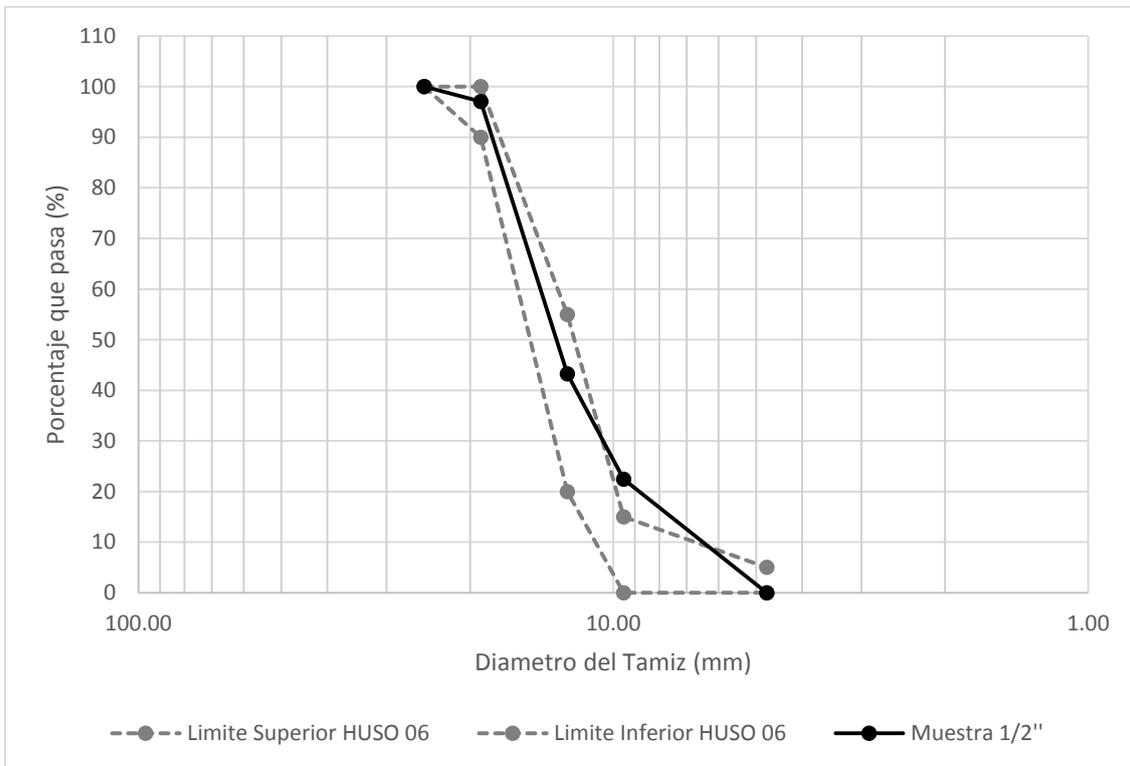
ENSAYO:		Análisis Granulométrico del Agregado Fino			
ORIGEN:		Cantera Silva			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:		N°4	MODULO DE FINURA:	2.57	
PESO DE MUESTRA INICIAL (gr.):		1000	PESO DE MUESTRA FINAL (gr.):	996.7	
Perdida de muestra (%):		0.33	NORMA:	NTP 400.037	
Tamiz	Peso(gr)	% Retenido (gr.)	% Retenido Acumulado (gr.)	% que Pasa	LIMITES ASTM C-33 % QUE PASA
3/8"	0	0	0	100	100 --- 100
N°4	63.8	6.4	6.4	93.6	100 --- 95
N°8	114.3	11.47	17.87	82.13	100 --- 80
N°16	128.1	12.85	30.72	69.28	85 --- 50
N°30	152.7	15.32	46.04	53.96	60 --- 25
N°50	174.3	17.49	63.53	36.47	30 --- 10
N°100	290.2	29.12	92.65	7.35	10 --- 2
N°200	55	5.52	98.16	1.84	2 --- 0
Fondo	18.3	1.84	100	0	-
Σ	996.7	100	-	-	-



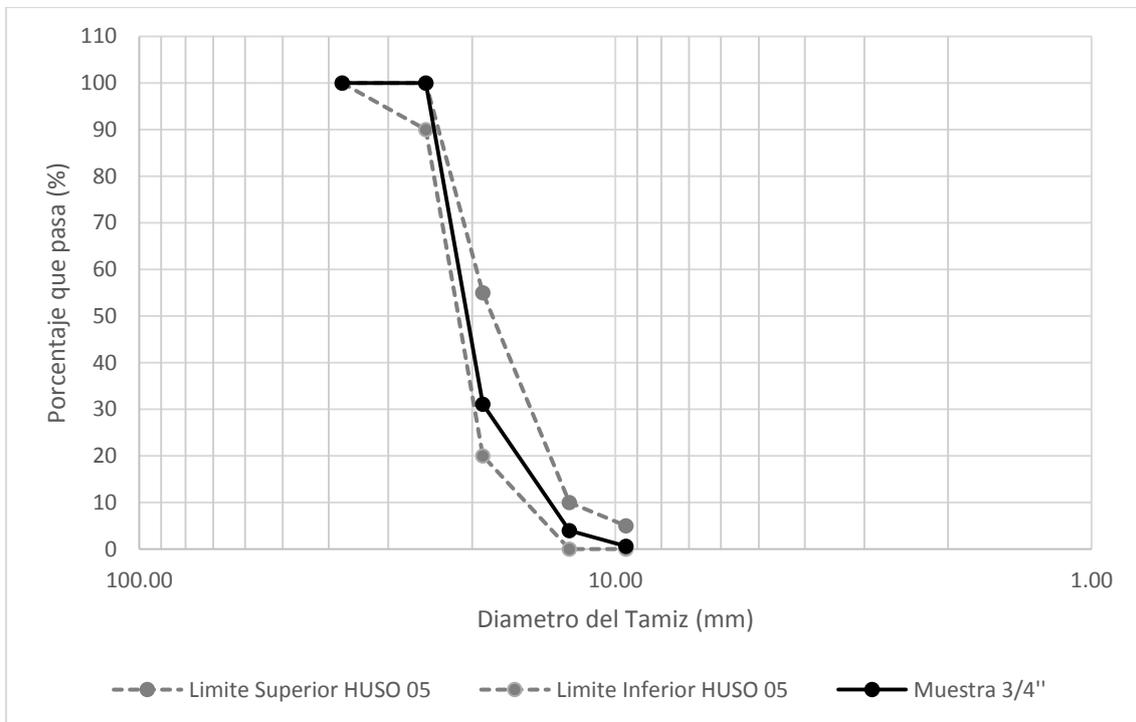
ENSAYO:		Análisis Granulométrico del Agregado Grueso 3/8"			
ORIGEN:		Cantera Silva			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:		3/8"	MODULO DE FINURA:		6.04
PESO DE MUESTRA INICIAL (gr.):		2000	PESO DE MUESTRA FINAL (gr.):		1998.99
Perdida de muestra (%):		0.05	NORMA:		NTP 400.012
Tamiz	Peso(gr)	% Retenido (gr.)	% Retenido Acumulado (gr.)	% que Pasa	LIMITES ASTM C-33 % QUE PASA
1 1/2"	37.5	0	0	100	-
1"	0	0	0	100	-
3/4"	0	0	0	100	100 --- 100
1/2"	0	0	0	100	100 --- 90
3/8"	185.59	9.28	9.28	90.71	70 ---40
N°4	1699.21	85	94.28	5.71	15 --- 0
N°8	114.16	5.71	99.99	0	5 --- 0
BANDEJA	0.03	0	99.99	0	-
Σ	1998.99	99.99	-	-	-



ENSAYO:		Análisis Granulométrico del Agregado Grueso 1/2"			
ORIGEN:		Cantera Silva			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:		1/2"	MODULO DE FINURA:	6.8	
PESO DE MUESTRA INICIAL (gr.):		2000	PESO DE MUESTRA FINAL (gr.):	1998.8	
Perdida de muestra (%):		0.06	NORMA:	NTP 400.037	
Tamiz	Peso(gr)	% Retenido (gr.)	% Retenido Acumulado (gr.)	% que Pasa	LIMITES ASTM C-33 % QUE PASA
1"	0	0	0	100	100 --- 100
3/4"	58.1	2.91	2.91	97.04	100 --- 90
1/2"	1075.3	53.8	56.71	43.24	55 --- 20
3/8"	416.3	20.83	77.54	22.41	15 --- 0
N°4	447.9	22.41	99.95	0	5 --- 0
N°8	0	0	99.95	0	-
BANDEJA	1.2	0	99.95	0	-
Σ	1998.8	99.95	-	-	-



ENSAYO:		Análisis Granulométrico del Agregado Grueso 3/4"			
ORIGEN:		Cantera Silva			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:		3/4"	MODULO DE FINURA:		7.68
PESO DE MUESTRA INICIAL (gr.):		5000.1	PESO DE MUESTRA FINAL (gr.):		4998.1
Perdida de muestra (%):		0.04	NORMA:		NTP 400.037
Tamiz	Peso(gr)	% Retenido (gr.)	% Retenido Acumulado (gr.)	% que Pasa	LIMITES ASTM C-33 % QUE PASA
1 1/2"	0	0	0	100	100 --- 100
1"	0	0	0	100	100 --- 90
3/4"	3445.2	68.93	68.93	31.07	55 ---20
1/2"	1353.4	27.08	96.01	3.99	10 --- 0
3/8"	169.1	3.38	99.39	0.61	5 --- 0
N°4	26.6	0.53	99.92	0.08	-
N°8	2.3	0.05	99.97	0.03	-
BANDEJA	1.5	0.03	100	0	-
Σ	4998.1	100	-	-	



ENSAYO:	Determinación del Contenido de Humedad, Absorción y Peso Específico del Agregado Fino		
ORIGEN:	Cantera Silva		
NORMA:	ASTM C-566, ASTM C128		
DATO	CORRESPONDECIA	UNIDAD	VALOR
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION			
A	PESO SECO EN EL AIRE	g/cm ³	55.4.84
B	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	g/cm ³	569.41
C	PESO DE MUESTRA SUMERGIDA	g/cm ³	350
D= A/(B-C)	PESO ESPECIFICO SECO	g/cm ³	2.53
E= B/(B-C)	PESO ESPECIFICO APARENTEMENTE SATURADO	g/cm ³	2.6
F= A/(A-C)	PESO ESPECIFICO NOMINAL	g/cm ³	2.71
G= (B-A)/A *100	PORCENTAJE DE ABSORCION	%	2.63
CONTENIDO DE HUMEDAD			
I	MASA INICIAL DE MUESTRA	gr	33.72
J	PESO DE MUESTRA SATURADA + CANASTILLA	gr	50.9
K	PESO DE MUESTRA SECA + CANASTILLA	gr	50.41
L =K-J	PESO DEL AGUA	gr	0.49
M	PESO DE CANASTILLA	gr	17.19
N	PESO DE MUESTRA SECO	gr	33.22
P=(I-N)/I *100	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.48

ENSAYO:	Determinación del Contenido de Humedad, Absorción y Peso Específico del Agregado Grueso 3/8"		
ORIGEN:	Cantera Silva		
NORMA:	ASTM C-566, ASTM C128		
DATO	CORRESPONDECIA	UNIDAD	VALOR
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION			
A	PESO SECO EN EL AIRE	g/cm ³	4961.3
B	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	g/cm ³	5064.2
C	PESO DE MUESTRA SUMERGIDA	g/cm ³	3088
D= A/(B-C)	PESO ESPECIFICO SECO	g/cm ³	2.51
E= B/(B-C)	PESO ESPECIFICO APARENTEMENTE SATURADO	g/cm ³	2.56
F= A/(A-C)	PESO ESPECIFICO NOMINAL	g/cm ³	2.65
G= (B-A)/A *100	PORCENTAJE DE ABSORCION	%	2.07
CONTENIDO DE HUMEDAD			
J	MASA INICIAL DE LA MUESTRA	gr	5000
K	MASA DE MUESTRA SECA	gr	4961.03
L= (J-K) / J	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.77

ENSAYO:	Determinación del Contenido de Humedad, Absorción y Peso Específico del Agregado Grueso 1/2"		
ORIGEN:	Cantera Silva		
NORMA:	ASTM C-566, ASTM C128		
DATO	CORRESPONDECIA	UNIDAD	VALOR
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION			
A	PESO SECO EN EL AIRE	g/cm ³	4975.3
B	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	g/cm ³	5027.6
C	PESO DE MUESTRA SUMERGIDA	g/cm ³	3102
D= A/(B-C)	PESO ESPECIFICO SECO	g/cm ³	2.58
E= B/(B-C)	PESO ESPECIFICO APARENTEMENTE SATURADO	g/cm ³	2.61
F= A/(A-C)	PESO ESPECIFICO NOMINAL	g/cm ³	2.66
G= (B-A)/A *100	PORCENTAJE DE ABSORCION	%	1.05
CONTENIDO DE HUMEDAD			
J	MASA INICIAL DE LA MUESTRA	gr	5000
K	MASA DE MUESTRA SECA	gr	4975.3
L= (J-K) / J	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.49

ENSAYO:	Determinación del Contenido de Humedad, Absorción y Peso Específico del Agregado Grueso 3/4"		
ORIGEN:	Cantera Silva		
NORMA:	ASTM C-566, ASTM C128		
DATO	CORRESPONDECIA	UNIDAD	VALOR
GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION			
A	PESO SECO EN EL AIRE	g/cm ³	4984.6
B	PESO SUPERFICIALMENTE SECO	g/cm ³	5044.2
C	PESO DE MUESTRA SUMERGIDA	g/cm ³	3116
D= A/(B-C)	PESO ESPECIFICO SECO	g/cm ³	2.59
E= B/(B-C)	PESO ESPECIFICO APARENTEMENTE SATURADO	g/cm ³	2.62
F= A/(A-C)	PESO ESPECIFICO NOMINAL	g/cm ³	2.67
G= (B-A)/A *100	PORCENTAJE DE ABSORCION	%	1.2
CONTENIDO DE HUMEDAD			
J	MASA INICIAL DE LA MUESTRA	gr	5000
K	MASA DE MUESTRA SECA	gr	4984.6
L= (J-K) / J	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.33

ANEXO N°2

DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO DE MODULO DE
FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

A continuación se presenta el proceso de diseño de mezcla según los pasos realizados para el diseño de mezcla de un concreto 0.4 de 1/2'', respetando las características presentadas anteriormente de los agregados:

Paso 01.- Resistencia Promedio Requerida

F'cr=	F'c + F'r
<210	F'c + 70
210 - 350	F'c + 84
>350	F'c + 98

Donde:

F'c= Resistencia Especifica del Concreto

F'cr= Resistencia Promedio Requerida

Considerando que para una relación agua cemento 0.4 obtenemos un concreto de resistencia 433 kg/cm², usaremos el tercer caso presentado en la tabla:

$$F'cr = 433 + 98 = 531 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 2- Selección del asentamiento

Para la presente investigación, como se desea trabajar con concretos reoplásticos donde se mejore la viscosidad a partir de aditivo, se diseñó con un asentamiento de **4 pulgadas**

Paso 3.- Volumen Unitario de Agua por m³. Agua en lt/m³

ASENTAM.	SIN AIRE INCORPORADO							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1' a 2'	207	199	190	179	166	154	130	113
3' a 4'	228	216	205	193	181	169	145	124
6' a 7'	243	228	216	202	190	178	160	---
ASENTAM.	CON AIRE INCORPORADO							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1' a 2'	181	175	168	160	150	142	122	107
3' a 4'	202	193	184	184	165	157	133	119
6' a 7'	216	205	197	197	174	166	154	---

Considerando que para el presente diseño se esta utilizando piedra de 1/2" y un asentamiento de 6 pulgadas, entonces el volumen de agua será: **216 lt/m³**

Paso 4.- Contenido de Aire Atrapado

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
TMN DEL AG. GRUESO	%
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5

1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

A partir de este cuadro y del tamaño máximo nominal de 1/2" obtenemos un valor del contenido de aire atrapado de: **2.5 %**

Paso 5.- Relación AGUA/CEMENTO:

f'cr kg/cm2	RELACION AGUA/CEMENTO EN PESO	
	concreto sin aire incorporado	concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	...
420	0.41	...
450	0.38	...

Para la obtención de la relación agua cemento, previamente se consideró una relación agua cemento de **0.40** dando así una resistencia de **433 kg/cm2**

Paso 6.- Factor de cantidad de Cemento:

En el presente paso, se procede a dividir la cantidad de agua diseñada en el paso 3 entre la relación agua cemento, dando así:

$$228 / 0.4 = \mathbf{540 \text{ kg/m}^3}$$

Para el presente método, es necesario conocer la cantidad de cemento en bolsas necesarias siendo la cantidad por bolsa de 42.5 kg; dando así una cantidad de bolsas de **12.71 bls/m³**.

Paso 7.- Volúmenes Absolutos:

Para diseñar la cantidad de agregados necesario para la mezcla se necesita conocer el volumen sobrante a partir del volumen que ya abarca el cemento, agua y aire; de tal forma que se dividirá la cantidad de material diseñada entre el peso específico respectivo de cada uno:

$$\text{Cemento} = (540/3.02)/1000 = 0.1788 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 216/1000 = 0.216 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 2.5/ 100 = 0.028 \text{ m}^3$$

$$\text{VOLUMEN TOTAL DE} = 0.4198 \text{ m}^3$$

Dando así, un volumen sobrante para agregados de **0.580 m³**

PASO 08.- Modulo de Finura de la Combinación de Agregados

Para la obtención de los agregados, el presente método considera un valor a partir de la cantidad de cemento con el tamaño máximo nominal de piedra, que permitirá tras una ecuación determinar la cantidad de agregados necesarios.

Para obtener este valor se aplica la tabla expuesta a continuación, que consideraba únicamente concretos estándares. Por tal motivo, se decidió interpolar para obtener los valores de los concretos cuyas características de diseño requieran de mayor cantidad de cemento. De esta manera, da origen a los valores cuya cantidad de bolsa de cemento es de 10 a 15.

TMN DEL AGREGADO GRUESO	MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS QUE DA LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJABILIDAD PARA LOS CONTENIDOS DE CEMENTO EN M3 INDICADOS									
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19	4.27	4.57	4.65	4.73	4.80	4.88
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69	4.77	5.07	5.15	5.23	5.30	5.38
3/4"	4.96	5.04	5.1	5.19	5.27	5.57	5.65	5.73	5.80	5.88
1"	5.26	5.34	5.41	5.49	5.57	5.87	5.95	6.03	6.10	6.18
1 1/2"	5.56	5.64	4.71	5.79	5.87	6.17	6.25	6.33	6.40	6.48
2"	5.86	5.94	6.01	6.09	6.17	6.47	6.55	6.63	6.70	6.78
3"	6.16	6.24	6.31	6.39	6.47	6.77	6.85	6.93	7.00	7.08

De esta manera, e interpolando datos, obtenemos que para una cantidad de 13.41 bolsas de cemento con piedra de 1/2'' se obtiene un módulo de finura de la combinación de agregados de **5.2**

Paso 9.- Porcentaje de Agregado Fino:

Para la obtención de la cantidad de agregado fino, el presente método considera una ecuación a partir de los módulos de finura del agregado fino y grueso y al obtenido en el paso 8, siendo la ecuación la siguiente:

$$\%C.F = \frac{m_g - m}{m_g - m_r} \times 100$$

Donde:

C.F= cantidad de agregado fino

mg= módulo de finura del agregado fino

mr = módulo de finura del agregado grueso

m = módulo de finura de la combinación de agregados

Entonces:

$$\%C.F = \frac{6.8 - 5.2}{6.8 - 2.57} \times 100 = 37.825\%$$

Paso 10.- Volúmenes Absolutos de los agregados:

A partir de la cantidad de agregado fino necesario en porcentaje, multiplicamos la cantidad de volumen sobrante entre la cantidad obtenida para los agregados en porcentaje:

$$\text{Agregado Fino: } 0.580 \times 0.378 = \mathbf{0.219 \text{ m}^3}$$

$$\text{Agregado Grueso: } 0.580 \times 0.621 = \mathbf{0.361 \text{ m}^3}$$

Paso 11.- Peso Seco de los Agregados:

Obtenemos los pesos respectivos de los agregados a partir de su peso seco:

$$\text{Agregado Fino} = 0.219 \times 2.53 \times 1000 = \mathbf{555.229 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 0.361 \times 2.58 \times 1000 = \mathbf{930.694 \text{ kg/m}^3}$$

Paso 12.- Valores de diseño sin Correcciones:

Resumen:

$$\text{Cemento} = 540 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 216 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = 555.23 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 930.69 \text{ kg/m}^3$$

Paso 13.- Corrección por Humedad y Absorción:

Corrección= humedad – Absorción:

$$\text{Agregado Fino} = 1.48 - 2.63 = -1.15\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 0.49 - 1.05 = -0.56\%$$

Aporte por Humedad:

$$\text{Agregado Fino} = 555.23 \times (-1.15/100) = -6.385 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 930.69 \times (-0.56/100) = -5.212 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{SUMATORIA DE APORTE POR HUMEDAD} = -11.597 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Entonces: el agua efectiva ser\'a} = 216 - (-11.597) = 227.6 \text{ lt/m}^3$$

Paso 14.- Resumen de Proporciones:

$$\text{Cemento} = 540 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 227.60 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = 563.45 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 935.25 \text{ kg/m}^3$$

A partir del presente ejemplo pr\'actico, se presenta la metodolog\'ia realizada para la obtenci\'on del dise\~no de mezcla para las relaciones agua- cemento 0.50, 0.45 y 0.40 con agregado fino y agregado grueso de 3/8", 1/2" y 3/4" de la Cantera Silva de piedra chancada que cumplieron con las 8" de asentamiento usando aditivo superplastificante Sika Cem plastificante, a partir del mismo proceso metodol\'ogico, dando como resultado lo presentado en la tabla 6.

ANEXO N°3

CARACTERISTICAS DE TESTIGOS CILINDRICOS DE
CONCRETO

GRUPO	Módulo de Finura de la Combinación de Agregados	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	MASA (Kg)
A1-R1	5.65	30	15.05	177.9	13.05
A1-R2		29.9	15	176.72	13.367
A1-1		30	15	176.72	13.281
A1-2		30	15.05	177.9	13.15
A1-3		30	15.05	177.9	13.212
A2-R1	5.2	30	15	176.72	12.634
A2-R2		29.95	15.1	179.08	12.744
A2-1		30	15	176.72	12.689
A2-2		30	15	176.72	12.852
A2-3		30	15.05	177.9	12.73
A3-R1	4.76	30	15	176.72	12.651
A3-R2		29.9	15	176.72	12.511
A3-1		30	15	176.72	12.721
A3-2		29.95	15	176.72	12.543
A3-3		30	15.05	177.9	12.607

GRUPO	Módulo de Finura de la Combinación de Agregados	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	MASA (Kg)
B1-R1	5.49	30	15.05	177.9	13.175
B1-R2		29.95	15.1	179.08	12.59
B1-1		30	15.1	179.08	13.084
B1-2		30	15	176.72	12.945
B1-3		30	15.05	177.9	12.949
B2-R1	5.09	29.9	15	176.72	12.688
B2-R2		29.9	15.1	179.08	12.59
B2-1		29.95	15	176.72	12.704
B2-2		30	15.05	177.9	12.678
B2-3		30	15	176.72	12.665
B3-R1	4.66	30	15.1	179.08	12.498
B3-R2		30	15	176.72	12.62
B3-1		30	15	176.72	12.547
B3-2		30	15.05	177.9	12.649
B3-3		30	15	176.72	12.579

GRUPO	Módulo de Finura de la Combinación de Agregados	ALTURA (cm)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	MASA (Kg)
C1-R1	5.24	30	15	176.72	12.844
C1-R2		29.9	15.05	177.9	12.974
C1-1		30	15	176.72	12.954
C1-2		30	15.05	177.9	12.882
C1-3		29.95	15	176.72	12.914
C2-R1	4.82	30	15	176.72	12.683
C2-R2		30	15.05	177.9	12.791
C2-1		30	15.05	177.9	12.808
C2-2		30	15	176.72	12.697
C2-3		29.95	15	176.72	12.745
C3-R1	4.49	30	15.05	177.9	12.372
C3-R2		30	15	176.72	12.649
C3-1		30	15	176.72	12.535
C3-2		30	15	176.72	12.621
C3-3		30	15.05	177.9	12.544

ANEXO N°4

FICHA TECNICA DE ADITIVO SIKA CEMPLASTIFICANTE



HOJA TÉCNICA

Sika® Cem Plastificante

Super plastificante para mezclas de Concreto Y Mortero

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Cem Plastificante es un aditivo súper plastificante para mezclas de concreto, permite una reducción de agua de hasta 20% según la dosificación utilizada.

Sika® Cem Plastificante no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

USOS

Sika® Cem está particularmente indicado para:

- Todo tipo de mezclas de concreto o mortero que requiera reducir agua, mejorar la trabajabilidad (fluidéz del concreto) o ambos casos para lograr reducir costos de: mano de obra, materiales (cemento) y/o tiempo.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® Cem Plastificante tiene las siguientes ventajas:

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Mejores acabados.
- Mayor adherencia al acero.
- Mejor trabajabilidad (fluidéz) en el tiempo.
- Permite reducir hasta el 20% del agua de la mezcla.
- Aumenta la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- Ayuda a reducir la formación de cangrejas.

NORMAS

ESTÁNDARES

Sika® Cem Plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y tipo G.

DATOS BÁSICOS

FORMA

COLORES

Pardo oscuro.

PRESENTACIÓN

- Envase PET x 4 L
- Balde x 20 L

ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1,20 kg/L ± 0,02 USGBC VALORACIÓN LEED Sika® Cem Plastificante cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS <ul style="list-style-type: none"> ▪ Como plastificante: 250 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg. ▪ Como superplastificante: hasta 500 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Adicionar a la mezcla de concreto preferentemente una vez amasado y haciendo un re-mezclado de al menos 1 minuto por cada tanda. PRECAUCIONES Limpie todas la herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
BASES	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.
INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE	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. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. 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 N° 2
la misma que deberá ser destruida"**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Cem Plastificante :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro Industrial "Las Praderas"
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y
6, Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
Sika® Cem Plastificante
22.01.15, Edición 3

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



© 2014 Sika Perú S.A.



ANEXO N°5

FICHA TECNICA DEL CEMENTO FORMITAX

**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Piura Paita Km. 3 - Piura - Piura
Teléfono 317 - 6000

G-CC-F-04
Versión 03

CEMENTO ANTISALITRE NUEVA FÓRMULA **FORTIMAX3**
Cemento Portland Tipo MS (MH) (R)

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157

Piura, 21 de Septiembre del 2017

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	7	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.049	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	4050	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	2.9	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.02	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	24.3 (248)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	30.0 (306)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	36.3 (371)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	146	Mínimo 45
Fraguado Final	min	283	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero Edad 14 días			
Expansión Barra de Mortero Edad 14 días	%	0.011	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato Edad 6 meses			
Expansión por Sulfato Edad 6 meses	%	0.034	Máximo 0.10
Calor de Hidratación a 7 Días			
Calor de Hidratación a 7 Días	Kcal/Kg	70	Máximo 70

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017 El ensayo de Expansión por Sulfatos corresponde al mes de enero 2017.
El ensayo de calor de hidratación corresponde al mes de julio 2017.
(*) Requisito opcional.

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

ANEXO N°7

ASTM C-469.- MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL
MÓDULO ESTÁTICO DE ELASTICIDAD Y LA RELACIÓN DE
POISSON DEL HORMIGÓN EN LA COMPRESIÓN



Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression¹

This standard is issued under the fixed designation C 469; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of (1) chord modulus of elasticity (Young's) and (2) Poisson's ratio of molded concrete cylinders and diamond-drilled concrete cores when under longitudinal compressive stress. Chord modulus of elasticity and Poisson's ratio are defined in Terminology E 6.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²

C 39/C 39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens²

C 42/C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²

C 174/C 174M Test Method for Measuring Thickness of Concrete Elements Using Drilled Concrete Cores²

C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing³

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer³

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁴

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Aug. 10, 2002. Published October 2002. Originally published as C469 – 61. Last previous edition C469 – 94¹.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

3. Significance and Use

3.1 This test method provides a stress to strain ratio value and a ratio of lateral to longitudinal strain for hardened concrete at whatever age and curing conditions may be designated.

3.2 The modulus of elasticity and Poisson's ratio values, applicable within the customary working stress range (0 to 40 % of ultimate concrete strength), are used in sizing of reinforced and nonreinforced structural members, establishing the quantity of reinforcement, and computing stress for observed strains.

3.3 The modulus of elasticity values obtained will usually be less than moduli derived under rapid load application (dynamic or seismic rates, for example), and will usually be greater than values under slow load application or extended load duration, given other test conditions being the same.

4. Apparatus

4.1 *Testing Machine*—Use a testing machine capable of imposing a load at the rate and of the magnitude prescribed in 6.4. The machine shall conform to the requirements of Practices E 4 (Constant-Rate-of-Traverse CRT-Type Testing Machines section). The spherical head and bearing blocks shall conform to the Apparatus Section of Test Method C 39/C 39M.

4.2 *Compressometer*⁵—For determining the modulus of elasticity use a bonded (Note 1) or unbonded sensing device that measures to the nearest 5 millionths the average deformation of two diametrically opposite gage lines, each parallel to the axis, and each centered about midheight of the specimen. The effective length of each gage line shall be not less than three times the maximum size of the aggregate in the concrete nor more than two thirds the height of the specimen; the preferred length of the gage line is one half the height of the specimen. Either use gage points embedded in or cemented to the specimen, and read deformation of the two lines independently; or use a compressometer (such as is shown in Fig. 1) consisting of two yokes, one of which (see B, Fig. 1) is rigidly attached to the specimen and the other (see C, Fig. 1) attached at two diametrically opposite points so that it is free to rotate.

⁵ Copies of working drawings of strain measuring apparatus are available from ASTM International Headquarters, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428. Request adjunct No. ADJC0469.

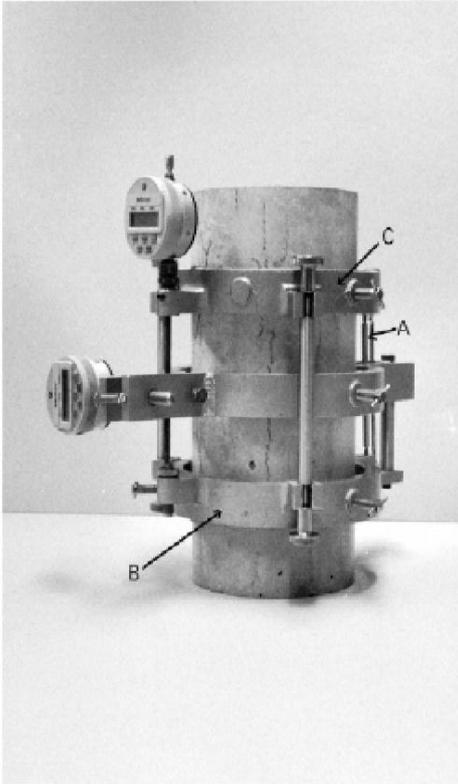
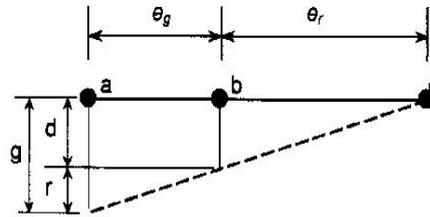


FIG. 1 Sutable Compressometer

At one point on the circumference of the rotating yoke, midway between the two support points, use a pivot rod (see A, Fig. 1) to maintain a constant distance between the two yokes. At the opposite point on the circumference of the rotating yoke, the change in distance between the yokes (that is, the gage reading) is equal to the sum of the displacement due to specimen deformation and the displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod (see Fig. 2).

4.2.1 Measure deformation by a dial gage used directly or with a lever multiplying system, by a wire strain gage, or by a linear variable differential transformer. If the distances of the pivot rod and the gage from the vertical plane passing through the support points of the rotating yoke are equal, the deformation of the specimen is equal to one-half the gage reading. If these distances are not equal, calculate the deformation as follows:

$$d = g e_r / (e_r + e_g) \quad (1)$$



d = displacement due to specimen deformation
 r = displacement due to rotation of the yoke about the pivot rod
 a = location of gage
 b = support point of the rotating yoke
 c = location of pivot rod
 g = gage reading

FIG. 2 Diagram of Displacements

where:

- d = total deformation of the specimen throughout the effective gage length, $\mu\text{in.} (\mu\text{m})$,
- g = gage reading, $\mu\text{in.} (\mu\text{m})$,
- e_r = the perpendicular distance, measured in inches (millimetres) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the pivot rod to the vertical plane passing through the two support points of the rotating yoke, and
- e_g = the perpendicular distance, measured in inches (millimetres) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the gage to the vertical plane passing through the two support points of the rotating yoke.

Procedures for calibrating strain-measuring devices are given in Practice E 83.

NOTE 1—Although bonded strain gages are satisfactory on dry specimens, they may be difficult, if not impossible, to mount on specimens continually moist-cured until tested.

4.3 *Extensometer*⁵—If Poisson's ratio is desired, the transverse strain shall be determined (1) by an unbonded extensometer capable of measuring to the nearest 25 $\mu\text{in.} (0.635 \mu\text{m})$ the change in diameter at the midheight of the specimen, or (2) by two bonded strain gages (Note 1) mounted circumferentially at diametrically opposite points at the midheight of the specimen and capable of measuring circumferential strain to the nearest 5 millionths. A combined compressometer and extensometer (Fig. 3) is a convenient unbonded device. This apparatus shall contain a third yoke (consisting of two equal segments) located halfway between the two compressometer yokes and attached to the specimen at two diametrically opposite points. Midway between these points use a short pivot rod (A', see Fig. 3), adjacent to the long pivot rod, to maintain a constant distance between the bottom and middle yokes. Hinge the middle yoke at the pivot point to permit rotation of the two segments of the

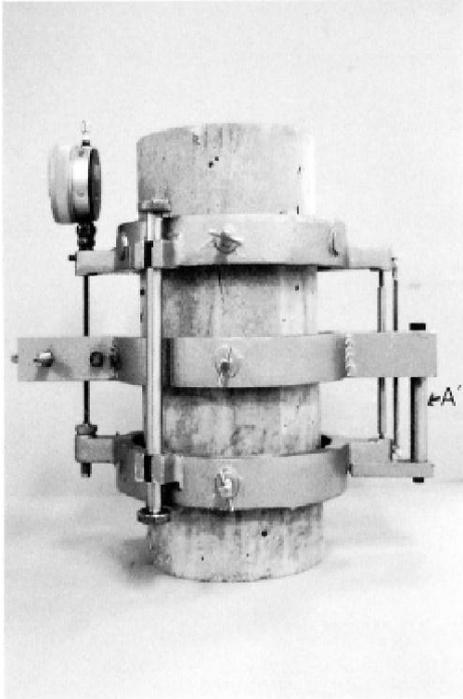


FIG. 3 Suitable Combined Compressometer-Extensometer

yoke in the horizontal plane. At the opposite point on the circumference, connect the two segments through a dial gage or other sensing device capable of measuring transverse deformation to the nearest 50 $\mu\text{in.}$ (1.27 μm). If the distances of the hinge and the gage from the vertical plane passing through the support points of the middle yoke are equal, the transverse deformation of the specimen diameter is equal to one-half the gage reading. If these distances are not equal, calculate the transverse deformation of the specimen diameter in accordance with Eq 2.

$$d' = g' e'_h / (e'_h + e'_g) \quad (2)$$

where:

d' = transverse deformation of the specimen diameter, $\mu\text{in.}$ (μm),

g' = transverse gage reading, $\mu\text{in.}$ (μm),

e'_h = the perpendicular distance, measured in inches (millimeters) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the hinge to the vertical plane passing through the support points of the middle yoke, and

e'_g = the perpendicular distance, measured in inches (millimeters) to the nearest 0.01 in. (0.254 mm) from the gage to the vertical plane passing through the support points of the middle yoke.

4.4 *Balance or Scale*, accurate to 0.1 lb (0.045 kg) shall be used if necessary.

5. Test Specimens

5.1 *Molded Cylindrical Specimens*—Mold test cylinders in accordance with the requirements for compression test specimens in Practice C 192/C 192M, or in Practice C 31/C 31M. Subject specimens to the specified curing conditions and test at the age for which the elasticity information is desired. Test specimens within 1 h after removal from the curing or storage room. Specimens removed from a moist room for test shall be kept moist by a wet cloth covering during the interval between removal and test.

5.2 *Drilled Core Specimens*—Cores shall comply with the requirements for drilling, and moisture conditioning applicable to compressive strength specimens in Test Method C 42/C 42M, except that only diamond-drilled cores having a length-to-diameter ratio greater than 1.50 shall be used. Requirements relative to storage and to ambient conditions immediately prior to test shall be the same as for molded cylindrical specimens.

5.3 The ends of the test specimens shall be made perpendicular to the axis ($\pm 0.5^\circ$) and plane (within 0.002 in.). If the specimen as cast does not meet the planeness requirements, planeness shall be accomplished by capping in accordance with Practice C 617, or by lapping, or by grinding. It is not prohibited to repair aggregate popouts that occur at the ends of specimens, provided the total area of popouts does not exceed 10% of the specimen area and the repairs are made before capping or grinding is completed (Note 2). Planeness will be considered within tolerance when a 0.002 in. (0.05 mm) feeler gage will not pass between the specimen surface and a straight edge held against the surface.

NOTE 2—Repairs may be made by epoxying the dislodged aggregate back in place or by filling the void with capping material and allowing adequate time for it to harden.

5.4 Measure the diameter of the test specimen by caliper to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) by averaging two diameters measured at right angles to each other near the center of the length of the specimen. Use this average diameter to calculate the cross-sectional area. Measure and report the length of a molded specimen, including caps, to the nearest 0.1 in. (2.54 mm). Measure the length of a drilled specimen in accordance with Test Method C 174/C 174M; report the length, including caps, to the nearest 0.1 in. (2.54 mm).

6. Procedure

6.1 Maintain the ambient temperature and humidity as constant as possible throughout the test. Record any unusual fluctuation in temperature or humidity in the report.

6.2 Use companion specimens to determine the compressive strength in accordance with Test Method C 39/C 39M prior to the test for modulus of elasticity.

6.3 Place the specimen, with the strain-measuring equipment attached, on the lower platen or bearing block of the testing machine. Carefully align the axis of the specimen with the center of thrust of the spherically-seated upper bearing block. Note the reading on the strain indicators. As the

spherically-seated block is brought slowly to bear upon the specimen, rotate the movable portion of the block gently by hand so that uniform seating is obtained.

6.4 Load the specimen at least twice. Do not record any data during the first loading. Base calculations on the average of the results of the subsequent loadings (Note 3).

NOTE 3—At least two subsequent loadings are recommended so that the repeatability of the test may be noted.

During the first loading, which is primarily for the seating of the gages, observe the performance of the gages (Note 4) and correct any unusual behavior prior to the second loading. Obtain each set of readings as follows: Apply the load continuously and without shock. Set testing machines of the screw type so that the moving head travels at a rate of about 0.05 in. (1.25 mm)/min when the machine is running idle. In hydraulically operated machines, apply the load at a constant rate within the range 35 ± 5 psi (241 ± 34 kPa)/s. Record, without interruption of loading, the applied load and longitudinal strain at the point (1) when the longitudinal strain is 50 millionths and (2) when the applied load is equal to 40 % of the ultimate load (see 6.5). Longitudinal strain is defined as the total longitudinal deformation divided by the effective gage length. If Poisson's ratio is to be determined, record the transverse strain at the same points. If a stress-strain curve is to be determined, take readings at two or more intermediate points without interruption of loading; or use an instrument that makes a continuous record. Immediately upon reaching the maximum load, except on the final loading, reduce the load to zero at the same rate at which it was applied. If the observer fails to obtain a reading, complete the loading cycle and then repeat it. Record the extra cycle in the report.

NOTE 4—Where a dial gage is used to measure longitudinal deformation, it is convenient to set the gage before each loading so that the indicator will pass the zero point at a longitudinal strain of 50 millionths.

6.5 It is not prohibited to obtain the modulus of elasticity and strength on the same loading provided that the gages are expendable, removable, or adequately protected so that it is possible to comply with the requirement for continuous loading given in Test Method C 39/C 39M. In this case record several readings and determine the strain value at 40 % of the ultimate by interpolation.

6.6 If intermediate readings are taken, plot the results of each of the three tests with the longitudinal strain as the abscissa and the compressive stress as the ordinate. Calculate the compressive stress by dividing the quotient of the testing

machine load by the cross-sectional area of the specimen determined in accordance with 5.4.

7. Calculation

7.1 Calculate the modulus of elasticity, to the nearest 50 000 psi (344.74 MPa) as follows:

$$E = (S_2 - S_1)/(\epsilon_2 - 0.000050) \quad (3)$$

where:

- E = chord modulus of elasticity, psi,
- S_2 = stress corresponding to 40 % of ultimate load,
- S_1 = stress corresponding to a longitudinal strain, ϵ_1 , of 50 millionths, psi, and
- ϵ_2 = longitudinal strain produced by stress S_2 .

7.2 Calculate Poisson's ratio, to the nearest 0.01, as follows:

$$\mu = (\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1})/(\epsilon_2 - 0.000050) \quad (4)$$

where:

- μ = Poisson's ratio,
- ϵ_{t2} = transverse strain at midheight of the specimen produced by stress S_2 , and
- ϵ_{t1} = transverse strain at midheight of the specimen produced by stress S_1 .

8. Report

8.1 Report the following information:

- 8.1.1 Specimen identification number,
- 8.1.2 Dimensions of specimen, in inches (or millimetres),
- 8.1.3 Curing and environmental histories of the specimen,
- 8.1.4 Age of the specimen,
- 8.1.5 Strength of the concrete, if determined,
- 8.1.6 Unit weight of the concrete, if determined,
- 8.1.7 Stress-strain curves, if plotted,
- 8.1.8 Chord modulus of elasticity, and
- 8.1.9 Poisson's ratio, if determined.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—The single-operator-machine multibatch precision is ± 4.25 % (RIS %) max, as defined in Practice E 177, over the range from 2.5 to 4×10^6 psi (17.3 to 27.6×10^6 Pa); therefore, the results of tests of duplicate cylinders from different batches should not depart more than 5 % from the average of the two.

9.2 *Bias*—This test method has no bias because the values determined can only be defined in terms of the test method.

10. Keywords

10.1 compression testing; concrete; modulus of elasticity; Poisson's ratio



C 469 – 02

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO N°8

PANEL FOTOGRAFICO





