

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA CIVIL E INGENIERO CIVIL**

**TEMA:
COMPROBACIÓN EN LABORATORIO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL
HORMIGÓN SIMPLE DETERMINADA MEDIANTE LA FÓRMULA PROPUESTA
EN EL ACI 318-14.**

**AUTORES:
ALCUASER NARANJO JOSSELIN STHEPANY
TRAVEZ CHANGOLUISA XAVIER ALEXANDER**

**TUTOR:
ALVIAR MALABET JOSÉ DOMINGO**

Quito, enero de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Alcuaser Naranjo Josselin Sthepany ; Travez Changoluisa Xavier Alexander , con documentos de identificación N° 175027672-5; 172547727-5, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **COMPROBACIÓN EN LABORATORIO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL HORMIGÓN SIMPLE DETERMINADA MEDIANTE LA FÓRMULA PROPUESTA EN EL ACI 318-14**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil , en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

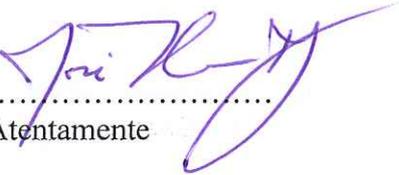
.....
Nombre: Alcuaser Naranjo Josselin Sthepany
Cédula: 175027672-5
Fecha: Quito, enero 2020

.....
Nombre: Travez Changoluisa Xavier Alexander
Cédula: 172547727-5
Fecha: Quito, enero 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo Alviar Malabet José Domingo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico: **COMPROBACIÓN EN LABORATORIO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL HORMIGÓN SIMPLE DETERMINADA MEDIANTE LA FÓRMULA PROPUESTA EN EL ACI 318-14**, realizado por Alcuaser Naranjo Josselin Sthepany ; Travez Changoluisa Xavier Alexander, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero 2020


.....
Atentamente

Alviar Malabet José Domingo
CI: 175783760-2

COMPROBACIÓN EN LABORATORIO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DEL HORMIGÓN SIMPLE DETERMINADA MEDIANTE LA FÓRMULA PROPUESTA EN EL ACI 318-14

LABORATORY TEST OF THE SHEAR STRENGTH OF THE SINGLE CONCRETE DETERMINED BY THE FORMULA PROPOSED IN ACI 318-14

Josselin Alcuaser-Naranjo¹, Xavier Travez-Changoluisa²

Resumen

La presente investigación se realizó con el fin de encontrar una alternativa que nos permita determinar de forma experimental la resistencia al corte del hormigón ya que actualmente no se cuenta con una norma que nos proporcione mediciones comprobables de dicha resistencia; para tal motivo se ha planteado realizar tres mecanismos de ensayos en muestras de hormigón con resistencia a la compresión (f'_c) de 21, 24 y 28 MPa, los mecanismos a utilizarse corresponden a las normas ASTM D-143, ASTM D 3080M-11 y ASTM C-78, los cuales corresponden con los ensayos de corte de la madera, ensayo de corte directo de suelos y ensayo a flexión del concreto, respectivamente. Se evaluaron 27 muestras de hormigón, cuyo diseño fue realizado con el método ACI 211. Se analizó los valores obtenidos en los ensayos a corte y los obtenidos con la utilización de la fórmula de corte propuesta por el ACI 318-14 para determinar si dichos valores son consistentes entre sí.

Palabras claves: Hormigón, Resistencia a la compresión, Resistencia al corte, Mecanismos, Tracción indirecta.

Abstract

The present investigation was carried out in order to find an alternative that allows us to experimentally determine the shear strength of concrete since currently there are no tests that provide us with verifiable measurements of said resistance; For this reason, it has been proposed to perform three test mechanisms on concrete samples with compressive strength (f'_c) of 21, 24 and 28 MPa, the mechanisms to be used correspond to ASTM D-143, ASTM D 3080M-11 and ASTM C-78, which correspond to wood shear tests, direct soil shear test and concrete flexing tests, respectively. 27 concrete samples were evaluated, whose design was carried out with the ACI 211 method, the values obtained in the shear tests and those obtained with the use of the formula of shear proposed by the ACI 318-14 were analyzed to determine if these values are consistent with each other.

Keywords: Concrete, Compressive strength, Shear resistance, Mechanisms, Indirect traction.

¹ Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

² Estudiante de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: jalcuasern, xtravezc@est.ups.edu.ec

1. Introducción

Las obras civiles son un eje fundamental en el desarrollo económico de la sociedad y deben estar a la vanguardia de nuevos y mejores procesos; la inexistencia de una norma que permita determinar la resistencia al corte del hormigón, ha dado cabida para implementar este tipo de ensayos en laboratorio.

Las fallas por cortante son mecanismos frágiles que deben evitarse, contar con estos resultados permitirá garantizar la viabilidad técnica económica de los proyectos, así como resguardar la seguridad durante y después de la etapa constructiva, por tal motivo, lo que se busca es implementar una metodología de laboratorio que sea aplicable a todos los especímenes de hormigón, indistintamente de los agregados que lo componen (cerámicos, cauchos, fibras, etc.) a fin de cuantificar la resistencia al corte.

Los valores de resistencia al corte medidos serán comparados con los obtenidos mediante la fórmula que presenta el ACI 318-14 [1], la cual surgió en 1962, donde el Comité Conjunto ACI-ASCE 326 publicó un informe sobre el diseño y comportamiento de las vigas que fallan debido al corte y la tensión diagonal [2], en el cual se presenta la ecuación $0.53\sqrt{f'c} * b * d$ como una versión simplificada y conservadora de determinar la resistencia al corte del hormigón.

Para dicho objetivo se ha adaptado tres mecanismos de ensayo, además de diseñar el hormigón con el método americano del ACI 211 [3], las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que formarán parte, fueron ensayadas aplicando las respectivas normas ASTM, buscando la mejor dosificación para conseguir valores de resistencia a la compresión ($f'c$) 21, 24 y 28 MPa, dicho diseño se realizó con agregado grueso 3/8", el cual nos facilita el moldeo de las muestras de hormigón a ensayar.

2. Materiales y Métodos

Para el diseño de los distintos hormigones a ensayarse, se empleó agregado fino y grueso tal como se puede observar en la Figura 1, proveniente de la cantera de Pintag (Empresa Minera Revton S.A).



Figura 1. Agregados gruesos – fino, cemento

Para realizar un correcto diseño de hormigón, en primera instancia se realizó la caracterización de los agregados a emplearse, para una vez alcanzados los 28 días llegar a las resistencias de 21, 24 y 28 Mpa.

2.1 Caracterización de los materiales

Para el diseño de la mezcla a realizar es importante conocer las características y propiedades de los materiales que lo van a conformar. Los ensayos indispensables a realizarse son: análisis granulométrico, peso específico, peso unitario, abrasión y contenido de impurezas orgánicas. Con respecto al contenido de humedad, para la presente investigación se ha considerado el valor de cero, es decir, tanto el material fino como grueso será inducido en la mezcla seco al horno.

2.2 Descripción de ensayos

2.2.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico consiste en tomar una muestra, lo más representativa posible de cada uno de los agregados y pasarlo por una

serie de tamices los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Tamices de acuerdo al tipo de agregado.

| Tamices Agregado Fino | Tamices Agregado Grueso | |
|-----------------------|-------------------------|---------|
| No. 8 | 1" | No. 16 |
| No. 16 | 3/4" | No. 30 |
| No. 30 | 1/2" | No. 50 |
| No. 50 | 3/8" | No. 100 |
| No. 100 | No. 4 | No. 200 |
| No. 200 | No. 8 | |

Para el mencionado proceso se tomó como guía la norma ASTM C136-05 [4], con cuyos resultados se obtuvo la dosificación correcta de agregados, para la mezcla de los diferentes hormigones.

2.2.2 Peso específico

Este ensayo se basa en la norma ASTM C128-04 [5] para agregados finos y ASTM C127-04 [6] para agregados gruesos. Lo importante de la aplicación de estas normas, es obtener el porcentaje de absorción y el peso específico en estado seco de los agregados, ya que son un factor importante en la aplicación del método empleado para el diseño de hormigón. Como se observa en la Figura 2 a continuación.

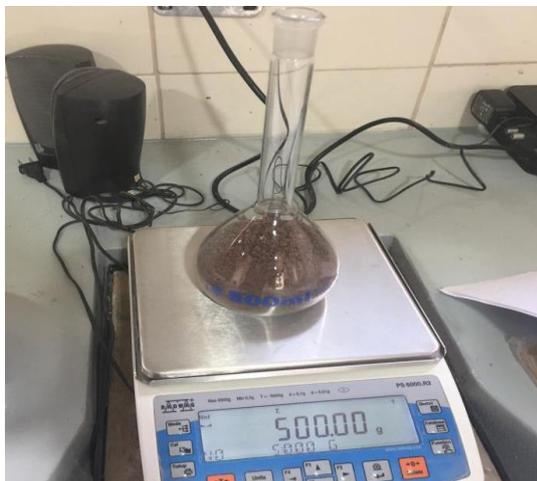


Figura 2. Pícnometro preparado para ensayo en agregado fino

2.2.3 Peso unitario

Se define como el peso de la cantidad necesaria de agregado que se requiere para llenar un recipiente de volumen conocido, físicamente es el volumen que es ocupado por el agregado y los vacíos entre sus partículas, para ello se ha tomado como referencia la norma ASTM C29 [7].

2.2.4 Abrasión

Este ensayo se fundamenta en la norma ASTM C131M-14 [8], el mismo que nos permite determinar el valor de degradación del árido, debido a la pérdida de masa por impacto y desgaste. Se han considerado como áridos aptos para la realización de mezclas de hormigón, a aquellos que posean un porcentaje de desgaste inferior al 50%, además, cabe recalcar que la norma no ha establecido un porcentaje de desviación para este método de ensayo.

2.2.5 Contenido de impurezas orgánicas.

Se basa en la norma ASTM C40M-19 [9] y consiste en determinar aproximadamente, la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino que será empleado en la mezcla de hormigón.

2.2.6 Resistencia a la compresión del hormigón

La resistencia a la compresión es una de las características mecánicas principales del concreto y permite controlar la calidad del mismo. Este método se fundamenta en la norma ASTM C39 [10], para la cual se aplica una carga normal de compresión a los cilindros a una velocidad normada, hasta que ocurra la falla, como se puede observar en la Figura 3.

Las experiencias mencionan que un buen resultado de este tipo de pruebas, consiste en tener un promedio de al menos 2 pruebas realizadas en especímenes curados de manera convencional, moldeados con la misma

mezcla de concreto y ensayados a la misma edad [11].

Las resistencias de las 9 muestras ensayadas fueron tomadas a los 3, 7 y 28 días a partir de la fecha de moldeo, ensayando 3 muestras por cada una de las resistencias a investigar, es decir 21, 24, 28 MPa.



Figura 3. Espécimen de hormigón simple ensayado a compresión simple.

2.2.7 Ensayo a corte de la madera

Este ensayo se basa en la norma ASTM D-143 [12] y consiste en determinar la resistencia al corte de especímenes de madera.

Dicho proceso de ensayo consiste en sujetar la sección más grande del espécimen y precautelar dejar libre la grada o volado del mismo, en donde se aplica la carga.

La resistencia al corte de un espécimen de madera se obtiene dividiendo la carga máxima en la cual el espécimen falla para el área de corte.

2.2.8 Ensayo de corte directo de suelos

Este ensayo se fundamenta en la norma ASTM D3080M-11 [13], el cual nos permite determinar el valor de la resistencia al corte de un suelo, consiste en colocar el espécimen de suelo previamente preparado en una caja de corte cuadrada, se aplica un esfuerzo normal determinado según los requerimientos del ensayo, los marcos de la caja de corte que

contiene la muestra, a medida que el ensayo va ejecutándose se desplazan horizontalmente uno respecto del otro, a una velocidad constante de deformación, es necesario medir la fuerza de corte con la que la muestra es llevada a la falla.

2.2.9 Ensayo de flexión en el concreto

Este ensayo se basa en la norma ASTM C78 [14] el cual tiene la finalidad de obtener valores de resistencia a flexión del concreto, consiste en tomar las medidas del espécimen a ensayar.

Posteriormente se coloca el espécimen en el equipo de ensayo, verificando poner los dispositivos de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen y que los mismos estén ubicados en los puntos tercios de la luz del espécimen.

Se aplica carga continua de manera gradual llevando al espécimen hasta la falla por flexión, se registra dicha carga máxima y se calcula el módulo de ruptura.

2.3 Metodología

El presente artículo se fundamenta en la obtención de la resistencia al corte de elementos de hormigón simple mediante la utilización de procedimientos de laboratorio. Los mecanismos de ensayo se muestran a continuación:

El primer mecanismo se basa en la norma de resistencia al corte en madera (ASTM D-143) [12], con esta pauta, se ensayará el espécimen mediante la aplicación de una carga dirigida hacia abajo en el volado del mismo, la cual producirá en el espécimen una falla por corte puro, como se puede observar en el Anexo 1 Muestra tipo 1.

El segundo mecanismo tomará como guía la norma de ensayo de corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas drenadas (ASTM D 3080-11) [13], una vez creada la muestra de hormigón, se procederá a colocar dicha muestra en la caja de corte, para posteriormente aplicar la carga necesaria para

generar la falla a corte en la muestra, como se puede observar en el Anexo 1 Muestra tipo 2.

El tercer mecanismo a aplicarse se basa en el ensayo a flexión del concreto (ASTM C 78) [14], ajustando la relación (a/d), siendo “a” la distancia entre la aplicación de la carga y el apoyo y “d” la altura útil de la viga y colocando acero longitudinal como se puede observar en el Anexo 1 Muestra tipo 3.

Para obligar que se produzca una falla por corte antes de una falla por flexión, se tuvieron que realizar estudios previos como se muestra a continuación:

Se realizaron cálculos en los cuales se colocaría acero longitudinal en cada uno de los especímenes, para comprobar únicamente en teoría que la viga fallaría primero a corte, como se puede observar en la tabla 5. Para la colocación del acero longitudinal, fueron impuestos dos casos diferentes, el primer caso trabajando con una cuantía de acero mínimo (ρ_{min}) y el segundo caso con una cuantía de acero balanceado dividido para dos ($\rho_{bal}/2$), el propósito de estos planteamientos es lograr que la fuerza cortante obtenida a partir del momento último, difiera en gran proporción de la fuerza cortante obtenida a través de la ecuación $0.53\sqrt{f'c} * b * d$ y de esta manera asegurar que se produzca primero la falla por cortante que la falla por flexión.

Para este mecanismo, se obligó a los especímenes a presentar una falla a corte antes que una falla a flexión, para tal objetivo se estableció una relación (a/d) siendo “a” la distancia entre la aplicación de la carga y el apoyo y “d” la altura de la viga.

Obtenidos los valores de los resultados de los mecanismos de ensayo descritos se realizará un promedio de los mismos con la finalidad de trabajar con datos los cuales sean representativos de cada mecanismo de ensayo. Con dichos valores se realizarán graficas de las cuales se obtendrá ecuaciones lineales.

Se realizará una comparación entre los valores obtenidos en los diferentes

mecanismos de ensayo contra los valores resultantes de la utilización de la fórmula $0.53\sqrt{f'c} * b * d$ (Kg/cm²), para determinar el corte en el hormigón expuesta por el ACI 318-14 [1], con la finalidad de determinar si existe una subestimación o sobreestimación de la resistencia al corte del hormigón.

2.4 Diseño de cilindros de hormigón

La metodología utilizada para la elaboración de las mezclas como se puede observar en la Figura 4, fue el método del ACI 211 presentada en el texto del ASOCRETO [3]. Se consideró el tamaño de agregados, cantidad de agua, contenido de cemento, asentamiento de la mezcla, contenido de materiales orgánicos en los agregados, con los cuales una vez ensayados todos los cilindros se logró alcanzar las resistencias de diseño esperadas, como se puede observar en la Tabla 2.



Figura 4. Cilindros y vigas de hormigón.

Tabla 2: Resistencias de diseño a los 28 días.

| Resistencia de diseño (MPa) | Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa) | | |
|-----------------------------|---|-------|----------------|
| | Obtenida | Norma | Obtenida/Norma |
| 21 | 22.629 | 21 | 1.077 |
| 24 | 25.631 | 24 | 1.067 |
| 28 | 28.367 | 28 | 1.013 |

2.5 Ensayos de resistencia al corte

Ya obtenidas las cantidades idóneas de los componentes de las mezclas de hormigón y con la finalidad de determinar la resistencia al corte del hormigón simple se realizaron 3 especímenes de las muestras tipo 1, tipo 2 y tipo 3 las cuales pueden ser observadas en el Anexo 1, dichas muestras tipo fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de edad, se procedió a realizar los siguientes ensayos, dependiendo del tipo de muestra:

Muestras tipo 1

Determinación de la resistencia al corte según la normativa ASTM D-143 [12], el ensayo se llevó a cabo con el mecanismo indicado en la normativa para muestras de madera, como se puede observar en el Anexo 3 muestra tipo 1, los moldes fueron fabricados con medidas exactas y en consecuencia se pudo evidenciar la clara presencia de falla por cortante puro.

Muestras tipo 2

Determinación de la resistencia al corte según la normativa ASTM D 3080M-11 [13], para dicho ensayo en primera instancia se comprobó que el equipo (caja de corte para suelos) no contó con la fuerza suficiente para generar una falla de corte en la muestra, por tal motivo se realizó una adaptación con los equipos existentes en laboratorio buscando un mecanismo similar al empleado en las muestras tipo 2, como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5. Adaptación del ensayo de la resistencia al corte según la normativa ASTM D-143

Muestras tipo 3

Ensayo a tracción indirecta de vigas de hormigón ASTM C-78 [14]. Para tal ensayo se colocó acero longitudinal en los moldes ensayados, obligándolos a que predomine la falla por corte con una relación (a/d) siendo “a” la distancia entre la aplicación de la carga y el apoyo y “d” la altura útil de la viga, para el cual se utilizó una relación con valor de 0.8. Como se puede observar en el Anexo 3 muestras tipo 3.

3. Resultados y discusión

Las características físicas de los componentes de las mezclas juegan un papel crucial en el desempeño de las mismas. Particularmente el ensayo de abrasión realizado al agregado grueso, nos muestra un buen resultado con un valor de 24.09 % de desgaste en consideración que la norma exige un desgaste máximo de 50 %.

Como se puede observar en la Tabla 3, se presenta los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los componentes de las mezclas de hormigón.

Tabla 3: Resumen de propiedades de los agregados del hormigón

| | AGREGADOS | |
|--|-----------|-----------|
| | FINO | GRUESO |
| Peso específico (g/cm ³) | 2.4701 | 2.2894 |
| Peso Unitario Suelto (Kg/m ³) | 1410.5108 | 1205.8202 |
| Peso Unitario Varillado (Kg/m ³) | 1560.11 | 1255.9 |
| Módulo de finura | 3.2 | - |
| Tamaño máximo (mm) | 4.75 | 9.5 |
| Desgaste a la abrasión (%) | - | 24.09 |
| Absorción (%) | 2.53 | 4.74 |

Otro de los puntos que se debe tener en cuenta al momento de caracterizar un material es el contenido de material orgánico, para obtener dicho resultado se realizó el ensayo de colorimetría al agregado fino, como se puede observar en la Figura 6, en el cual se determina la cantidad de sustancias orgánicas, esto se logra comparando el gráfico del colorímetro normado en la norma ASTM C-40 [9] y el color obtenido en el material luego de ser ensayado, el resultado obtenido nos muestra que el contenido de sustancias orgánicas es bajo lo que refleja que el agregado fino es bueno para las mezclas.



Figura 6. Comparación entre el colorímetro normado en el ASTM C-40 y el ensayo de esta investigación

El tamaño de los agregados debe ser analizado puesto que en función de estos existirán límites tanto superiores como inferiores, mismos que nos muestran si el material es apto para realizar una mezcla. Como se puede observar en el Anexo 2, los valores recomendados que corresponden a cada tamaño nominal de agregado, una vez realizado el ensayo de granulometría para este caso en particular y teniendo en cuenta las dimensiones de las muestras a ensayar.

El tamaño máximo nominal (TMN) de las partículas fue seleccionado considerando el tamaño de los moldes donde se haría el moldeo de hormigón, ya que se debe tener presente que en ningún caso el TMN debe

exceder de un quinto la menor dimensión entre los lados de la formaleta [3], todo con el fin de que no se produzcan vacíos, por tal motivo y debido a las dimensiones de los moldes, se adoptó un TMN de 9.53mm ($3/8''$), además de considerar que este es el tamaño mínimo que puede tener un agregado para considerarse como grueso. Para observar un mayor detalle de los límites granulométricos mencionados se puede observar los mismos en el Anexo 2.

Con los resultados de los ensayos aplicados a los componentes de la mezcla, se obtuvieron los valores de dosificación que se observan en la Tabla 4, con los cuales se pudo obtener las resistencias a la compresión esperadas para proceder a realizar los ensayos a corte.

Debido a que la mezcla de prueba no cumplió con el asentamiento deseado, para obtener dicha dosificación, se aplicó un método de ajuste proporcionado por el ASOCRETO [3], con el cual se obtuvieron los valores finales y el cual consiste en medir el asentamiento y el peso unitario del concreto fresco, a partir de estos datos se procede a realizar la corrección de cada agregado, incluyendo agua y cemento, manteniendo la relación agua/cemento constante, esto quiere decir que, a mayor cantidad de agua, mayor cantidad de cemento.

Tabla 4: Dosificaciones de las mezclas de hormigón ajustadas

| Resistencia (MPa) | Material | Peso (Kg) por metro cúbico | Relación al peso |
|-------------------|----------|----------------------------|------------------|
| 21 | Agua | 307.24 | 0.61 |
| | Cemento | 503.67 | 1.00 |
| | Grava | 406.33 | 0.81 |
| | Arena | 1162.76 | 2.31 |
| 24 | Agua | 306.57 | 0.58 |
| | Cemento | 528.58 | 1.00 |
| | Grava | 388.64 | 0.74 |
| | Arena | 1156.21 | 2.19 |
| 28 | Agua | 297.51 | 0.53 |
| | Cemento | 561.35 | 1.00 |
| | Grava | 379.87 | 0.68 |
| | Arena | 1141.28 | 2.03 |

Como se observa en la Tabla 5, donde se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la cantidad de acero longitudinal necesario para obligar a la viga a fallar por corte antes que por flexión, al colocar 2.36 cm² de acero longitudinal (3 varillas de diámetro 10 mm), la relación Vu/Vc es 6.15, lo cual indica que, en caso de que se desarrolle la capacidad nominal a flexión (Mn), el corte último sería 6.15 veces más grande que la resistencia al corte del hormigón calculada con la fórmula del ACI 318-14, ahora bien, considerando que, el hormigón tendrá una resistencia al corte próxima al valor calculado por el ACI, se produciría primero la falla por corte antes que por flexión, por tal motivo, se optó por colocar esta cantidad de acero.

Tabla 5: Cálculos de acero longitudinal

| Acero longitudinal | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|---------|--------------------------------|-------|------------|
| Cuantía de acero ρ min | | | | | |
| ρ | As col (cm ²) | Vu (KN) | $V_c=0.53\sqrt{f'c}*b*du$ (KN) | Vu/Vc | Mnd (KN-m) |
| 0.003 | 0.78 | 33.16 | 14.68 | 2.26 | 3.98 |
| Cuantía de acero ρ bal/2 | | | | | |
| ρ | As col (cm ²) | Vu (KN) | $V_c=0.53\sqrt{f'c}*b*du$ (KN) | Vu/Vc | Mnd (KN-m) |
| 0.011 | 2.36 | 90.34 | 14.69 | 6.15 | 10.84 |

Donde:

ρ -cuantía de acero,

As col- acero colocado,

Vu- fuerza cortante obtenida a partir del momento último (Mu),

Vc- fuerza cortante aplicando la ecuación del ACI 318-14,

du- altura útil de la viga,

Mnd- momento nominal de diseño.

En el presente ejemplo se tomó como dato un valor de $f'c=210$ Kg/cm² y una distancia entre la aplicación de la carga y el apoyo $a=12$ cm.

Para la obtención de un valor máximo de la relación Vu/Vc, se realizaron pruebas con

el equipo disponible en cuatro especímenes, con la misma resistencia y a la misma edad, resultados que se pueden observar en la Tabla 6.

El rango para la variable “a” que es la distancia entre la aplicación de la carga y el apoyo, va de 12 a 13.7 cm, el cual fue tomado debido a las dimensiones y facilidad de manejo de la máquina presente en el laboratorio. Como se mencionó antes el propósito es lograr que la fuerza cortante (Vu) obtenida a partir del momento último, difiera en gran proporción de la fuerza cortante obtenida a través de la ecuación del ACI (Vc), de acuerdo a esto, la relación Vu/Vc se hace mayor cuando la relación a/d es igual a 0.80.

Tabla 6: Resultados de la relación a/d

| a (cm) | d (cm) | Vu/Vc | a/d |
|--------|--------|-------|------|
| 13.7 | 13 | 5.39 | 0.91 |
| 13 | 13 | 5.68 | 0.87 |
| 12.5 | 13 | 5.90 | 0.83 |
| 12 | 13 | 6.15 | 0.8 |

Posterior a realizar las mezclas para cada resistencia se realizó ensayos de resistencia a la compresión [15] del hormigón a las edades de 3, 7 y 28 días, en los cuales se puede evidenciar que las dosificaciones realizadas son correctas, dichos resultados se pueden observar en la Tabla 7.

Tabla 7: Resistencias a la compresión obtenidas

| Resistencia a la compresión (Mpa) | 21 | | | 24 | | | 28 | | |
|--|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|
| | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 |
| Edad del Hormigón (días) | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 |
| Resistencia Obtenida (MPa) | 9.0 | 14.4 | 22.6 | 11.1 | 16.7 | 25.6 | 12.3 | 18.5 | 28.4 |
| Porcentaje de resistencia obtenido (%) | 42.9 | 68.5 | 107.8 | 46.1 | 69.5 | 106.8 | 44.1 | 66.2 | 101.3 |

Una vez cumplidas las resistencias, se procedió a realizar los ensayos de corte en cada una de las muestras.

Como se puede observar en la Tabla 8, se muestra los valores obtenidos en los ensayos realizados a las muestras tipo 1.

Tabla 8: Resultados de corte Muestras tipo 1

| Resultados Ensayo Muestras tipo 1 | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------------|
| Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | | | Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | | | Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | | |
| 21 | | | 24 | | | 28 | | |
| Edad | 28 días | | Edad | 28 días | | Edad | 28 días | |
| Muestra | Fuerza de Corte en la falla (KN) | Esfuerzo de Corte en la falla (MPa) | Muestra | Fuerza de Corte en la falla (KN) | Esfuerzo de Corte en la falla (MPa) | Muestra | Fuerza de Corte en la falla (KN) | Esfuerzo de Corte en la falla (MPa) |
| 1 | 13,34 | 5,4 | 1 | 18,08 | 7,4 | 1 | 24,72 | 10,1 |
| 2 | 15,05 | 6,1 | 2 | 18,90 | 7,7 | 2 | 24,49 | 10,0 |
| 3 | 15,34 | 6,3 | 3 | 20,24 | 8,3 | 3 | 25,05 | 10,2 |

Área de corte 50 x 50 mm².

Como se puede observar en la Tabla 9 y Tabla 10, se presentan los valores obtenidos en los ensayos realizados en las muestras tipo 2 y muestras tipo 3 respectivamente.

Tabla 9: Resultados de corte Muestras tipo 2

| Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | Fuerza al Corte en la falla (KN) | Esfuerzo al Corte en la falla (MPa) |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|
| 21 | 28.449 | 5.80 |
| 21 | 34.835 | 7.10 |
| 21 | 25.143 | 5.13 |
| 21 | 16.63 | 3.39 |
| 21 | 18.301 | 3.73 |
| 24 | 29.418 | 6.00 |
| 24 | 11.85 | 2.42 |
| 24 | 31.414 | 6.40 |
| 24 | 46.29 | 9.44 |
| 24 | 37.17 | 7.58 |
| 28 | 13.74 | 2.80 |
| 28 | 14.05 | 2.86 |
| 28 | 31.98 | 6.52 |
| 28 | 26.8 | 5.46 |

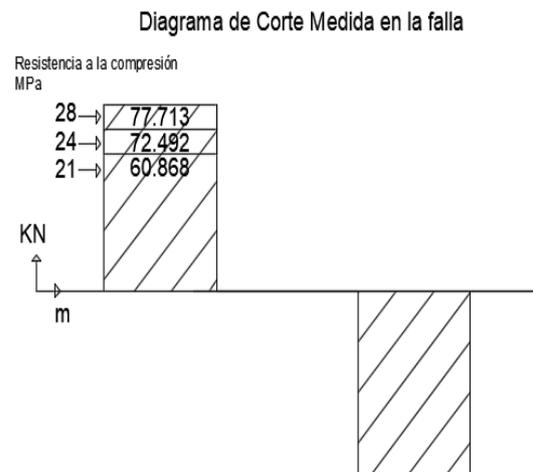
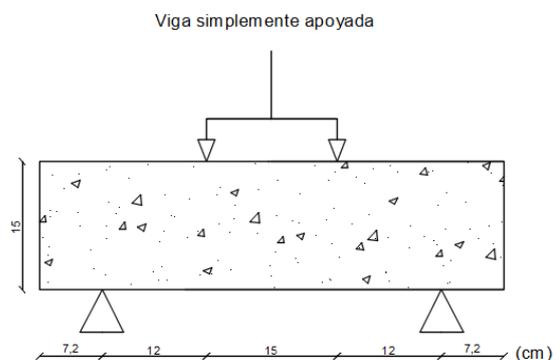
Área de corte 50 x 100 mm².

Tabla 10: Resultados de corte Muestras tipo 3

| Resultados Ensayo a corte Muestras Tipo 3 | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|----------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------------|
| Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | | Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | | Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | | |
| 21 | | 24 | | 28 | | |
| Edad del Hormigón (días) | Fuerza de Corte en la falla (KN) | Esfuerzo de Corte en la falla (MPa) | Fuerza de Corte en la falla (KN) | Esfuerzo de Corte en la falla (MPa) | Fuerza de Corte en la falla (KN) | Esfuerzo de Corte en la falla (MPa) |
| 7 | 42,84 | 2,24 | 48,06 | 2,51 | 51,03 | 2,67 |
| 28 | 60,82 | 3,18 | 66,80 | 3,49 | 78,10 | 4,08 |
| | 60,09 | 3,14 | 76,00 | 3,97 | 77,51 | 4,05 |
| | 61,69 | 3,22 | 75,17 | 3,93 | 77,53 | 4,05 |
| Promedio (28días) | 60,87 | 3,18 | 72,66 | 3,80 | 77,71 | 4,06 |

Área de corte 150 x 130 mm²

Como se puede observar en la Figura 7 se presenta los diagramas de corte y momento resultado de los ensayos a corte en las Muestras Tipo 3.



(a)

Diagrama de Momento medido en la falla

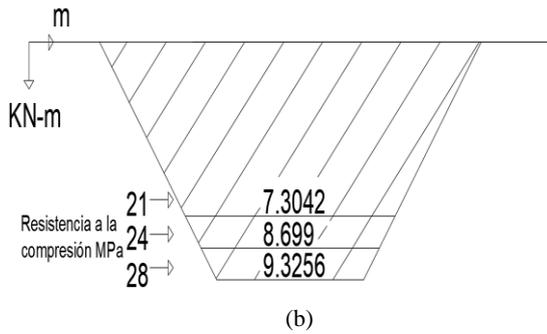


Figura 7. Diagramas de corte (a) y momento aplicado a la viga (b).

Se puede apreciar que para el hormigón $f'c=21$ Mpa, el momento aplicado en la viga (7,30 KN.m) en el instante de falla fue 0,67 veces el momento nominal de diseño (10,84 KN.m), lo cual obligó a que la viga fallara primero por corte antes que por flexión.

Analizando los resultados obtenidos en los diferentes tipos de Muestras, podemos observar que los obtenidos en los ensayos realizados a las Muestras tipo 2 varían de gran manera entre cada resistencia lo que podría deberse a la modificación realizada al mecanismo de ensayo y el acomodo de los agregados en la mezcla en el poco espacio disponible del molde.

Conociendo dicha variabilidad los resultados obtenidos con el modelo N° 2 no serán tomados en cuenta para el análisis final.

Se puede observar en la Tabla 11 y Figura 8, los resultados de los ensayos a corte obtenidos en las muestras tipo 1 y muestras tipo 3, así como también los resultados obtenidos con la utilización de la fórmula $0.53\sqrt{f'c} * b * d$ (Kg/cm²), la cual es propuesta en la Normativa ACI 318-14 [1].

Para realizar dicho análisis, se obtuvo un valor promedio de los resultados de cada tipo de muestra y para cada una de sus resistencias de diseño.

Tabla 11: Resultados de corte Muestras tipo 1, 3 y Norma ACI 318-14

| Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | Resistencia a corte en la falla muestra tipo 1 (MPa) | Resistencia a corte en la falla muestra tipo 3 (MPa) | Resistencia a corte Norma ACI 318-14 (MPa) |
|---|--|--|--|
| 21 | 5.94 | 3.18 | 0.77 |
| 24 | 7.78 | 3.80 | 0.82 |
| 28 | 10.09 | 4.06 | 0.89 |

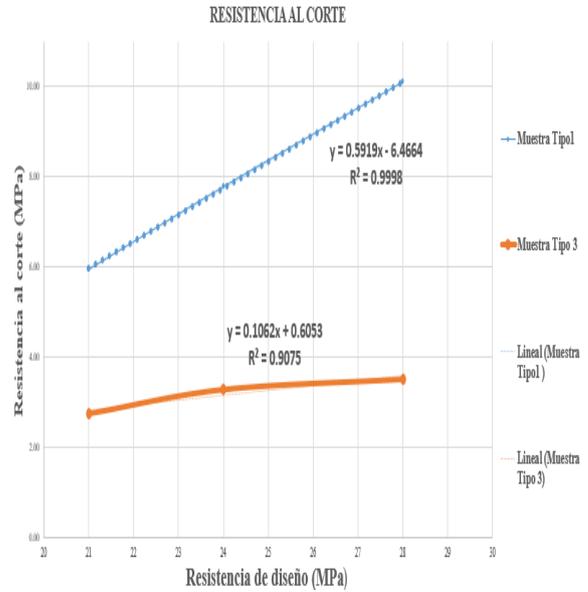


Figura 8. Gráfica resultados resistencia al corte

Como se puede observar existe una variación considerable entre los resultados obtenidos en los ensayos a corte en las muestras tipo 1 y 3 en referencia a los resultados obtenidos con la fórmula expuesta en la ACI 318-14 [1].

Resultado de este análisis se obtuvo ecuaciones y coeficientes de correlación para cada tipo de muestra tipo, como se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12: Resultados de corte Muestras tipo 1 y tipo 3

| Muestra tipo/Norma | Ecuación | Coefficiente de Correlación |
|--------------------|------------------------|-----------------------------|
| Tipo 1 | $y = 0.5919X - 6.4664$ | 0.9998 |
| Tipo 3 | $y = 0.1062X + 0.6053$ | 0.9075 |

Donde “y” y “x” representan la resistencia al corte y la resistencia a la compresión del hormigón, respectivamente en MPa.

Como se puede observar los valores del coeficiente de correlación R^2 , se aproximan de gran manera a 1 lo cual nos muestra que la ecuación lineal de ajuste propuesta se ajusta a la resistencia obtenida.

Conociendo la variación entre los resultados obtenidos en las muestras tipo 1 y 3, se realizó una relación entre estos resultados, como se puede observar en la Figura 9.

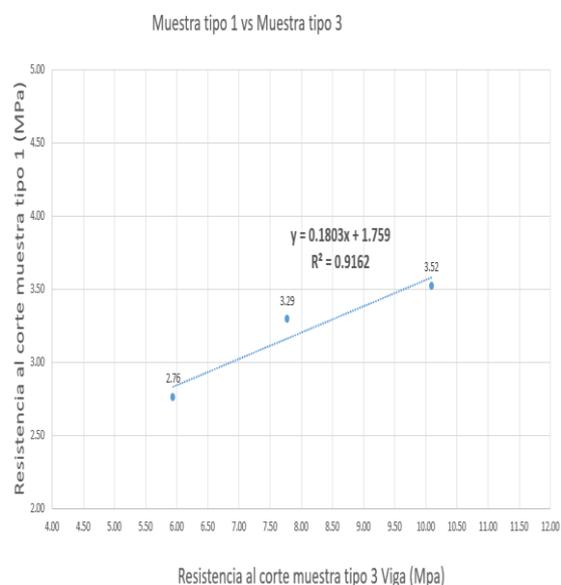


Figura 9. Gráfica muestra tipo 1 vs. muestra tipo 3.

De dicho análisis se obtuvo la ecuación de la recta y su coeficiente de correlación, como se puede observar en la Tabla 13, el cual se aproxima a 1, resultado que nos indica que los valores obtenidos en los ensayos a corte en las muestras tipo 1 y 3, son proporcionales.

Tabla 13: Resultados de corte Muestras tipo 1 vs tipo 3

| Muestra tipo/ Norma | Ecuación | Coficiente de Correlación |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Tipo 1 y Tipo 3 | $y = 0,1803x + 1,759$ | 0.9162 |

Donde “y” y “x” representan la resistencia al corte y la resistencia a la compresión del hormigón, respectivamente en MPa.

Como se puede observar en la Tabla 14 se presenta un análisis entre los valores obtenidos por la fórmula propuesta en el ACI 318-14 [1] (American Concrete Institute) $0.53\sqrt{f'c} * b * d$ (Kg/cm²) y los valores obtenidos en los ensayos realizados a las muestras Tipo 1 y 3.

Tabla 14: Resultados de corte

| Resistencia de Diseño (MPa) | Resistencia al corte ACI 318-14 (MPa) | Resistencia al Corte Ensayada (MPa) Muestras Tipo 1 | Resistencia al Corte Ensayada (MPa) Muestras Tipo 3 |
|-----------------------------|---------------------------------------|---|---|
| 21 | 0.77 | 5.94 | 3.18 |
| 24 | 0.82 | 7.78 | 3.80 |
| 28 | 0.89 | 10.09 | 4.06 |

Se realizó un análisis entre los valores obtenidos en las muestras tipo 3 y los valores obtenidos mediante la utilización de la fórmula de corte presentada en el ACI 318-14, como se puede observar en la Tabla 15, del cual podemos observar que los valores obtenidos mediante la utilización de la fórmula expuesta en el ACI 318-14 [1], es 4.44 veces menor a los valores obtenidos en los ensayos realizados a las muestras tipo 3.

Tabla 15: Comparación resultados Muestra tipo 3 y Norma ACI 318-14

| Resistencia de diseño a la compresión (MPa) | Resistencia a corte en la falla muestra tipo 3 (MPa) | Resistencia a corte Norma ACI 318-14 (MPa) | Relación entre resultados Muestra tipo 3 y Norma ACI 318-14 |
|---|--|--|---|
| 21 | 3.18 | 0.77 | 4.13 |
| 24 | 3.80 | 0.82 | 4.63 |
| 28 | 4.06 | 0.89 | 4.56 |
| Vu/Vc | | | 4.44 |

De los dos modelos ensayados (Tipo 1 y Tipo 3), se considera que el modelo Tipo 3, el

cual corresponde a una viga simplemente apoyada, el valor de corte medido y el que

hizo fallar a la viga por este efecto, es más representativo para cuantificar la resistencia al corte en vigas de hormigón, que el obtenido con el modelo de ensayo a cizalla en madera, por cuanto, en el método de falla en la viga, se ha generado un diagrama de corte constante donde ocurre la falla por cortante y se asemeja más a la forma en que trabajan las vigas por el efecto considerado de corte y flexión, diferente del modelo en madera donde existe un efecto combinado de esfuerzos de carga a compresión, puntual a compresión y corte, que puede generar un aumento de la resistencia a corte tal como se evidencia en los resultados obtenidos.

4. Conclusiones

- Los resultados obtenidos en los ensayos a corte con la utilización de las metodologías expuestas en este documento para las muestras tipo 1 y 3, demostraron que en comparación a los valores obtenidos con la utilización de la fórmula propuesta en el ACI 318-14 [1], son mayores, lo que supondría que dicha fórmula subestima la resistencia del hormigón a solicitaciones de corte en rangos de 4.13 y 4.63, como es de suponerse dicha mención no puede ser considerada significativa debido a la realización limitada de ensayos, por tal motivo, se sugiere continuar con la investigación realizando mayor cantidad de ensayos, para dar confiabilidad al presente tema.
- Se determinó la ecuación $y=0.1224X+0.7008$, en donde “y” y “x” representan la resistencia al corte y la resistencia a la compresión del hormigón respectivamente en Mpa, la cual se obtuvo del análisis de todos ensayos a corte efectuados en los moldes tipo 3, dicha ecuación se supone nos permitirá obtener de forma representativa la resistencia a corte del hormigón aplicando la metodología de ensayo utilizada.
- Analizando los resultados obtenidos en los ensayos a corte en las muestras tipo 1 y muestras tipo 3 se observa que dichos valores son proporcionales el uno del otro, puesto que el coeficiente de correlación obtenido al realizar este análisis es 0.92 un valor muy cercano a la unidad.
- Se determinó que con una relación de luz de corte (a/d), siendo “a” la distancia entre la aplicación de la carga y el apoyo y “d” la altura útil de la viga de 0.8 en la máquina disponible y colocando una cuantía de acero en el lecho inferior de la viga de 0.5p balanceado, se alcanzó la mayor relación entre V_u/V_c a fin de generar primero el mecanismo de falla por corte antes que la falla por flexión. V_u representa el valor de corte que se generaría en la viga si la misma fallara por flexión y V_c representa la resistencia al corte de la viga de acuerdo con la Norma ACI 318-14.
- Mediante la colocación del acero longitudinal en la viga, en el que se utiliza el ensayo para evaluar la resistencia a la tracción del hormigón, se ha logrado implementar un mecanismo que obliga a fallar a la viga primero por corte antes que a flexión. Dicho modelo puede ser utilizado para cuantificar la resistencia al corte del hormigón cuando se hace la sustitución de agregados por otros alternativos como: cerámica, caucho, yute, entre otros.
- Los ensayos de compresión realizados a los testigos de hormigón demostraron que el procedimiento de dosificación empleado para cada resistencia de diseño fue apropiado puesto que en todos los casos se obtuvo un valor igual o ligeramente mayor a la resistencia a la compresión pre dosificada.
- Los materiales empleados en las mezclas de hormigón de este artículo

académico fueron sometidos a un secado artificial de los mismos con la finalidad de trabajar con un porcentaje de 0 % de humedad. El desgaste a la abrasión obtenido mediante la normativa ASTM “Resistencia al desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Ángeles” presentó un valor de 24% lo que nos indica que el material posee una gran resistencia al desgaste lo que lo hace apto para el diseño de la mezcla.

- Los asentamientos obtenidos en las mezclas realizadas fueron iguales o ligeramente inferiores a las que se proyectó para esta investigación, por lo que se recomienda realizar de manera correcta los ensayos de caracterización de los materiales, así como también realizar ajustes o correcciones en el caso de requerirlo con la finalidad de conseguir una mezcla la cual satisfaga las necesidades de trabajabilidad y resistencia propuestas.
- Para mayor facilidad, se recomienda trabajar los valores obtenidos en unidades del sistema Internacional, ya que permite una mejor interpretación de resultados.

Referencias

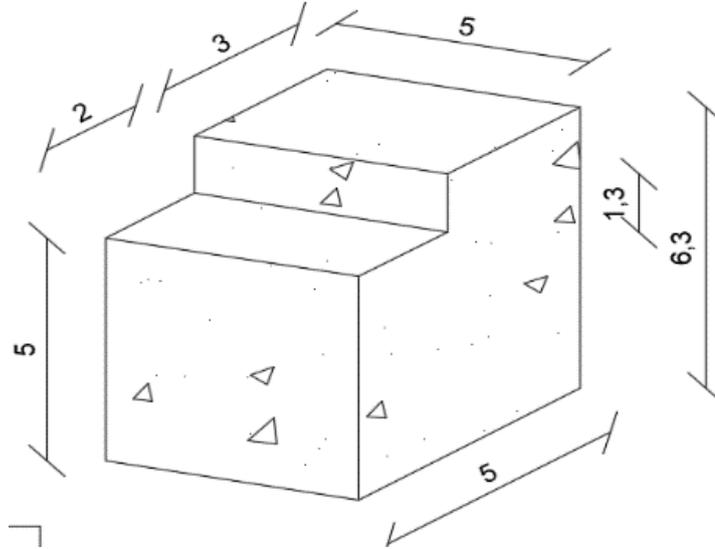
- [1] ACI, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318SUS-14), USA, 2014.
- [2] A. S. J. T. PAPER, Diseño para corte basado en condiciones de carga, USA, 2006.
- [3] ASOCRETO, Tecnología del concreto tomo 1, Colombia : Nomos Impresores, 2010.
- [4] ASTM C136 / C136M-14, Método de prueba estándar para el análisis de tamices de agregados finos y gruesos, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2014.
- [5] ASTM C128-04, Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2004.
- [6] ASTM C127-04, Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados gruesos, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2004.
- [7] ASTM C29 / C29M-17a, Método de prueba estándar para la densidad aparente ("peso unitario") y vacíos en el agregado, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2017.
- [8] ASTM C131 / C131M-14, Método de prueba estándar para resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2014.
- [9] ASTM C40 / C40M-19, Método de prueba estándar para impurezas orgánicas en agregados finos para concreto, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2019.
- [10] ASTM C39 / C39M-12, Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2012.
- [11] CEMEX, «Resistencia, pruebas y resultados,» México, 2019.
- [12] ASTM D143-14, Métodos de prueba estándar para pequeñas muestras claras de madera, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2014.
- [13] ASTM D 3080 / D3080M-11, Método de prueba estándar para la prueba de corte directo de suelos en condiciones de drenaje consolidado, West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2011.
- [14] A. C78-02, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto (Utilizando viga simple con carga en los tercios del claro), West Conshohocken, PA: ASTM Internacional, 2002.
- [15] M. D. F. E. EHE-08, Instrucción de Hormigón Estructura, España : Centro de publicaciones, Secretaria Nacional de Fomento, 2011.

ANEXOS

Anexo 1. Características Muestras tipo

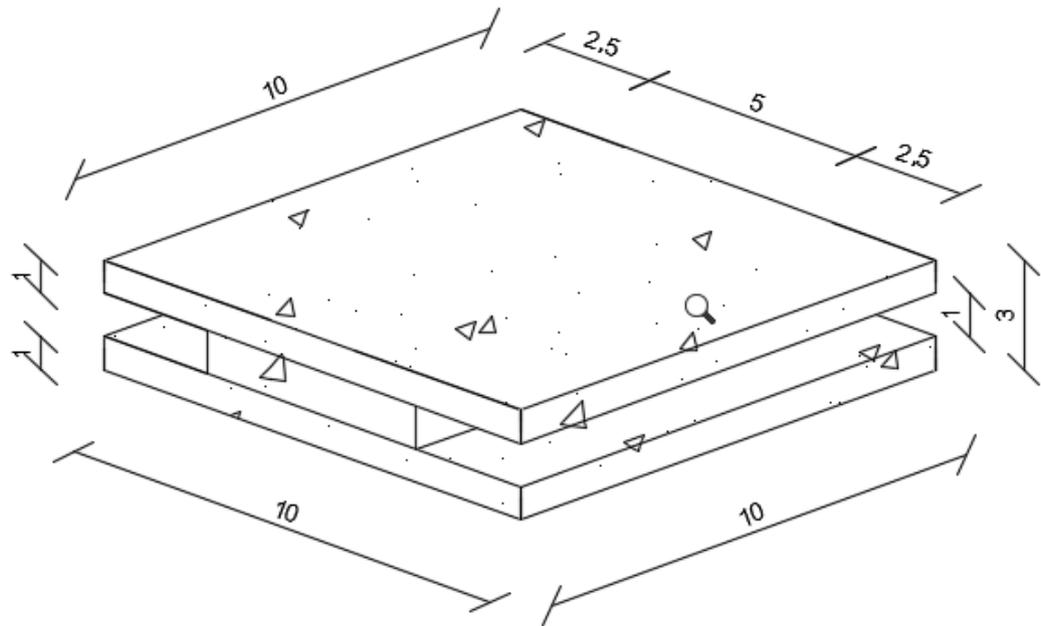
- *Muestras Tipo 1*

Muestra de hormigón la cual basa sus medidas en la normativa ASTM D-143 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber, medidas en cm.



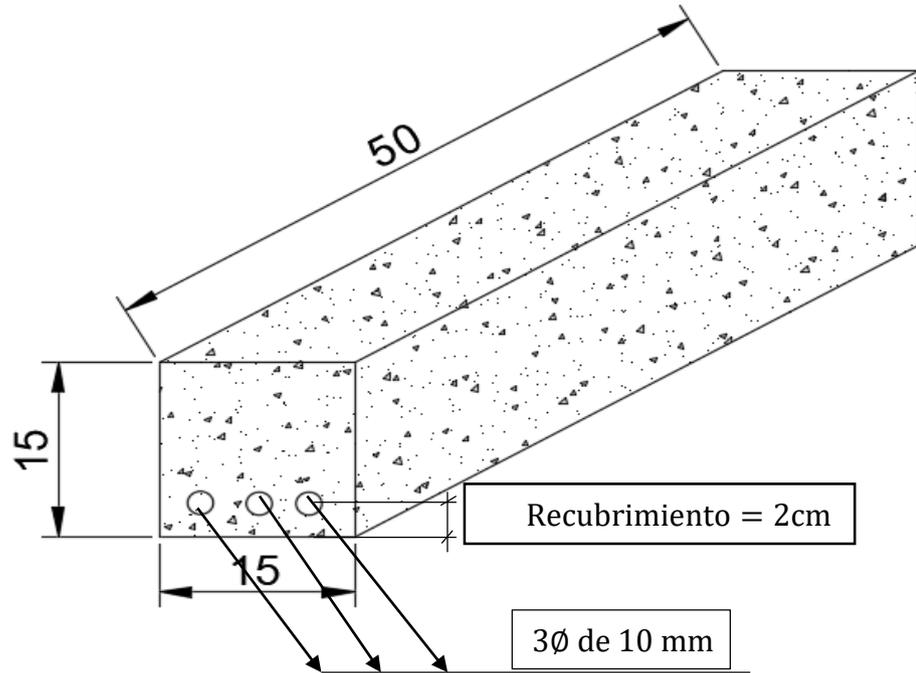
- *Muestras Tipo 2*

Testigo de forma prismática rectangular, en concordancia con las dimensiones del equipo de laboratorio (Caja de Corte de suelos), medidas en cm.



- *Muestras Tipo 3*

Muestras de sección transversal cuadrada, las cuales idealizan a una viga de hormigón de (15x15cm) de sección transversal y como mínimo tres veces su espesor como luz (50cm).



Anexo2. Rango granulométrico recomendado

| TAMIZ | | Límite de los porcentajes que pasan los siguientes tamaños máximos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|--|----|---------|----|----------|----|---------|----|----------|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
| pulg. | mm | 90.6 mm | | 76.1 mm | | 64.0 mm | | 50.8 mm | | 38.1 mm | | 25.4 mm | | 19.0 mm | | 12.7 mm | | 9.51 mm | |
| | | (3 1/2") | | (3") | | (2 1/2") | | (2") | | (1 1/2") | | (1") | | (3/4") | | (1/2") | | (3/8") | |
| 3 1/2 | 90.6 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 76.1 | 94 | 91 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | 64.0 | 89 | 83 | 94 | 91 | 100 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 50.8 | 82 | 73 | 87 | 80 | 92 | 88 | 100 | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | 38.1 | 74 | 62 | 78 | 68 | 83 | 75 | 90 | 85 | 100 | | | | | | | | | |
| 1 | 25.4 | 64 | 50 | 68 | 55 | 72 | 60 | 78 | 68 | 87 | 80 | 100 | | | | | | | |
| 03-abr | 19 | 58 | 42 | 62 | 47 | 65 | 51 | 71 | 58 | 78 | 68 | 90 | 85 | 100 | | | | | |
| 01-feb | 12.7 | 50 | 34 | 53 | 37 | 57 | 41 | 62 | 47 | 68 | 55 | 78 | 68 | 87 | 80 | 100 | | | |
| 03-ago | 9.51 | 45 | 29 | 48 | 32 | 51 | 35 | 56 | 40 | 62 | 47 | 71 | 58 | 78 | 68 | 90 | 85 | 100 | |
| No. 4 | 4.76 | 36 | 20 | 38 | 22 | 40 | 24 | 44 | 27 | 48 | 32 | 56 | 40 | 62 | 47 | 71 | 58 | 78 | 68 |
| No.8 | 2.36 | 28 | 13 | 30 | 15 | 32 | 16 | 34 | 18 | 38 | 22 | 44 | 27 | 48 | 32 | 55 | 40 | 61 | 46 |
| No.16 | 1.18 | 22 | 9 | 23 | 10 | 25 | 11 | 27 | 13 | 30 | 15 | 34 | 18 | 38 | 22 | 44 | 27 | 48 | 32 |
| No. 30 | 600u | 17 | 6 | 18 | 7 | 20 | 8 | 21 | 9 | 23 | 10 | 27 | 13 | 30 | 15 | 34 | 19 | 38 | 22 |
| No. 50 | 300u | 14 | 4 | 14 | 4 | 15 | 5 | 17 | 8 | 18 | 7 | 21 | 9 | 23 | 10 | 27 | 13 | 30 | 15 |
| No. 100 | 150u | 11 | 3 | 11 | 3 | 12 | 4 | 13 | 4 | 14 | 5 | 17 | 6 | 18 | 7 | 21 | 9 | 23 | 10 |

Fuente: ASOCRETO, Tecnología del concreto tomo 1, Nomos Impresores, Colombia, 2010.

Anexo 3
Anexo Fotográfico
Muestras tipo 1



Ensayo a corte de la muestra tipo 1
($f^c = 21$ MPa) a la edad de 28 días



Ensayo a corte de la muestra tipo 1
($f^c = 24$ MPa) a la edad de 28 días



Ensayo a corte de la muestra tipo 1
($f^c = 28$ MPa) a la edad de 28 días

Muestras tipo 2



Ensayo a corte de la muestra tipo 2
($f'_c = 21$ MPa) a la edad de 28 días



Ensayo a corte de la muestra tipo 2
($f'_c = 24$ MPa) a la edad de 28 días

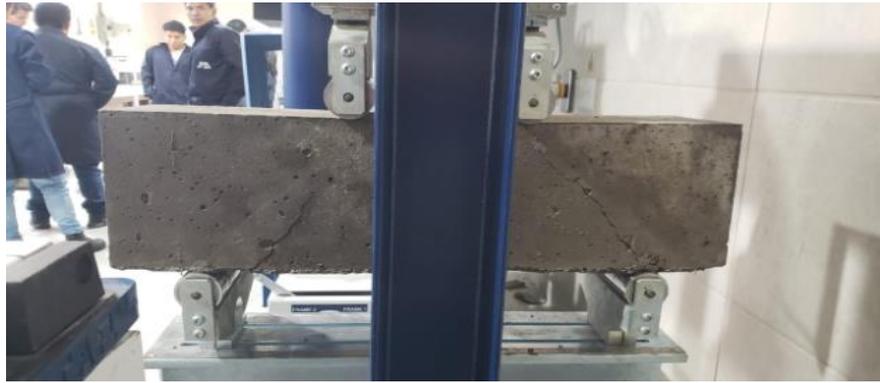


Montaje con la aplicación de carga
($f'_c = 28$ MPa) a la edad de 28 días



Ensayo a corte de la muestra tipo 2

Muestras tipo 3



Ensayo a corte de la muestra tipo 3
($f'_c = 21$ MPa) a la edad de 28 días



Ensayo a corte de la muestra tipo 3
($f'_c = 24$ MPa) a la edad de 28 días



Ensayo a corte de la muestra tipo 3
($f'_c = 28$ MPa) a la edad de 28 días