# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

CORRELACIÓN ENTRE EL CAMBIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN EXTRAÍDOS DE DIÁMETROS 4", 3", 2"y 1 1/4" CON DIFERENTES TAMAÑOS DE AGREGADO GRUESO MÁXIMO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCIÓN ESTRUCTURAS

EVELIN ALEXANDRA ARÉVALO ARÉVALO evelin.arevalo@epn.edu.ec

GLORIA MARICELA PILACUÁN TEPUD gloria.pilacuan@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACÍS TRONCOSO, MSc. mercedes.villacis@epn.edu.ec

Quito, junio 2020

## **DECLARACIÓN**

Nosotras Evelin Alexandra Arévalo Arévalo y Gloria Maricela Pilacuán Tepud, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Evelin Alexandra Arévalo Arévalo	Gloria Maricela Pilacuán Tepuc

# **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Evelin Alexandra Arévalo Arévalo y Gloria Maricela Pilacuán Tepud, bajo mi supervisión.

Ing. Eugenia de las Mercedes Villacís Troncoso MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

#### **AGRADECIMIENTO**

A mi Padre Celestial por regalarme día a día la vida y haberme permitido culminar uno de mis más grandes sueños, por darme la salud, la fortaleza y la sabiduría que necesité para conseguirlo, pues el camino no fue fácil, tuve que superar muchas pruebas, pero fue Él quien puso ángeles en mi vida quienes me ayudaron a levantarme y seguir. Él nunca me ha abandonado a pesar que yo le he fallado muchas veces. Y a mi madre del cielo, la Virgen María por cubrirme con su manto y guiar mis pasos por un buen camino.

En segundo lugar quiero agradecer a mi hermosa familia, a mis padres por inculcarme desde pequeña principios y valores, que me han servido en la vida para hacer las cosas correctas y con ética, por darme la mejor herencia que los padres pueden dar, mi fe en Dios y el estudio. Especialmente quiero agradecer a mi mamá por absolutamente todo lo que hizo por mí, por su infinito amor, por quedarse hasta altas horas de la noche haciéndome compañía mientras estudiaba, por sus palabras de aliento, por cuidarme y darme siempre lo mejor. Sé que desde el cielo seguirá cuidando de todos nosotros, siempre con su bendición amada mamá.

A mis hermanos por haber estado junto a mí en todo momento, apoyándome para hacer mi sueño realidad. Cari gracias por ser mi gran ejemplo, la mejor hermana mayor que alguien puede tener, te agradezco mucho por siempre haberme salvado de cualquier apuro que tenía, Eri por consolarme en mis tristezas, escucharme y darme tus sabios consejos, Charlie por ayudarme y comprenderme.

Quiero agradecerle tanto a mi amado novio Andrés por haber llegado a mi vida, por ser tan generoso y paciente conmigo, por regalarme lo más valioso que alguien puede dar, su tiempo, por acompañarme en mis malas noches, por ser mi maestro en lo académico y aún más, por enseñarme a perder mis miedos y confiar en mi misma y por amarme como sólo él sabe hacerlo. Gracias por confiar en mí e inspirarme a querer dar siempre lo mejor.

Gracias a mi mejor amigo Alexis Armas a quien conocí desde el inicio de mi vida universitaria y me ha ayudado a llegar hasta aquí, gracias por esa valiosa amistad,

por ayudarme cuando más lo necesité y por todos los momentos que vivimos juntos gracias a la u.

Gracias a todos mis amigos por ser parte de mi vida: a Liz Egas mi mejor amiga por estar conmigo en los momentos más difíciles, a Marce y Mari Mercedes, por todas las experiencias juntas, una amistad desde prepo y que ni el tiempo ha podido acabar, a Javi Baque por siempre estar dispuesto a ayudarme en lo que necesitaba, a Paty Narváez por haberme animado a aplicar para una beca, gracias a la cual pude culminar mis estudios, a Gaby, Maritza, Juanpi, Jona, Edi, por haber compartido tantas anécdotas de diferente índole a lo largo de estos años en la universidad, a todos los llevaré siempre en mi corazón.

A mi amiga y compañera de tesis Maricela, por tu paciencia, compresión y apoyo en los momentos cruciales de este camino, por tu sensibilidad y bondad de ponerte en mi lugar y ayudarme cuando no alcanzaba a hacer algo.

No podría dejar de dar las gracias infinitas a mis tías queridas María Esperanza y María Dolores por estar pendientes de mí, ayudándome de la mejor manera que podían hacerlo, pensando en mi bienestar y dándome ese impulso que necesitaba para seguir.

También quiero agradecer a mi querida Escuela Politécnica Nacional, por abrirme sus puertas, son tantos recuerdos que dejo en ella, pues me brindó la oportunidad de conocer amigos valiosos y únicos, así como a grandes ingenieras e ingenieros, que más que ser profesores fueron mis maestros. Gracias Poli porque me ayudaste a forjarme y demostrarme a mí misma que con esfuerzo y dedicación los sueños si se hacen realidad.

A mi tutora, ingeniera Eugenia de las Mercedes Villacís, por haber estado junto a nosotras desde el principio al fin, compartiéndonos sus conocimientos, ofreciéndonos su ayuda y por haber sido nuestra gran guía en este caminar. Así mismo mis más grandes agradecimientos a todo el personal del laboratorio LEMSUR quienes nos brindaron su ayuda e hicieron de este trabajo más llevadero,

V

especialmente a David Nates por habernos ayudado con los ensayos en pleno paro

nacional en octubre cuando la u cerraba sus puertas, a don Freddy por apoyarnos

totalmente con la mínima cosa que necesitábamos.

Mi mamá siempre me enseñó que no hay nada más bonito que ser agradecida, así

que a todos ustedes que de alguna manera me han ayudado en este camino, de

todo corazón ¡MUCHAS GRACIAS!

Evelin Alexandra Arévalo Arévalo

#### **AGRADECIMIENTO**

A mi padre Victoriano, por luchar por sus hijos con el corazón, gracias por cada consejo, gracias por nunca dejarnos cuando nos caíamos y ser uno de los pilares más fuertes en la familia, gracias por confiar en nosotros y aunque estemos lejos siempre pienso en ti papá.

A mi madre Germania, por ser una mujer de carácter fuerte, y formar el mejor equipo con mi padre, por demostrarnos que siempre hay una solución para cualquier problema, y aunque hablamos casi todos los días quiero que sepan que aún los extraño mucho.

A mi hermana Adriana, por enseñarme que los sueños son parte del corazón y que hay que luchar siempre por ellos.

A mi hermano Fernando, por escucharme siempre, por estar ahí en las buenas y malas, por darme la mano en situaciones difíciles, por consolarme cuando extrañaba a mis padres y me sentía sola.

A mi hermano Armando, por enseñarme a ser fuerte en la vida y perseguir mi independencia, por apoyarme y cuidarme.

A mis sobrinos Jordan y Janela, que son la felicidad y ternura de nuestra familia.

A Vinicio por ayudarme a crecer profesionalmente, por compartir sus conocimientos e inspirarme inconscientemente a mejorar cada día.

A Juan Carlos, Wendy y Wilmer, por ser apoyo y estar en las situaciones bonitas y difíciles de la universidad y de la vida, personas valiosas con las cuales hemos formado una fuerte y bonita amistad.

A Eve, porque logramos juntas nuestro sueño, por ser una mujer muy fuerte y valiosa, gracias por estar ahí siempre, te mereces lo mejor en la vida.

A la Ing. Mercedes Villacís, por ser nuestra tutora en este proyecto y guiarnos para culminar este trabajo de la mejor manera, aunque haya estado lejos muchas gracias

VII

por no dejarnos solas. De la misma manera a las personas que conforman el

LEMSUR por su trabajo y paciencia en el proceso experimental.

A los amigos y compañeros que formaron parte de este proceso y que siempre

estarán en mi corazón: Karito, Luis, Andy, Majo, Andrés, Juanpi, Gladys, Maritza,

Edison, Jonathan y Rita.

Finalmente, gracias a los profesores y a la Escuela Politécnica Nacional por permitir

mi formación como profesional.

Gloria Maricela Pilacuán Tepud

#### **DEDICATORIA**

A mi amada mamá Carmita †, quien fue y seguirá siendo mi más grande inspiración para no darme por vencida y querer lograrlo todo en la vida, quien a pesar de su enfermedad siempre se mantuvo fuerte y optimista de que todo saldría bien, ella siempre confío en mí, con firmeza y a la vez ternura me alentaba a seguir. Fue quien me enseñó que si ella pudo vencer todas las dificultades que se le presentó por el cáncer, yo podría vencer cualquier obstáculo que se me presentara en la vida.

A mi querido papá, Carlos, por ser mi gran ejemplo de paciencia, responsabilidad, entrega y amor a su familia. Por ser un hombre extraordinario que me ha enseñado que cuando se ama de verdad todo es posible, por estar junto a nosotros y especialmente junto a mi mami acompañándola a sobrellevar su enfermedad.

A mis adorados hermanos Cari, Eri y Charlie por ser mi apoyo absoluto, por su generosidad y comprensión total, tratando de ponerse en mi lugar, por aconsejarme, por escucharme, por darme palabras de aliento cuando sentía que ya no podía más, por secar mis lágrimas cuando las cosas no iban como deseaba y festejar mis triunfos cuando daba un paso más hacia mi gran meta.

A mi amada sobrina, mi pequeña María Laura, que desde su llegada a este mundo ha sido la luz de mis ojos, un angelito que Dios envió para hacerme feliz. Ella me ha enseñado que las cosas más hermosas se presentan de forma sencilla, con su inocencia y espontaneidad me ha recordado lo bonito que es la infancia.

A mi amado novio Andrés por estar junto a mí de forma incondicional, acompañándome y ayudándome a hacer uno de mis sueños realidad. Por ser mi mejor amigo, mi cómplice y confidente. Ha sido una bendición que nuestras vidas se hayan cruzado, lo más lindo que pude haber encontrado en esta gran Universidad y la más grande recompensa que pude tener por estudiar aquí.

A todos ustedes dedico este gran trabajo, ustedes son y serán mi pilar fundamental, mi tesoro y más preciado regalo. En especial se lo dedico en

IX

honor a la memoria de una guerrera y extraordinaria mujer, mi mamá, que desde el cielo seguirá derramando sus bendiciones e intercediendo por toda su familia. Los amo con todo mi corazón.

Evelin Alexandra Arévalo Arévalo

### **DEDICATORIA**

A Dios, por llegar a este día junto a mi familia completa, por enseñarme que no hay más dicha que una familia feliz, por escucharme y ponerme pruebas que nunca pensé pasar, pero que me han hecho valorar con el corazón lo que tengo.

A mis Padres Victoriano y Germania, por todo su esfuerzo, dedicación y amor con sus hijos, por celebrar cada triunfo y llenarnos de fuerza cuando sentimos tristeza, gracias por nunca dejarnos solos.

A mis hermanos Adriana, Fernando y Armando por ser mis guías en la vida al igual que nuestros padres, por compartir los años más bonitos de la niñez cuando crecimos y vivimos junto a ellos.

Gloria Maricela Pilacuán Tepud

# **CONTENIDO**

DECLARACIÓN	
CERTIFICACIÓN	
AGRADECIMIENTO	
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VIII
DEDICATORIA	X
CONTENIDO	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XXI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XXIV
ÍNDICE DE IMÁGENES	XXV
RESUMEN	XXVI
ABSTRACT	XXVIII
PRESENTACIÓN	XXIX
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	
CAPÍTULO II	6
ESTADO DEL ARTE	6
2.1 BIBLIOGRAFÍA REVISADA	
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO	9
3.1 GENERALIDADES	9
3.1.1 INTRODUCCIÓN	9

3.1.2	COMPONENTES DEL HORMIGÓN	10
3.2 CAF	RACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	12
3.2.1	CEMENTO	12
3.2.2	AGREGADO FINO	20
3.2.3	AGREGADO GRUESO	27
3.3 DO	SIFICACIÓN DE HORMIGONES	41
3.3.1	INTRODUCCIÓN	41
3.3.2	SELECCIÓN DE PROPORCIONES	42
3.3.3	RELACIÓN AGUA/CEMENTO	43
3.3.4	ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN	43
3.3.5	PROCEDIMIENTO PARA DOSIFICACIÓN	45
3.4 PAT	FRONES DE ANÁLISIS	60
3.4.1	HORMIGÓN PATRÓN	60
3.4.2	CILINDROS PATRÓN	63
3.4.3	NÚCLEOS PATRÓN	63
3.5 EXT	FRACCIÓN DE NÚCLEOS	65
3.6 ENS	SAYOS DE LABORATORIO	66
	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
3.6.2	MÓDULO DE ELASTICIDAD	68
CAPÍTULO	IV	.72
	OGÍA	
4.1 RE	ALIZACIÓN DE ENSAYOS	72
	EPARACIÓN DE MUESTRAS	
4.2.1	MOLDEADO Y PREPARACIÓN DE CILINDROS	72
4.2.2	EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE NÚCLEOS	74
4.3 ENS	SAYO DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS Y MUESTRAS	
PATRÓN	l	78
4.3.1	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA	
COMF	PRESIÓN	78
4.3.2	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD 1	03

4.4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CORRELACION	
ENTRE MUESTRAS PATRÓN Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS PARA	
CADA TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO	108
CAPÍTULO V	110
RESULTADOS Y DISCUSIONES	110
5.1 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
ENTRE CILINDROS PATRÓN Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE	
DIFERENTE DIÁMETRO PARA CADA TAMAÑO DE AGREGADO	
GRUESO	110
5.1.1 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/8"	110
5.1.2 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/4"	113
5.1.3 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 1-1/2"	115
5.1.4 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 2"	118
5.2 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ENTRE	
MUESTRAS PATRÓN Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS PARA CADA	
TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO	120
5.2.1 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/8"	121
5.2.2 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/4"	122
5.2.3 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 1-1/2"	124
5.2.4 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	
PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 2"	126
CAPÍTULO VI	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128

6.1	CONCLUSIONES	128
6.2	RECOMENDACIONES	130
REFE	RENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
ANEX	OS	134

# **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 3. 1 Propiedades del cemento.	. 20
Tabla 3. 2 Requisitos de gradación del agregado fino.	. 22
Tabla 3. 3 Propiedades del agregado fino.	. 27
Tabla 3. 4 Tamaño mínimo de la muestra para la prueba de árido grueso	. 28
Tabla 3. 5 Requerimientos de gradación para áridos gruesos	. 29
Tabla 3. 6 Recipientes en función el tamaño máximo del agregado grueso	. 33
Tabla 3. 7 Gradación de la muestra para partículas mayores a 19 mm en el	
ensayo de abrasión	. 36
Tabla 3. 8 Carga abrasiva de acuerdo a la gradación de la muestra	. 37
Tabla 3. 9 Gradación de la muestra para las partículas menores a 37.5 mm	
en el ensayo de abrasión	. 38
Tabla 3. 10 Propiedades para los cuatro tipos de agregado grueso	. 39
Tabla 3. 11 Asentamientos para diferentes tipos de obra	. 45
Tabla 3. 12 Tamaño máximo de agregado grueso recomendado de acuerdo	
al tipo de obra	. 45
<b>Tabla 3. 13</b> Cantidad de agua, en litros por m³ de hormigón, para mezclado	
según el tamaño máximo del árido grueso y el asentamiento	. 46
Tabla 3. 14 Relación agua/cemento, para diferentes resistencias a	
compresión	. 46
<b>Tabla 3. 15</b> Volumen aparente de árido grueso, en m³ por unidad de volumen	
de hormigón	. 47
Tabla 3. 16 Parámetros para la dosificación con árido grueso 3/8"	. 49
Tabla 3. 17 Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla	
del hormigón para agregado 3/8"	. 50
Tabla 3. 18 Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla	
del hormigón para agregado 3/8"	. 51
Tabla 3. 19 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 3/8"	. 51
Tabla 3. 20 Parámetros para la dosificación con agregado grueso 3/4"	. 52

Tabla 3. 21 Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla
del hormigón para agregado 3/4"53
Tabla 3. 22 Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla
del hormigón para agregado 3/4"54
Tabla 3. 23 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 3/4" 54
Tabla 3. 24 Parámetros para la dosificación con agregado grueso 1-1/2" 55
Tabla 3. 25 Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla
del hormigón para agregado 1-1/2"
Tabla 3. 26 Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla
del hormigón para agregado 1-1/2"57
Tabla 3. 27 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 1-1/2".
57
Tabla 3. 28 Parámetros para la dosificación con agregado grueso 2"      58
Tabla 3. 29 Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla
del hormigón para agregado 2"59
Tabla 3. 30 Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla
del hormigón para agregado 2"
Tabla 3. 31 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 2"
Tabla 3. 32 Rango de variación de resistencia de cilindros.    63
Tabla 3. 33 Factor de corrección de la resistencia a la compresión en
núcleos64
Tabla 4. 1 Requisitos para moldear cilindros patrón.    73
Tabla 4. 2 Tolerancias para las edades de las muestras.    78
Tabla 4. 3 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 3/8"
a diferentes edades
Tabla 4. 4 Promedios de resistencia a compresión de cilindros para
agregado grueso 3/8" a diferentes edades después de aplicar límites de
confianza al 90%.

Tabla 4. 5 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	81
Tabla 4. 6 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con	
broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	82
Tabla 4. 7 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	82
Tabla 4. 8 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con	
broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	83
Tabla 4. 9 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	83
Tabla 4. 10 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	84
Tabla 4. 11 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	84
Tabla 4. 12 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	85
Tabla 4. 13 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso	
3/4" a diferentes edades	86
Tabla 4. 14 Promedios de resistencia a compresión de cilindros para	
agregado grueso 3/4" a diferentes edades después de aplicar límites de	
confianza al 90%.	87
Tabla 4. 15 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	87
Tabla 4. 16 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	
después de aplicar límites de confianza al 90%.	88

Tabla 4. 17 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	88
Tabla 4. 18 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	89
Tabla 4. 19 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	89
Tabla 4. 20 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	90
Tabla 4. 21 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	90
Tabla 4. 22 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	91
Tabla 4. 23 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso	
1-1/2" a diferentes edades.	92
Tabla 4. 24 Promedios de resistencia a compresión de cilindros para	
agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades después de aplicar límites de	
confianza al 90%	92
Tabla 4. 25 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"	93
Tabla 4. 26 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso	
1-1/2" después de aplicar límites de confianza al 90%	93
Tabla 4. 27 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"	94
Tabla 4. 28 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 1 1/2"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	94

Tabla 4. 29 Resistencia a compresión de nucleos extraidos con broca de	
diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"	. 95
Tabla 4. 30 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	. 95
Tabla 4. 31 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"	. 96
Tabla 4. 32 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	. 96
Tabla 4. 33 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 2"	
a diferentes edades	. 97
Tabla 4. 34 Promedios de resistencia a compresión de cilindros para	
agregado grueso 2" a diferentes edades luego de aplicar límites de confianza	
al 90%	. 98
Tabla 4. 35 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 2"	. 98
Tabla 4. 36 Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos	
con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades con agregado grueso 2"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	. 99
Tabla 4. 37 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 2"	. 99
Tabla 4. 38 Promedios de resistencia a compresión de los núcleos extraídos	
con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades con agregado grueso 2"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	100
Tabla 4. 39 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de	
diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 2"	100
Tabla 4. 40 Promedios de resistencia a compresión para núcleos extraídos	
con broca de diámetro 3" a diferentes edades con agregado grueso 2"	
después de aplicar límites de confianza al 90%	101

Tabla 4. 41 Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de
diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 2"
Tabla 4. 42 Promedios de resistencia a compresión de los núcleos extraídos
con broca de diámetro 4" a diferentes edades con agregado grueso 2"
después de aplicar límites de confianza al 90%
Tabla 4. 43 Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado
grueso 3/8" a los 28 y 90 días
Tabla 4. 44 Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado
grueso 3/4" a los 28 y 90 días
Tabla 4. 45 Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado
grueso 1-1/2" a los 28 y 90 días 107
Tabla 4. 46 Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado
grueso 2" a los 28 y 90 días
Tabla 5. 1 Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos
y cilindros patrón, para agregado grueso 3/8" a diferentes edades 111
Tabla 5. 2 Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos
y cilindros patrón, para agregado grueso 3/4" a diferentes edades 113
Tabla 5. 3 Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos
y cilindros patrón, para agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades 116
Tabla 5. 4 Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos
y cilindros patrón, para agregado grueso 2" a diferentes edades
Tabla 5. 5 Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y
cilindros patrón para agregado grueso 3/8" a diferentes edades 121
Tabla 5. 6 Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y
cilindros patrón para agregado grueso 3/4" a diferentes edades 123
Tabla 5. 7 Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y
cilindros patrón para agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades 124
Tabla 5. 8 Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y
cilindros patrón para agregado grueso 2" a diferentes edades

# ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3. 1 Curva granulométrica para el árido fino	7
Gráfica 3. 2 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 3/8" 4	0
Gráfica 3. 3 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 3/4" 4	0
Gráfica 3. 4 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 1-1/2" 4	1
Gráfica 3. 5 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 2"	1
Gráfica 4. 1 Resumen de la resistencia a compresión para agregado grueso	
3/8" de núcleos y cilindros 8	6
Gráfica 4. 2 Resumen de la resistencia a compresión para agregado grueso	U
3/4" de núcleos y cilindros 9	1
Gráfica 4. 3 Resumen de la resistencia a compresión para agregado 1-1/2"	'
de núcleos y cilindros9	7
Gráfica 4. 4 Resumen de la resistencia a compresión para agregado 2" de	1
núcleos y cilindros	12
·	_
Gráfica 4. 5 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 3/8" de núcleos y cilindros	· E
	Э
Gráfica 4. 6 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 3/4" de	
núcleos y cilindros	О
Gráfica 4. 7 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 1-1/2" de	· –
núcleos y cilindros	1
Gráfica 4. 8 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 2" de	
núcleos y cilindros	8
Gráfica 5. 1 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 3/8" a los 14 días11	1
Gráfica 5. 2 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 3/8" a los 28 días11	2
Gráfica 5. 3 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 3/8" a los 56 días 11	2

Gráfica 5. 4 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 3/4" a los 14 días	114
Gráfica 5. 5 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 3/4" a los 28 días	114
Gráfica 5. 6 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 3/4" a los 56 días	115
Gráfica 5. 7 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 1-1/2" a los 14 días	116
Gráfica 5. 8 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 1-1/2" a los 28 días	117
Gráfica 5. 9 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 1-1/2" a los 56 días	117
Gráfica 5. 10 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 2" a los 14 días	119
Gráfica 5. 11 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 2" a los 28 días	119
Gráfica 5. 12 Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos	
para agregado 2" a los 56 días	120
Gráfica 5. 13 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 3/8" a los 28 días	122
Gráfica 5. 14 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 3/8" a los 90 días	122
Gráfica 5. 15 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 3/4" a los 28 días	123
Gráfica 5. 16 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 3/4" a los 90 días	124
Gráfica 5. 17 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 1-1/2" a los 28 días	125
Gráfica 5. 18 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 1-1/2" a los 90 días	125

Gráfica 5. 19 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 2" a los 28 días	126
Gráfica 5. 20 Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro	
de núcleos para agregado 2" a los 90 días	127

# ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3. 1 Agregados de la mina de Fucusucu de San Antonio de	
Pichincha	. 10
Fotografía 3. 2 Agregado grueso de cuatro diámetros diferentes y arena	. 11
Fotografía 3. 3 Reactivo y cemento en el frasco de L'Chatelier	. 14
Fotografía 3. 4 Ensayo de densidad aparente (compactada) del cemento	. 15
Fotografía 3. 5 Ensayo de consistencia normal del cemento	. 18
Fotografía 3. 6 Ensayo Tiempos de fraguado con el método de Vicat	. 19
Fotografía 3. 7 Tamizadora de agregados finos	. 21
Fotografía 3. 8 Determinación de la arena en condición s.s.s	. 23
Fotografía 3. 9 Ensayo de densidad aparente del agregado fino	. 26
Fotografía 3. 10 Tamizadora y tamices de Tyler	. 29
Fotografía 3. 11 Determinación del peso del material sumergido	. 32
Fotografía 3. 12 Ensayo densidad aparente compactada	. 34
Fotografía 3. 13 Máquina de Los Ángeles más carga abrasiva	. 35
Fotografía 3. 14 Volumen de hormigón colocado en molde	. 48
Fotografía 3. 15 Rotura de muestra a compresión simple	. 67
Fotografía 3. 16 Rotura de una muestra de hormigón con strain gauge y	
puente de Wheatstone	. 71
Fotografía 4. 1 Moldeado de cilindros patrón.	. 73
Fotografía 4. 2 Procedimiento para extracción de núcleos.	. 75
Fotografía 4. 3 Núcleos cortados para cumplir la relación altura/diámetro	. 76
Fotografía 4. 4 Núcleos enfundados y sellados	. 76
Fotografía 4. 5 Núcleos numerados	. 77
Fotografía 4. 6 Núcleos y cilindros con capping	. 77
Fotografía 4. 7 Ubicación de strain gauge en las muestras de hormigón	103

# ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 3. 1 Cemento Holcim tipo GU.	. 12
Imagen 3. 2 Ensayo de asentamiento del hormigón fresco	. 44
Imagen 3. 3 Fisuras por adherencia en el hormigón	. 61
Imagen 3. 4 Incremento y alargamiento de fisuras de adherencia por	
incremento de esfuerzo axial	. 61
Imagen 3. 5 Fisuras de adherencia más las fisuras de mortero	. 62
Imagen 3. 6 Fisuras del agregado grueso.	. 62
Imagen 3. 7 Porcentaje de resistencia a compresión de acuerdo al curado	
en el hormigón	. 67
Imagen 3. 8 Esquema del esfuerzo-deformación con módulos tangente y	
secante	. 69
Imagen 3. 9 Partes de un Strain gauge	. 70
Imagen 4. 1 Esquema de patrones de fractura típicos en compresión de	
muestras cilíndricas de hormigón	. 79

#### RESUMEN

El presente proyecto muestra la influencia que tiene el tamaño máximo del agregado grueso del hormigón en la resistencia a la compresión simple y módulo de elasticidad en núcleos extraídos de diámetros de 1-1/4", 2", 3" y 4", comparando los resultados hallados de estos parámetros con respecto a cilindros patrón establecidos por las normas vigentes.

Para efectuar este análisis se realizó la fundición de 4 muestras constituidas de diferentes tamaños de agregado grueso de 3/8", 3/4", 1-1/2" y 2" y un mismo tipo de agregado fino. Se llevó a cabo la dosificación de cada muestra con la finalidad de alcanzar una resistencia a compresión simple de 20.6 MPa a los 28 días, para lo cual se efectuó la caracterización de los materiales a través de ensayos de laboratorio, para el cemento: densidad real, densidad aparente suelta y compactada, consistencia normal, tiempo inicial y final de fraguado; y para los agregados fino y grueso: ensayo de granulometría y determinación del módulo de finura, densidad real en superficie saturada seca (Dsss), porcentaje de absorción, peso unitario (densidad aparente) compactada y suelta y para el agregado grueso adicionalmente abrasión.

Se obtuvieron un total de 220 muestras, 44 cilindros y 176 núcleos: 3 cilindros por cada muestra fundida y 3 núcleos extraídos con los 4 diferentes tamaños de broca por cada muestra, todos estos asignados para el ensayo de resistencia a la compresión simple para los 14, 28 y 56 días de edad. Así como 4 cilindros y 16 núcleos destinados al ensayo para determinar el módulo de elasticidad a los 28 y 90 días, respectivamente, dando un total de 8 cilindros y 32 núcleos.

Una vez realizados los ensayos se pudo comprobar que los resultados de resistencia a compresión de los núcleos difieren con los valores de los cilindros patrón para cada tamaño de agregado grueso a las diferentes edades, adicionalmente se observó que la selección del diámetro del núcleo para evaluar la resistencia a la compresión se debe hacer teniendo en cuenta el tamaño de agregado grueso con el que está formado el hormigón a valorar.

Finalmente, los valores de módulo de elasticidad de todas las muestras resultaron heterogéneos. A mayor tamaño de agregado grueso y mayor diámetro del núcleo existió menor porcentaje de variación del módulo de elasticidad.

#### **ABSTRACT**

The present study shows the influence of the maximum size of the coarse aggregate of the concrete on the simple compressive strength and modulus of elasticity in extracted cores with diameters of 1-1/4", 2", 3" and 4", comparing the results found of these parameters with respect to standard cylinders established by current regulations.

To carry out this analysis, 4 different size samples of coarse aggregate of 3/8", 3/4", 1-1/2" and 2" and the same type of fine aggregate were cast. Dosing of each sample was carried out in order to reach a simple compressive strength of 20.6 MPa in 28 days, for which the characterization of the materials was carried out through laboratory tests, for cement: real density, loose and compacted bulk density, normal consistency, initial and final setting time; and for fine and coarse aggregates: particle size determination and fineness modulus test, actual density on dry saturated surface (Dsss), absorption percentage, weight unit (bulk density) compacted and loose and for coarse aggregate additionally abrasion.

A total of 220 samples, 140 cylinders and 80 cores were obtained: 11 cylinders for each sample fused and 4 cores extracted with the 4 different diameter sizes, all assigned for the simple compression resistance test for the 14, 28 and 56 days old. As well as 4 cylinders and 16 cores destined to the test to determine the modulus of elasticity at 28 and 90 days, respectively.

Once the tests were carried out, it was possible to verify that the result of the compressive strength of the cores differ with the value of the standard cylinder for each size of coarse aggregate at the different ages. Additionally, it was observed that the selection of the core diameter to evaluate the compressive strength must be made by considering the size of the coarse aggregate with which the concrete to be evaluated is formed.

Finally, the elastic modulus value of all the samples were heterogeneous. The greater the size of the coarse aggregate and the greater the diameter of the core, the lower the percentage of variation in the modulus of elasticity.

## **PRESENTACIÓN**

El presente trabajo contiene siete capítulos que permiten analizar la influencia del tamaño de árido grueso en la resistencia a compresión y módulo de elasticidad mediante ensayos de laboratorio a núcleos de hormigón, que fueron extraídos con brocas diamantadas de diferente diámetro, mismos que se comparan con cilindros patrón.

En el capítulo uno se realiza la introducción a la resistencia a compresión real del hormigón por medio de la extracción de núcleos, describiendo las normas que rigen los diferentes procedimientos de ensayo del tema tratado, además, se describe los objetivos, alcance y justificación del presente proyecto.

El segundo capítulo contiene descripciones de diferentes autores respecto a los factores que inciden para que la resistencia a la compresión varíe entre cilindros y núcleos de hormigón. Para conocer la resistencia del hormigón, una forma es a través de la extracción de núcleos. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado con el procedimiento de determinación de la resistencia mediante este método, pues aspectos como el diámetro del núcleo, la dirección y modo de extracción, el curado, la relación L/D, el tamaño del árido grueso máximo que constituye el hormigón respecto al diámetro del núcleo, alteran los resultados de resistencia.

El tercer capítulo define las generalidades de la producción de hormigón, características de los materiales y el procedimiento para determinarlas tanto para el cemento, agregado fino y agregado grueso. También presenta la forma de obtener una dosificación adecuada, analizando factores de selección de proporciones, relación agua/cemento, y asentamiento en la mezcla de hormigón. Además, se describen los patrones de análisis para hormigón, cilindros y núcleos, se dan descripciones de extracción de núcleos y ensayos de laboratorio de resistencia a compresión y módulos de elasticidad.

El cuarto capítulo describe el procedimiento realizado para moldear, extraer y preparar las muestras para los ensayos de resistencia a compresión simple y

módulo de elasticidad, además se presenta los resultados con sus gráficas de resumen.

En el quinto capítulo se presenta las correlaciones y tendencias encontradas en el análisis.

En el sexto capítulo se emiten las conclusiones y recomendaciones del proyecto. Y en el capítulo siete se presenta la bibliografía que se ha tomado como referencia.

## **CAPÍTULO I**

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En las estructuras de hormigón se requiere conocer la resistencia a compresión real del hormigón, esto se puede realizar por medio de ensayos destructivos extrayendo núcleos, para determinar la calidad del hormigón y analizar las condiciones ya sea, para efectos de fiabilidad posterior a un evento sísmico, o cuando se desee hacer un rediseño de la estructura en general como el incremento de pisos, ampliaciones, reforzamientos, entre otros, (Hillbrecht, 2013).

Cada construcción tiene un tamaño diferente de árido grueso que no se observa a simple vista. Se realiza la extracción de núcleos con el objetivo de determinar la resistencia real del hormigón colocado en obra, característica que depende también del tamaño de agregado grueso que se utilice. Además, se extrae núcleos para garantizar la calidad del hormigón, cuando los resultados de las pruebas de resistencia de los cilindros moldeados de acuerdo a la norma son desfavorables. La extracción de especímenes también puede realizarse para proporcionar información acerca de la resistencia en estructuras antiguas, (ASTM C42, 2018).

Los valores de resistencia para núcleos generalmente son menores que los valores obtenidos para los cilindros patrón moldeados y curados bajo norma, y que son ensayados a la misma edad. De acuerdo al ACI 318, el hormigón de donde provienen los núcleos se considera adecuado estructuralmente si el promedio de resistencia de tres muestras extraídas es al menos el 85% de la resistencia especificada en el diseño, y ninguna resistencia individual de los núcleos sea menor al 75% del valor referencial, (ASTM C42, 2018).

De acuerdo a la ASTM C42 los especímenes extraídos para determinar la resistencia a compresión deben tener 94 mm como diámetro o al menos dos veces el tamaño máximo del árido grueso, de ellos el valor que resulte mayor. No obstante, en la mayoría de casos no es posible extraer núcleos de diámetros grandes debido a la disposición del acero de refuerzo en los elementos

estructurales y se extraen núcleos de menor diámetro. Se requiere establecer una correlación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad entre los núcleos y una muestra patrón, evaluando el efecto en estos parámetros, por la disminución del diámetro respecto al sugerido por la norma.

El hormigón en las estructuras ocupa uno de los rubros más influyentes dentro del costo de la obra, su control es un pilar fundamental en la optimización de los recursos, además, garantiza la durabilidad del hormigón y su correcto funcionamiento dentro de la estructura. Entre los diferentes factores que pueden afectar la calidad del hormigón tanto en su fabricación y puesta en obra se encuentra: la variación en la dosificación y materiales, lo cual provoca el deterioro prematuro de las estructuras, (Haro, 2014).

El ensayo de resistencia a compresión de los núcleos permite obtener la resistencia verdadera que posee el hormigón de una estructura considerando un rango de porcentaje sugerido en la norma ASTM C42. En el presente trabajo se realiza los ensayos de laboratorio para determinar la variación de resistencia a compresión de núcleos, experimentando con diferentes diámetros de broca para la extracción y distintos tamaños de árido grueso para comparar con los cilindros normados de cada dosificación.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la influencia del tamaño de agregado grueso en la resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad mediante ensayos de laboratorio de núcleos extraídos de hormigón de diferente diámetro y compararlos con los cilindros patrón.

#### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar las características de cada uno de los materiales a utilizarse mediante ensayos de granulometría, densidad real en estado saturado con la superficie seca (Dsss), porcentaje de absorción, peso unitario compactado y suelto (densidad aparente), contenido de humedad para obtener resultados satisfactorios.
- Establecer una dosificación correcta de los materiales a través de cálculos pertinentes en fuentes consultadas para obtener una resistencia a la

- compresión de 20.6 MPa (210 Kg/cm²) y de esta forma obtener el patrón a comparar.
- c. Extraer los núcleos de hormigón y prepararlos mediante la normativa respectiva.
- d. Realizar el ensayo de compresión simple y medir el módulo de elasticidad con el método de Strain gauges.
- e. Determinar una correlación por diámetro de cada tamaño de agregado y cada tamaño de núcleo extraído, mediante los resultados obtenidos en los ensayos con el fin de mejorar la evaluación existente de la calidad del hormigón.

### 1.3 ALCANCE

El presente proyecto tiene como finalidad correlacionar los valores resultantes de resistencia a la compresión simple y el módulo de elasticidad de núcleos de hormigón de diámetro 1-1/4", 2", 3" y 4" con cilindros patrón ensayados a edades de 14, 28 y 56 días para evaluar la resistencia y a edades de 28 y 90 días para evaluar el módulo de elasticidad.

Se establece el diseño del hormigón para alcanzar una resistencia a compresión simple de 20.6 MPa (210 kg/cm²) a los 28 días, con agregado grueso de tamaño 3/8", 3/4", 1-1/2" y 2".

Los ensayos de laboratorio para la caracterización de materiales serán: Para el cemento; el ensayo de densidad real, densidad aparente suelta y compactada, consistencia normal del cemento, tiempo inicial y final del fraguado. Para la arena; granulometría determinando el módulo de finura, densidad real del material en estado saturado con la superficie seca (s.s.s), capacidad de absorción en porcentaje, densidad aparente suelta y compactada. Para el agregado grueso los ensayos de granulometría para determinar el módulo de finura, densidad real en condiciones de estado saturado con la superficie seca (s.s.s), capacidad de absorción que tiene material en porcentaje, densidad aparente compactada y suelta, es decir, el porcentaje de pérdida del material o abrasión.

La caracterización de materiales se basa en las normas ASTM, la dosificación del hormigón se efectuará de acuerdo a la norma ACI 318, el muestreo de cilindros se

realizará con la norma ASTM C31, mientras el módulo de elasticidad será determinado de acuerdo a la ASTM C469M y el esfuerzo a compresión del hormigón se realizará bajo la ASTM C39, para la extracción de núcleos se tomará como referencia los criterios de la norma ASTM C42.

Concluida la fase experimental se establecen las correlaciones de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad, basada en núcleos de diferentes diámetros extraídos de hormigones con diferentes tamaños de árido grueso. Emitiendo conclusiones y recomendaciones respecto a la validez de usar núcleos con diámetros menores al establecido en la norma ASTM C42, dejando información que respalden los criterios técnicos y una base para futuras investigaciones.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

A partir de que el hormigón fue usado a gran escala la resistencia a compresión se convirtió en la medida más común de desempeño, se mide fracturando probetas cilíndricas en la máquina de ensayos de compresión. Si en cada nivel de esfuerzo se registra la deformación unitaria del material, se podría generar la curva que relaciona estos parámetros y se puede determinar el módulo de elasticidad mismo que se considera un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de hormigón ya que se utiliza en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales, (Ascanio, 2015).

Actualmente uno de los métodos para determinar la resistencia del hormigón posterior a su colocación en obra es la extracción de núcleos, la norma ASTM C42 recomienda un diámetro de 94 mm, en algunos casos esto podría provocar el corte del acero de refuerzo en los elementos estructurales. Generalmente no se consideran brocas de menor diámetro para la extracción ni el tamaño del agregado grueso, este trabajo apegado a la norma puede conllevar mayor esfuerzo y costo.

La necesidad de tener estudios fiables de extracción de núcleos considerando diferentes tamaños de agregado grueso y diferentes diámetros de brocas de extracción permite realizar consideraciones adecuadas al momento de avalar la resistencia a compresión simple del hormigón de una obra civil, debido a que es importante conocer la calidad del material presente en los elementos, posterior a su construcción o después de un evento sísmico, para evaluar si la estructura se

encuentra aún en condiciones apropiadas de ser habitada o utilizada, esto ha motivado la realización del presente proyecto.

El estudio de parámetros como tamaños del agregado grueso, diámetros de brocas de extracción y su relación con la resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad ampliará el conocimiento para disminuir costos, aumentar la probabilidad de no afectar al acero estructural en las extracciones y obtener resultados confiables de los parámetros analizados. Además, abre líneas de investigación específicas relacionadas con la evaluación del hormigón de las obras, mediante la extracción de núcleos.

# CAPÍTULO II

### ESTADO DEL ARTE

## 2.1 BIBLIOGRAFÍA REVISADA

En varios países se ha realizado estudios de la variación de la resistencia a compresión en núcleos de hormigón, respecto al diámetro o a su relación altura/diámetro u otros factores y su influencia en el comportamiento de las estructuras. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

El mayor problema con las pruebas de núcleos de hormigón. Cuando la resistencia de los cilindros moldeados de curado estándar no cumple con los criterios de aceptación de la ACI-318, se debe analizar la existencia de problemas en el curado y prueba de los cilindros. Hay que tener en cuenta la temperatura de los cilindros de hormigón durante el inicio del periodo de curado, puesto que a medida que la temperatura del hormigón aumenta a temprana edad, la resistencia a los 28 días disminuye, así mismo se debe verificar el grado de compactación del hormigón en los cilindros y que éstos cumplan con las condiciones finales normadas para que no exista efectos perjudiciales en la resistencia del hormigón, (Burg R. & Carino J., 2001).

También se debe tener en cuenta el tipo de estructura, pues se permite la extracción de núcleos cuando se confirma la existencia de un posible hormigón de baja resistencia y que la capacidad de carga de la estructura pueda verse afectada significativamente en más de un grado, comprometiendo la seguridad de la misma. Aspectos como el tamaño, el número, la ubicación de extracción de núcleos, el transporte de los núcleos al laboratorio, los métodos de acondicionamiento antes de la prueba influyen al momento de decidir si ensayar o no núcleos de hormigón y ponen en duda la confiabilidad de los resultados. El acondicionamiento del núcleo es de vital importancia debido a que se puede producir gradientes de humedad en los núcleos que provocarían efectos adversos en las fuerzas medidas, lo ideal es probar los núcleos en una condición de humedad cercana a la que tiene in situ, (Burg R. & Carino J., 2001).

Resistencia al hormigón: Núcleos vs Cilindros. Los núcleos presentan resistencias a la compresión menores que la de los cilindros curados en laboratorio, sin embargo, si se consideran factores como el diámetro del núcleo, su altura, dirección de extracción y condiciones de curado de los cilindros, estos resultados pueden verse afectados, (Hincapié, Á., & Vidal, J., 2002).

La resistencia de los núcleos varía según el sitio de extracción, es decir, a la ubicación en elevación dentro del elemento, ya que la resistencia es mayor cuando se extrae de la capa inferior de un elemento estructural, debido a que el hormigón está más compacto que en las capas superiores. Otro factor a tener en cuenta es la dirección de extracción del núcleo, pues la resistencia de los núcleos extraídos perpendicularmente es un 5% inferior a la de los núcleos extraídos paralelamente, de la misma manera el diámetro del núcleo afecta la resistencia, pues resulta mayor a medida que se incrementa el diámetro, porque las microfisuras que se forman en el proceso de extracción, son menos significativas en los núcleos de mayor diámetro, (Hincapié, Á., & Vidal, J., 2002).

La diferencia entre la resistencia de núcleos y cilindros también se debe al proceso y eficacia de curado en obra y a que la estructura se encuentre expuesta a cambios bruscos de temperatura. La humedad de los núcleos es importante en el momento que se los va a ensayar, como por ejemplo un núcleo que se ensaya húmedo y además proviene de una estructura mal curada, dará como resultado la mitad de la resistencia de un cilindro curado en agua, así mismo si se ensaya un núcleo seco extraído de una estructura curada adecuadamente, el resultado de resistencia a la compresión será igual o parecido a la del cilindro ensayado bajo las normas establecidas (Hincapié, Á., & Vidal, J., 2002).

Evaluación de la resistencia del hormigón mediante núcleos de diámetro pequeño. Entre las causas de la variación de la resistencia del hormigón en núcleos de diferentes diámetros, se encuentran: el proceso de perforación y extracción de las muestras, pues parte de la energía y el esfuerzo empleado provoca daños en el núcleo en forma de micro grietas, debilitando o rompiendo el enlace de la matriz cementante con la superficie de las partículas del agregado, o causando grandes grietas hasta llevarlo a su ruptura. Otra de las causas es la relación que existe entre el tamaño máximo de agregado grueso y el diámetro del

núcleo, siendo esta situación más crítica para núcleos de diámetro pequeño, debido a que las partículas del agregado son grandes con respecto al tamaño del núcleo, provocando que el agregado se debilite y falle a corte. Así mismo la homogeneidad del material en la muestra de ensayo es menor comparado con un núcleo de mayor tamaño, influenciando en las características internas de falla, (Tuncan et al., 2008).

Otro aspecto a tener en cuenta en la evaluación de la resistencia a la compresión es la constitución del hormigón, el origen de los materiales con el que está hecho, pues la resistencia de cilindros estándar procedente de hormigones con agregados de piedra caliza triturada es algo superior a la de los hormigones producidos a partir de agregado natural, a pesar que las relaciones a/c de los hormigones de agregados naturales eran más bajas que la de agregado de piedra caliza triturada. Esto se atribuye a la estructura porosa del agregado natural y también a que su superficie lisa, debilita la unión entre el agregado y la pasta de cemento, (Tuncan et al., 2008).

La resistencia a la compresión de los núcleos aumenta cuando la relación L/D del núcleo disminuye debido a la disminución del volumen de la muestra. La influencia de esta relación resulta más evidente en núcleos de diámetro pequeño y el tamaño de árido máximo grueso afecta considerablemente la resistencia de los núcleos, ya que a mayor tamaño de árido grueso la resistencia de los núcleos disminuye gradualmente, aunque este efecto se acorta a medida que la edad del hormigón aumenta, (Tuncan et al., 2008).

# CAPÍTULO III

# MARCO TEÓRICO

### 3.1 GENERALIDADES

### 3.1.1 INTRODUCCIÓN

Un hormigón con las propiedades requeridas en obra, necesita un buen diseño y para conseguirlo es fundamental estudiar las propiedades de los elementos que lo conforman, se requiere caracterizar cada uno de ellos antes de realizar la dosificación. Se define al hormigón como un conglomerado formado por materiales pétreos (ripio y arena), más un material cementante (cemento) y agua, con lo cual una vez formada la mezcla y depositada en moldes se tiene una especie de piedra artificial, que es altamente resistente a las cargas de compresión, pero muy débil frente a una carga de tracción, (Guerrero & Pazmiño, 2017).

En el presente capítulo se indica los procedimientos de acuerdo a las normas ASTM y NTE INEN respectivas para la realización de los ensayos del cemento, agregado fino y agregado grueso para obtener las propiedades de estos elementos, y justificar las proporciones de volumen, el peso de los agregados y la cantidad de agua en la mezcla del hormigón obtenidas en las dosificaciones para este proyecto experimental.

Este capítulo también contiene la base teórica para determinar la resistencia a la compresión, pues este parámetro muestra la máxima capacidad que presenta el hormigón u otros materiales para soportar esfuerzos frente a una carga axial. Para el caso del hormigón el propósito es comprobar las resistencias a los 28 días de cilindros curados, y con la extracción de núcleos verificar la resistencia en estructuras existentes. El valor de resistencia a la compresión depende del valor establecido en el diseño, dosificación obtenida, el tipo de agregados, la calidad del proceso de fabricación, la efectividad de aditivos, el control en el colado del hormigón fresco y el curado del hormigón.

Adicionalmente este capítulo describe, los fundamentos para determinar el módulo de elasticidad como un factor para ser evaluado tanto para los cilindros, como para los núcleos extraídos de los elementos de hormigón. El módulo de elasticidad, es

utilizado para el cálculo de las deformaciones, se determina de acuerdo a la curva esfuerzo vs deformación unitaria, y se interpreta como una resistencia que posee el material frente a la deformación elástica.

### 3.1.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Dentro de los componentes del hormigón están los agregados fino y grueso que para el presente estudio se obtuvieron de la mina Fucusucu tres de San Antonio de la provincia de Pichincha, donde se explota material pétreo en diferentes diámetros, la Fotografía 3.1 muestra la producción de agregados en esta mina.





Fuente: Mina Fucusucu III Elaborado por: E. Arévalo – G. Pilacuán

El árido grueso se define como el material que se retiene en el tamiz No. 4 y superior, es decir las partículas que son mayores a 4.75 milímetros, por el contrario, el agregado fino será el material que pase el tamiz No. 4, de esta manera se diferencian las muestras para luego ser caracterizadas de forma independiente. Estos componentes pueden originarse en los ríos, o extraerse de las minas, donde la roca es triturada.

El material extraído de los ríos, se le llama canto rodado, debido a que su superficie es limada por el rozamiento entre partículas, es decir sus aristas desaparecen, y se vuelve un material redondeado, lo cual constituye una desventaja, debido a que la adherencia con la pasta de cemento no es fuerte, por otra parte, la roca que fue

fracturada en la mina presenta mayor adherencia con el cemento, debido a la rugosidad en su superficie y presencia de aristas.

Por su parte el agregado fino es un componente muy importante para el diseño de hormigón, se recomienda utilizar arena de río o de mar, luego de ser lavada con agua dulce para retirar el contenido orgánico y sales, esto ayudará a tener mejor adherencia y por tanto mayor densificación de los elementos de hormigón. La Fotografía 3.2 muestra cuatro tipos de agregado grueso y un tipo de agregado fino.

Fotografía 3. 2 Agregado grueso de cuatro diámetros diferentes y arena.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En conjunto los agregados fino y grueso constituyen un material de relleno relativamente barato y ocupan gran volumen en la mezcla, aportan para la resistencia al momento de soportar cargas, dan la resistencia a la abrasión, disminuyen los problemas producidos por la humedad, evitan el daño por agentes atmosféricos, y controlan la contracción del hormigón al momento de fraguado.

El cemento luego de combinarse con el agua constituye un aglutinante, tiene propiedades de cohesión y adherencia, que permite la unión de fragmentos minerales entre sí, rellenando los espacios entre partículas y formando un todo compacto.

El agua es un elemento importante, su presencia es indispensable para conseguir la trabajabilidad deseada, en función de la relación agua/cemento que también genera una resistencia específica prevista en el diseño. La cantidad de agua depende de la forma, tamaño máximo, y la gradación del árido grueso, si con los materiales que se obtiene del cálculo de la dosificación se necesita agua adicional, también se debe agregar una cantidad de cemento, con la finalidad de mantener la

relación agua/cemento. Esto es una consecuencia de la gradación del material y/o forma desfavorable respecto a la normal, (Luna, 2014).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

### **3.2.1 CEMENTO**

Uno de los materiales principales en la construcción es el cemento, existen algunas clases, se clasifican de acuerdo a los diferentes casos de uso o requerimientos. En Ecuador rige la norma NTE INEN 2380: 2011, para garantizar la calidad, en la norma se mencionan los tipos de cemento, uno de ellos es el que se presenta en la Imagen 3.1.

Imagen 3. 1 Cemento Holcim tipo GU.



Fuente: https://www.disensa.com.ec/

Este elemento es una mezcla de materiales arcillosos y calcáreos, además de otros que contienen sílice, hierro y alúmina, los cuales se procesan a grandes temperaturas formando el clinker, para luego ser mezclados con yeso, y procesado hasta obtener la harina de cemento, que se almacena posteriormente en sacos de 50 kg, (Orbe & Zúñiga, 2013).

El proceso para obtener el cemento resulta nocivo, causa contaminación en el medio ambiente, sin embargo, es importante y necesario seguir produciendo este material en cualquier parte del mundo, es por eso que se han implementado normas y tecnologías para la producción del cemento y así reducir la contaminación, las necesidades y requerimientos del constructor han dado paso para mejorar las propiedades y la calidad de este material.

#### Densidad real del cemento

La densidad real del cemento implica establecer una relación entre el peso de cemento y un volumen de reactivo (gasolina o kerosene), sin considerar el aire que existe entre partículas del material. Se tiene registros de ensayos que indican una densidad aproximada de 3,10 gr/cm<sup>3</sup> con Cemento Porland puro, este valor podría variar de acuerdo al manejo del cemento. La densidad real es importante para el cálculo de proporciones en el diseño de hormigón.

La norma ASTM C188 presenta el procedimiento para determinar este parámetro y se obtiene mediante el ensayo con el frasco de L'Chatelier que esta graduado volumétricamente:

- a. Se introduce el reactivo en el frasco de L'Chatelier, hasta que el nivel llegue entre 0 y 1 cm<sup>3</sup>.
- b. Se lee el volumen inicial (L<sub>1</sub>).
- c. Se pesa el frasco con el reactivo (P<sub>1</sub>).
- d. Se agrega una cantidad de cemento, aproximadamente 64 gr hasta que el reactivo suba en el frasco por el cuello y se encuentre entre 18 y 24 cm<sup>3</sup>.
- e. Se tapa y extrae el aire atrapado, agitando rotacionalmente todo el conjunto creado.
- f. Se deja en reposo y a continuación se lee las nuevas medidas L<sub>2</sub> y P<sub>2</sub> correspondientes al volumen y peso final respectivamente.

Se calcula la densidad real mediante la ecuación:

$$\delta_{Real} = \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1}$$

Donde:

 $\delta_{Real}$  = Densidad real, gr/cm<sup>3</sup>.

 $L_1$  = Volumen inicial (Lectura cuello inferior), cm<sup>3</sup>.

 $L_2$  = Volumen final (Lectura cuello superior), cm<sup>3</sup>.

 $P_1$  = Peso del frasco más el reactivo, gr.

 $P_2$  = Peso del frasco más el reactivo y la cantidad de cemento, gr.

La Fotografía 3.3 muestra el frasco de L'Chatelier con el reactivo y el cemento durante el ensayo de densidad real.

Fotografía 3. 3 Reactivo y cemento en el frasco de L'Chatelier.



Elaborado por: E. Arévalo – G. Pilacuán

### • Densidad aparente del cemento

La densidad aparente se determina con la descripción de la norma ASTM C 29. Se establece como la relación que existe entre el peso de las partículas de cemento y la unidad de volumen considerando el aire que esta contenido entre ellas, lo que quiere decir que el valor de densidad dependerá de la compacidad del material, por tanto, se determinan dos tipos de densidades aparentes.

### Densidad aparente suelta

Para determinar esta propiedad, se debe evitar vibraciones o compactación.

- a. Se obtiene el peso del molde (P<sub>1</sub>) y el volumen tomando el diámetro y altura.
- b. Se coloca cuidadosamente una cantidad de cemento, llenando el molde.
- c. Se enrasa el exceso de cemento, evitando movimientos fuertes o vibraciones al conjunto.
- d. Se determina el peso del molde con cemento suelto (P2) después de limpiar la parte exterior.

### Densidad aparente compactada

Para determinar esta densidad se compacta el material posterior al registro de dimensiones del molde cilíndrico y se procede de la siguiente manera:

a. Se obtiene el peso del molde cilíndrico (P<sub>1</sub>) y el volumen tomando la altura y el diámetro.

- b. Se rellena el molde con capas en total tres, cada una de ellas se debe compactar con una varilla de apisonamiento dejándola caer en cada capa 25 veces desde una altura de 2cm.
- c. Se enrasa y limpia la superficie exterior, se determina el peso del molde con el material compactado (P2)

Se calcula la densidad aparente mediante la ecuación:

$$\delta_{Aparente} = \frac{P_2 - P_1}{V_{molde}}$$

### Donde:

 $\delta_{Aparente}$  = Densidad aparente (suelta o compactada) del cemento, gr/cm<sup>3</sup>.  $V_{molde}$  = Volumen del molde, cm<sup>3</sup>.

 $P_1$  = Peso del molde, gr.

 $P_2$  = Peso del molde con cemento suelto, gr.

La Fotografía 3.4 muestra el molde cilíndrico con el cemento y la varilla de apisonamiento durante el ensayo de densidad aparente.

Fotografía 3. 4 Ensayo de densidad aparente (compactada) del cemento.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

### Consistencia normal del cemento

La consistencia normal está determinada por la norma ASTM C187. Se obtiene cuando al agregar agua a una cantidad de cemento, se hidratan sus partículas y se obtiene una pasta con un óptimo estado de fluidez. La cantidad en peso del agua, es expresada como un porcentaje del peso del cemento, la cantidad adecuada de

agua se determina con el ensayo de laboratorio. Cabe mencionar que para obtener este parámetro es necesario que el cemento no se exponga al aire libre o en lugares donde pueda absorber humedad, para evitar afectar los resultados.

Tiene dos partes, preparación de la pasta y el ensayo propiamente dicho, se describen a continuación:

### Preparación de la pasta

Para obtener la pasta adecuada se requiere seguir el proceso de la norma ASTM C305, donde se describen los siguientes pasos.

- a. Se pesa 500 gr de cemento.
- b. Se instala el recipiente y la paleta para mezclar, cada vez que se repita el ensayo se debe limpiar estos instrumentos.
- c. Se llena la probeta con una cantidad de agua entre el 23% a 33% del peso del cemento.
- d. Se coloca el agua y a continuación el cemento dentro del recipiente, se espera 30 segundos con el fin de que el cemento absorba el agua.
- e. Se mezcla a velocidad lenta durante 30 segundos.
- f. Se detiene la mezcladora por 15 segundos tomados con el cronómetro, dentro de ese tiempo se debe acumular el material esparcido por las paredes con ayuda de la espátula hacia el centro del recipiente.
- g. Se mezcla, esta vez a velocidad media durante 60 segundos.

### Ensayo para determinar la consistencia normal del cemento

Luego de apreciar que la pasta se encuentra en condiciones ideales, se sigue el proceso descrito a continuación, donde se tiene un tiempo de 30 segundos para realizar los pasos desde el literal a) al literal f).

a. Se toma la pasta del recipiente y se forma una bola con las manos, se debe lanzar seis veces de una a otra mano, las mismas que deben estar separadas entre sí aproximadamente 15 cm. La pasta no puede presentarse pegajosa o seca, si esto sucede se repite el ensayo, aumentando o disminuyendo la cantidad de agua, según el estado actual de la pasta y tomando en cuenta los rangos establecidos en la norma ASTM 187.

- b. Si se aprecia que la pasta está en condiciones adecuadas, se toma la bola formada, se pone por la parte más ancha del molde previamente aceitado, y con la mano se acomoda mediante pequeñas vibraciones.
- c. Se retira el exceso de la parte más ancha y se pone el molde con la pasta sobre una placa de acrílico o vidrio.
- d. Se enraza la parte de menor diámetro del molde con ayuda de una espátula, se debe cuidar de que la superficie de la pasta quede totalmente lisa y de que no se comprima la superficie al momento de realizar este paso.
- e. Se coloca el molde con la pasta en el aparato de Vicat y se baja la sonda de Tetmayer hasta cuando se ponga en contacto con la superficie de la pasta y es cuando se debe fijar el vástago.
- f. Se ajusta el indicador en cero, se confirma si el molde se encuentra en el centro y se suelta la sonda.
- g. Se toma nuevamente un tiempo de 30 segundos a partir que se suelta la sonda, la consistencia normal del cemento se obtiene cuando la varilla haya penetrado 10 ± 1mm la pasta.
- h. Si el paso anterior no se consigue, se debe volver hacer el ensayo, variando la cantidad de agua y así lograr una nueva pasta, todos los aparatos deben estar limpios.

A continuación, se calcula la consistencia normal tomando en cuenta que este parámetro representa la cantidad necesaria de agua requerida para hidratar el cemento.

$$C\% = \frac{Ma}{Mc} * 100$$

Donde:

C% = Consistencia Normal, %.

Ma = Peso del agua, gr.

Mc = Peso del cemento, gr.

La Fotografía 3.5 muestra la sonda Tetmayer, el molde y la pasta de cemento durante el ensayo de consistencia normal.

Fotografía 3. 5 Ensayo de consistencia normal del cemento.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

### • Tiempo inicial y final de fraguado por el método de Vicat

Los tiempos de fraguado de cemento se desarrollan cuando este elemento se mezcla con el agua y empieza a presentar endurecimiento de la pasta. Se define el inicio de fraguado como el tiempo que ha transcurrido desde el amasado, hasta cuando la pasta notablemente ha perdido su plasticidad y resulta difícil de manejar, debido a que empieza a perder fluidez. Y el fin de fraguado resulta cuando la pasta ha perdido completamente su plasticidad.

Es importante determinar los tiempos de fraguado para establecer un lapso de tiempo en el que inicia el fraguado a partir de su fabricación y el tiempo en el que el hormigón conformado puede ser mezclado, transportado, colocado y, vibrado o compactado adecuadamente, antes de que empiece a endurecerse.

Se describe el procedimiento para establecer los tiempos de fraguado por el método de Vicat aplicando la norma ASTM C191:

- a) Se prepara la pasta y se coloca en un molde igual que para determinar la consistencia normal.
- b) Se coloca el molde con la pasta y la base de acrílico o vidrio en la cámara de curado, se mantendrá durante todo el proceso, únicamente se saca para registrar las mediciones de penetración en distintos tiempos.

- c) Se saca de la cámara de curado a los 30 minutos y se anota la primera medición de penetración de la aguja de Vicat de 1mm, misma que se lee en el indicador que se suelta desde cero, luego se saca para medir cada 15 minutos a partir de la primera lectura. Las pruebas de penetración deben separarse entre sí al menos 5 mm y 10 mm del lado interior del molde.
- d) Se tiene el inicio de fraguado, cuando la aguja penetre la pasta 25 mm o menos en los 30 segundos posteriores a haber soltado la carga.
- e) Se inicia con la prueba de fin de fraguado cuando se hayan cumplido con el literal d). Se realizan las mediciones, cada vez en menor tiempo, hasta que la aguja no deje huella en la superficie de la pasta.

La Fotografía 3.6 muestra el aparato de Vicat, el molde y la pasta de cemento durante la prueba para obtener los tiempos de fraguado.

Fotografía 3. 6 Ensayo Tiempos de fraguado con el método de Vicat.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

### Resultados

La Tabla 3.1 presenta los resultados de los ensayos requeridos para el cemento, para este trabajo experimental se utilizó el cemento Holcim Tipo GU. Es importante verificar que las propiedades establecidas por las normas se cumplan. La información detallada para determinar los resultados se presenta en el Anexo 1: INF. No. 19-0235-I (Hoja 20 – Hoja 21).

Tabla 3. 1 Propiedades del cemento.

Densidad real	2.97	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad aparente suelta	0.97	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad aparente compactada	1.21	gr/cm <sup>3</sup>
Consistencia normal del cemento	29.6	%
Tiempo inicial de fraguado	210	min
Tiempo final de fraguado	375	min

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

#### 3.2.2 AGREGADO FINO

Conocer algunas propiedades físicas de los agregados es importante para garantizar las proporciones del diseño del hormigón. En el caso del árido fino es necesario conocer el módulo de finura, si la arena presenta un valor de MF menor a 2.5, se considera arena fina que podría producir pastas viscosas, donde se necesitará mayor cantidad de agua para generar una trabajabilidad conveniente. Lo ideal, cuando se requiere un hormigón de alta resistencia es que el módulo de finura varié entre 2.5 y 3.2, (Guamán & Pilatasig, 2015).

El agregado fino o arena puede provenir de algunos lugares como ríos, lagos, depósitos volcánicos o también puede encontrarse en los lugares donde se extraen y trituran rocas de gran tamaño. Las arenas extraídas de ríos son las mejores para el diseño del hormigón, debido a la dureza del material que las constituye, esto permite alcanzar altas resistencias. Las arenas de algunas canteras traen alto contenido orgánico, cuando esto se detecta, se debe lavar antes de utilizar.

#### Granulometría del agregado fino

La norma ASTM C136 describe el proceso que determinará la granulometría del agregado fino. A partir de este ensayo se puede conocer el tipo de material disponible, mediante la gradación del agregado, es importante establecer los valores porcentuales de los diferentes tamaños de partículas que componen el material.

Para el agregado fino se requieren entre 0.5 a 1 kg del material para realizar el ensayo, mismo que será tamizado mecánica o manualmente utilizando las mallas de la serie de Tyler, donde se retiene el material según su tamaño, el material que quede en cada tamiz será pesado y anotado para ser analizado, y posteriormente

dibujar la curva granulométrica con sus límites, de acuerdo a los tamices y los porcentajes de material que pasen en los mismos.

El ensayo granulométrico permite determinar el módulo de finura del material, importante para la dosificación de la mezcla y será calculado con los porcentajes retenidos en los tamices dividiendo para 100.

El procedimiento de este ensayo se encuentra a continuación:

- a) Se coloca una cantidad representativa de arena en el horno a 110°C, durante 18 a 24 horas para secar la muestra.
- b) Se disgrega la muestra y se toma una cantidad de aproximadamente 1 Kg.
- c) Se ordena los tamices de la serie de Tyler de forma descendente (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y bandeja) según a la ASTM C33.
- d) Se coloca los tamices en la tamizadora, para agitar vigorosamente durante
   5 a 10 minutos.
- e) Se retira las mallas y cuidadosamente se pesa el material retenido de cada una de ellas.

La Fotografía 3.7 muestra la tamizadora y el juego de tamices normado para agregado fino durante el ensayo de granulometría.

Fotografía 3. 7 Tamizadora de agregados finos.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

Cálculos para realizar la tabla granulométrica:

 a) Se calcula el porcentaje del material retenido, dividiendo para el peso de la muestra total.

$$\%$$
 Material retenido =  $\frac{Peso\ retenido\ por\ cada\ tamiz}{Peso\ muestra\ total}*100$ 

 b) Se determina el valor de porcentaje del material retenido acumulado de cada tamiz.

$$\% \ \textit{Material retenido acumulado} = \sum \% \ \textit{Material retenido hasta ese tamiz}$$

c) Se determina el porcentaje de material que pasa en cada tamiz.

$$%Material\ que\ pasa = 100 - %\ Material\ retenido\ acumulado$$

Con la tabla obtenida, donde constan los porcentajes de material que pasa cada malla y la abertura de cada tamiz, se realiza la gráfica para determinar la gradación del material, se compone de un límite mínimo y un límite máximo que se determinan de acuerdo a la Tabla 3.2, también se grafica la curva granulométrica que se obtiene de la parte experimental.

Tabla 3. 2 Requisitos de gradación del agregado fino.

Requisitos de gradación del árido fino						
Tamiz	% Que	e pasa				
Tairiiz	Mín	Máx				
3/8"	100	100				
N°4	95	100				
N°8	80	100				
N°16	50	85				
N°30	25	60				
N°50	5	30				
N°100	0	10				

Fuente: (ASTM C33, 2018) Elaborado por: E. Arévalo – G. Pilacuán

d) Se determina el módulo de finura del material, que es un parámetro importante para el diseño del hormigón.

$$M.F = \frac{\sum \% \ Retenido \ acumulado \ de \ los \ tamices \ de \ la \ serie \ de \ Tyler}{100}$$

### Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

Conocer el peso específico es necesario para determinar la cantidad en peso y volumen de los áridos para la mezcla del hormigón, así mismo el porcentaje de

absorción de agua del material, para establecer la cantidad de agua en la dosificación.

La norma ASTM C128 describe el proceso, que a continuación se detalla:

- a) Se toma una muestra representativa de arena para lavarla, eliminando partículas de polvo, arcillas, limos o contenido orgánico que vienen mezclados con la arena desde la mina.
- b) Se sumerge la arena limpia en agua por 24 horas.

#### Para la condición S.S.S:

- c) Se toma el material saturado, luego de extraerlo del agua, para pesar una cantidad mayor a 500 gr.
- d) Se pone la muestra pesada en una bandeja para colocarla en el horno o secarla a temperatura ambiente.
- e) Se llena la muestra en condición de superficie saturada seca (s.s.s) en un tronco-cónico, se apisona 25 veces el material con una varilla de apisonamiento, dejándolo caer desde una altura de alrededor de 3.5 cm, como se visualiza en la Fotografía 3.8.

Fotografía 3. 8 Determinación de la arena en condición s.s.s.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

 f) Se comprueba si la muestra alcanzó la condición s.s.s si luego de enrasar el molde y retirar los excesos de su alrededor, la muestra se desliza, si esto no ocurre, se pondrá dentro del horno para que la muestra se seque aún más y se repite el paso anterior hasta que el material se desmorone o deslice.

Al confirmar que la muestra está en condiciones de s.s.s se procede a determinar los valores para el cálculo de los parámetros:

- g) Se pesa una muestra de arena en condición s.s.s de 500 gr.
- h) Se introduce en un picnómetro, 250 ml de agua y los 500 gr de arena pesados anteriormente.
- i) Se extrae el aire que se encuentra atrapado entre las partículas de arena mediante agitación y utilizando la bomba de vacío.
- j) Se llena ahora el picnómetro hasta el aforo que se encuentra marcado en su pared, se debe evitar las burbujas para no introducir aire.
- k) Se pesa el conjunto, es decir el picnómetro con agua y arena.
- Se saca el contenido del picnómetro en un recipiente y se desecha el agua, para secar la arena en el horno durante 24 horas y tomar el peso de la muestra seca.

Se calcula las siguientes propiedades:

$$P. específico = \frac{P_5}{P_2 + 500 - P_1}$$

$$P. específico ap. = \frac{P_5}{P_2 + P_5 - P_1}$$

$$\delta S. S. S = \frac{500}{P_2 + 500 - P_1}$$
% Abs. agua =  $\frac{500 - P_5}{P_5} * 100$ 

Donde:

P. específico = Peso específico del árido fino, gr/cm<sup>3</sup>.

P. específico ap. = Peso específico aparente del árido fino, gr/cm<sup>3</sup>.

 $\delta$  S.S.S = Densidad de la arena en superficie saturada seca, gr/cm<sup>3</sup>.

%Abs. agua = Absorción de agua, %.

P1 = Peso del picnómetro más arena más agua, gr.

P2= Peso del picnómetro más agua, gr.

P3= Peso del recipiente, gr.

P4= Peso del recipiente más material seco, gr.

P5= Peso de la muestra en seco (P4-P3), gr.

### • Densidad aparente del agregado fino

Este parámetro también es necesario a la hora del diseño del hormigón, dado que se necesita conocer como varia el peso en un determinado volumen en función del tamaño de las partículas que llenen los espacios vacíos dependiendo de la compactación del material. Se determina mediante la norma ASTM C29.

### Densidad aparente suelta

La densidad aparente suelta se presenta agregando el material al molde que se determine por la norma, sin compactar.

- a) Se pone en el horno y a 110°C se seca el material durante 18 a 24 horas.
- b) Se toma las dimensiones (diámetro y altura) del molde de acuerdo a la norma y se calcula el volumen (V).
- c) Se anota el valor del peso del recipiente vacío (P<sub>1</sub>).
- d) Se llena el molde con arena suelta, evitar vibraciones, perturbaciones o impactos.
- e) Se enrasa con una varilla el material que sobresale del molde, y se limpia los excedentes de la parte exterior.
- f) Se pesa el conjunto molde más material (P2).

#### Densidad aparente compactada

Esta densidad se obtiene agregando el material en el molde en tres capas, siendo cada una de ellas compactada de acuerdo al procedimiento que establece la norma.

- a) Se determina el volumen (V), con las dimensiones de diámetro y altura del molde escogido para agregado fino en la norma.
- b) Se pesa el molde escogido (P<sub>1</sub>).
- Se llena el molde con tres capas de material, cada una es compactada con una varilla, dando 25 golpes.

- d) Se retira el material en exceso con la varilla y se limpia los restos de la parte exterior.
- e) Se pesa el molde con la arena compactada (P2).

Se calcula la densidad aparente con la ecuación:

$$\delta_{Ap.} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

Donde:

 $\delta_{Ap}$  = Densidad aparente (suelta o compactada) del agregado fino, gr/cm<sup>3</sup>.

 $V = Volumen del molde, cm^3$ .

 $P_1$  = Peso del molde, gr.

P<sub>2</sub> = Peso del molde más el árido fino compactado, gr.

La Fotografía 3.9 muestra el molde con el agregado fino y la varilla durante el ensayo de densidad aparente.

Fotografía 3. 9 Ensayo de densidad aparente del agregado fino.



Elaborado por: E. Arévalo – G. Pilacuán

#### Resultados

En la Tabla 3.3 se presenta los resultados de las pruebas requeridas para el árido fino. Es importante verificar que las propiedades establecidas por las normas se cumplan. La información detallada para calcular los resultados mostrados se encuentra en el Anexo 1: INF. No. 19-0235-I (Hoja 17 – Hoja 19).

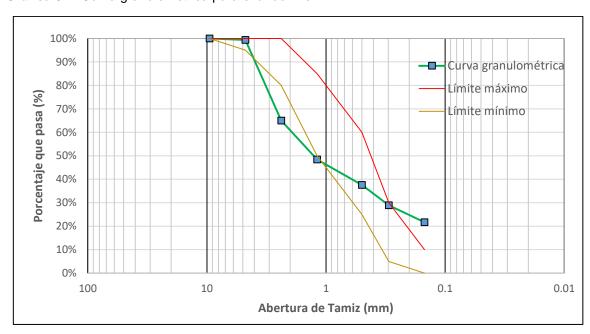
**Tabla 3. 3** Propiedades del agregado fino.

Módulo de finura	2.99	Adim.
Peso específico	2.48	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.63	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad S.S.S.	2.54	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción de agua	2.38	%
Densidad aparente suelta	1.70	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad aparente compactada	1.92	gr/cm <sup>3</sup>

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La curva granulométrica experimental, mostrada en la Grafica 3.1, presenta desviaciones respecto a los límites mínimo y máximo establecidos en la norma, sin embargo, es una práctica común utilizar el agregado fino directamente como se extrae de la mina.

Gráfica 3. 1 Curva granulométrica para el árido fino.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

#### 3.2.3 AGREGADO GRUESO

### • Granulometría del agregado grueso

El estudio granulométrico tiene la finalidad de clasificar las partículas por tamaños, con ayuda de la serie de tamices de Tyler, conformada por 10 unidades de malla cuadrada con una progresión geométrica de abertura 1:2, con lo se puede

determinar las cantidades en peso para cada tamaño que aporta al peso total. La muestra que se requiere para este ensayo va de 8 a 10 kg, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso. (Luna, 2014)

Este parámetro permite determinar si la muestra se encuentra dentro de una distribución granulométrica ideal, de acuerdo a la norma, es deseable que el material, es decir la curva que lo representa, se encuentre dentro de los límites granulométricos, y con esto conseguir menor cantidad de vacíos entre partículas, mejorando la calidad y el costo del hormigón al requerir menor cantidad de pasta de cemento (Guamán & Pilatasig, 2015).

El procedimiento se aplica bajo la norma ASTM C136:

- a) Se seca el material durante 18 a 24 horas, en el horno a 110 °C.
- b) Se determina la cantidad en peso de muestra según el diámetro máximo del material a utilizar mediante la Tabla 3.4.

**Tabla 3. 4** Tamaño mínimo de la muestra para la prueba de árido grueso.

Tamaño máximo,	Tamaño máximo,	Tamaño mínimo de la
aberturas cuadradas	aberturas cuadradas	muestra para el ensayo
[pulgadas]	[mm]	[Kg]
3/8	9,5	1
1/2	12,5	2
3/4	19,0	5
1	25,0	10
1 1/2	37,5	15
2	50,0	20
2 1/2	63,0	35
3	75,0	60
3 1/2	90,0	100
4	100,0	150
5	125,0	300

Fuente: (ASTM C136, 2014) Elaborado por: E. Arévalo – G. Pilacuán

c) Se toma la Tabla 3.5 para determinar los tamices a utilizar, dependiendo del tamaño de agregado grueso.

Tabla 3. 5 Requerimientos de gradación para áridos gruesos.

Número				Po	rcentaje a	acumulad	o en peso	que debe	pasar ca	da tamiz (	Aberturas	cuadrada	is)		
de	Tamaño Nominal	4 in.	3 1/2 in.	3 in.	2 1/2 in.	2 in.	1 1/2 in.	1 in.	3/4 in.	1/2 in.	3/8 in.	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50
Tamaño	ramano rromma	100 mm	90.0	75.0	63.0	50.0	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5 mm	4.75	2.36	1.18	0.30
		100 111111	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	3.3 111111	mm	mm	mm	mm
1	3 1/2 a 1 1/2 in.	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
	(90.0 a 37.5 mm)														
2	2 1/2 a 1 1/2 in. (63.0 a 37.5 mm)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
	2 a 1 in. (50.0 a 25.0														
3	mm)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
257	2 in. A No 4 (50 a				100	05 - 100		35 a 70		10 - 20		0 a 5			
357	4.75 mm)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		u a 5			
4	1 1/2 a 3/4 in. (37.5					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
	a 19 mm)					100	30 u 100	20 0 33	0 0 13		0 0 3				
467	1 1/2 in. a No 4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
	(37.5 a 4.75 mm) 1 a 1/2 in. (25.0 a														
5	1 a 1/2 iii. (25.0 a 12.5 mm)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
	1 a 3/8 in. (25.0 a 9.5														
56	mm)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	1 in. a No 4 (25 a						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
37	4.75 mm)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	Uas		
6	3/4 a 3/8 in. (19.0 a							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
	9.5 mm)														
67	3/4 in. a No 4 (19 a							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
	4.75 mm) 1/2 in. a No 4 (12.5														
7	a 4.75 mm)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
	3/8 in.a No 8 (9.5 a														
8	2.36 mm)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
	3/8 in. a No 16 (9.5 a									100	00 100	20 55	- 20	0 40	0 5
89	1.18 mm)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	No 4 a No 16 (4.5 a										100	85 a 100	10 - 40	0 a 10	0 a 5
9	1.18 mm)										100	02 a 100	10 a 40	0 a 10	Uas

Fuente: (ASTM C33, 2018) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

d) Se coloca ordenadamente los tamices de Tyler en forma descendente dentro de la máquina tamizadora, como se muestra en la Fotografía 3.10.

Fotografía 3. 10 Tamizadora y tamices de Tyler.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- e) Se coloca la muestra, se cierran las puertas y tapas de la tamizadora para encenderla, manteniendo el movimiento entre 5 a 10 minutos.
- f) Se toma el material que se retuvo en cada tamiz, para pesar y anotar los valores en las hojas de laboratorio.

Cálculos para realizar la tabla de granulométrica:

 a) Se determina el porcentaje de material retenido, con respecto al peso de la muestra total.

$$\%$$
 Material retenido =  $\frac{Peso\ retenido\ por\ cada\ tamiz}{Peso\ muestra\ total}*100$ 

b) Se escribe el valor de porcentaje retenido acumulado para cada tamiz.

$$\%$$
 Material retenido acumulado =  $\sum$   $\%$  Material retenido hasta ese tamiz

c) Se determina el porcentaje del material que pasa en cada malla.

$$%Material\ que\ pasa = 100 - %Material\ retenido\ acumulado$$

Con la tabla generada, donde constan los porcentajes de material que pasa cada malla y la abertura de cada tamiz, se realiza la gráfica de gradación del material, que se compone de un límite mínimo y un límite máximo, obtenidos de acuerdo a la Tabla 3.5, además se grafica la curva granulométrica que se obtiene con los valores de la parte experimental.

 d) Se determina el módulo de finura del material según el método de Duff Abrams.

$$M.F = \frac{\sum \% \ Retenido \ acumulado \ de \ los \ tamices \ de \ la \ serie \ de \ Tyler}{100}$$

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso

El peso específico es la relación que existe entre el peso con el volumen del material, esto después de saturar la muestra, es decir que los espacios entre las partículas se llenen de agua, sin considerar el agua adherida en la superficie externa de las partículas, es entonces cuando se consigue la superficie saturada seca (Dsss), que se requiere para este ensayo.

Mientras que el porcentaje de absorción se lo determina por la capacidad que posee un material para almacenar agua entre los espacios que dejan las partículas, después de haber pasado un tiempo sumergido en agua, esto significa que luego de la saturación el material es más pesado y puede ser comparado con el mismo material totalmente seco.

El procedimiento se establece según a la norma ASTM C127.

- a) Se lava la muestra, para desechar los finos que trae adherido en su superficie, luego para lograr la saturación se sumerge el material durante 24 horas, además para ayudar a eliminar el aire atrapado se golpea ligeramente de vez en cuando.
- b) Se escoge entre 15 a 25 gravas que representen la muestra, se seca la superficie de las partículas con una franela lo más pronto posible, evitando que se seque demasiado y consiguiendo así la superficie saturada seca.
- c) Se lleva la muestra representativa en condición s.s.s. a pesar en la balanza, esto representa el valor de (P<sub>1</sub>).
- d) Se sumerge la canasta en el recipiente con agua y se anota su peso (Pc)
- e) Se introduce el material dentro de la canasta y se pesa el conjunto sumergido en el agua (P<sub>c+m</sub>)
- f) Se calcula el peso del material sumergido, restando el peso de la canasta, así:

$$P_2 = P_{c+m} - P_c$$

- g) Se toma un recipiente y se pesa (P<sub>r</sub>), para luego poner las gravas extraídas de la canasta en el horno a 105°C durante 24 horas.
- h) Se determina el peso del recipiente con la muestra seca (P<sub>r+m</sub>)
- i) Se calcula el peso de la muestra en estado seco así:

$$P_3 = P_{r+m} - P_r$$

La Fotografía 3.11 muestra la balanza, la canasta sumergida en agua y la colocación del árido grueso para determinar el peso del material sumergido.

Fotografía 3. 11 Determinación del peso del material sumergido.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

Se calcula las propiedades como sigue:

$$P.\,espec\'ifico = \frac{P_3}{P_1 - P_2}$$

$$P. específico s. s. s = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

$$P. específico ap. = \frac{P_3}{P_3 - P_2}$$

%Abs. 
$$agua = \frac{P_1 - P_3}{P_3} x 100$$

### Donde:

P. específico = Peso específico del ripio, gr/cm<sup>3</sup>.

P. específico s.s.s = Peso específico del árido grueso en estado de superficie saturada seca, gr/cm<sup>3</sup>.

P. específico ap. = Peso específico aparente del árido grueso, gr/cm<sup>3</sup>.

% Abs. agua = Porcentaje de absorción de agua, %.

P<sub>1</sub> = Peso de la muestra en superficie saturada seca en aire, gr.

P<sub>2</sub>= Peso de la muestra sumergida, gr.

P<sub>3</sub>= Peso de la muestra seca, gr.

### Densidad aparente del agregado grueso

La densidad aparente para este agregado se define de la misma manera que para el agregado fino, luego de escoger el molde en que se vaya a realizar el ensayo de acuerdo al tamaño máximo del agregado, se obtendrá la relación del peso del material con el volumen del molde y esto contribuye en la determinación en peso y volumen de las proporciones de la mezcla. Para determinar la densidad aparente se procede de acuerdo a la norma ASTM C29.

### Densidad aparente suelta.

La densidad aparente suelta se determina por el material que se agrega al molde donde las partículas no son expuestas a ningún tipo de compactación o vibración.

Se procede de la siguiente manera:

- a) Se seca el material durante 18 a 24 horas, en el horno a 110°C.
- b) Se toma el diámetro y altura del molde para calcular el volumen (V). Se escoge el molde dependiendo del diámetro máximo del árido grueso, utilizando la Tabla 3.6.

Tabla 3. 6 Recipientes en función el tamaño máximo del agregado grueso.

Tamaño máximo de los áridos		Medida del recipiente		
mm	Pulg.	m³(L)	ft³	
12.5	1/2	0.0028(2.8)	1/10	
25	1	0.0093(9.3)	1/3	
37.5	1 1/2	0.014(14)	1/2	
75	3	0.028(28)	1	
100	4	0.070(70)	2 1/2	
125	5	0.100(100)	3 1/2	

Fuente: (ASTM C29, 2017) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- c) Se pesa el recipiente vacío (P1).
- d) Se llena el molde con el material, evitando vibraciones o impactos.
- e) Se enrasa con una varilla el material que sobresale, y se limpia los excedentes de la parte exterior.
- f) Se traslada el molde más el material a la balanza y se lee el peso (P2).

Densidad aparente compactada.

La densidad aparente compactada se determina mediante la compactación del material, utilizando la varilla y el molde que recomienda la norma de acuerdo al tamaño del agregado grueso a utilizar.

El procedimiento se detalla a en los siguientes ítems:

- a) Se determina el volumen (V), tomando el diámetro y la altura del molde, mismo que se selecciona de acuerdo el diámetro máximo del agregado grueso a utilizar. Se escoge el recipiente de acuerdo a la Tabla 3.6.
- b) Se pesa el molde escogido (P<sub>1</sub>).
- c) Se llena el molde con tres capas iguales, mismas que serán compactadas con una varilla, golpeado 25 veces en cada capa.
- d) Se enrasa el material con la varilla y se limpia los excesos de la parte exterior.
- e) Se pesa el molde con el material compactado (P2).

Se calcula la densidad aparente mediante la ecuación:

$$\delta_{Ap.} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

 $\delta_{Ap.}$  = Densidad aparente (suelta o compactada) del agregado grueso, gr/cm<sup>3</sup>.

 $V = Volumen del molde, cm^3$ .

 $P_1$  = Peso del molde, gr.

 $P_2$  = Peso del molde con agregado grueso compactado, gr.

La Fotografía 3.12 muestra el molde y el árido grueso para determinar la densidad aparente compactada.

Fotografía 3. 12 Ensayo densidad aparente compactada.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

### • Abrasión en el agregado grueso

El porcentaje de desgaste o abrasión del árido grueso es uno de los indicadores para asegurar la fabricación de hormigones resistentes. Este ensayo determina la capacidad de desgaste del material, si procede de ríos será mucho más resistente, pues se tiene los restos de las piedras que fueron arrastradas por el agua, limándose así las aristas de su superficie.

Los agregados triturados de las minas, presentan aristas que fácilmente se pueden desprender a la hora de aplicar una carga abrasiva. Además, este parámetro es directamente proporcional con la resistencia a la compresión del hormigón, si el agregado tiene mayor resistencia al desgaste, entonces se alcanzará mayor resistencia al momento de comprimir los elementos fundidos con este material y viceversa. Con este ensayo se busca determinar un porcentaje de desgaste con ayuda de la máquina de Los Ángeles, que contiene una carga abrasiva como se muestra en la Fotografía 3.13.

Fotografía 3. 13 Máquina de Los Ángeles más carga abrasiva.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

A continuación, se describen dos procedimientos, necesarios para este proyecto debido a que se utilizan cuatro tamaños de agregado grueso:

Determinación del porcentaje de abrasión o desgaste para áridos gruesos con partículas mayores a 19 mm.

Se realiza basado en la norma ASTM C535.

### Equipo:

- Máquina de Los Ángeles.
- Los tamices de abertura cuadrada a utilizarse son: 75 mm, 63 mm, 53 mm,
   37.5 mm, 26.5 mm, 19 mm y el 1.7 mm.
- Balanza.
- Horno a 105 °C ± 5 °C.
- Carga abrasiva: Consta de 12 esferas de acero, con un diámetro aproximadamente de 46,8 mm cada una, y con una masa entre 390 a 445 gr cada esfera, y en conjunto tienen un peso de 5000 ± 25 gr.

#### Procedimiento:

- a) Se verifica la limpieza del material, caso contrario, debe ser lavado antes de poner al horno.
- b) Se separa el material representativo, mediante tamizado, obteniendo fracciones individuales, se ubica en una de las gradaciones de la Tabla 3.7 y así se consigue la muestra para la máquina de los Ángeles.

Tabla 3. 7 Gradación de la muestra para partículas mayores a 19 mm en el ensayo de abrasión.

TAMAÑO DEL TAMIZ		MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gr)				
mm	(pulg.)		GRADACIONES			
PASA	RETENIDO	1	2	3		
75 mm (3)	63 mm (2 1/2)	2500 ± 50				
63 (2 1/2)	50 (2)	2500 ± 50				
50 (2)	50 (2) 37.5 (1 1/2)		5000 ± 50			
37.5 (1 1/2)	25 (1)		5000 ± 25	5000 ± 50		
25 (1)	19 (3/4)			5000 ± 25		
TC	TAL	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50		

Fuente: (ASTM C535, 2016) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- c) Se registra el peso de la muestra (P<sub>1</sub>) ya mezclada y de acuerdo a la Tabla 3.7, se introduce en la máquina de Los Ángeles, adicionando también la carga abrasiva, es decir las esferas de acero.
- d) Se programa la máquina para que gire 200 revoluciones y se enciende para iniciar el ensayo, con una velocidad de 30 a 33 rpm.

- e) Se saca todo el material de la máquina, para pasarlo por el tamiz número 12 (1.7mm) y se obtiene el peso del material (P<sub>2</sub>) que se retuvo en dicho tamiz.
- f) Se toma todo el material tanto el retenido en el tamiz 12 (1.7 mm) y el material de la bandeja, para introducirlo a la máquina nuevamente, más la misma carga abrasiva.
- g) Se enciende nuevamente la máquina hasta alcanzar 800 revoluciones, con esto se completan 1000 revoluciones en total.
- h) Se saca el material y se pasa nuevamente por el tamiz número 12 (1.7mm) obteniendo el material retenido en este tamiz y se anota su peso (P3).

Determinación del porcentaje de abrasión o desgaste para áridos gruesos con partículas menores a 37,5 mm.

Se procede de acuerdo a la ASTM C131.

### Equipo:

- Máquina de Los Ángeles.
- Los tamices de abertura cuadrada a utilizarse en la prueba de abrasión con partículas menores a 37,5 mm son: 37.5 mm, 26.5 mm, 19 mm, 13.2 mm, 9.5mm, 6.7 mm, 4.75 mm, 2.36 mm y el 1.7 mm.
- Balanza.
- Horno a 105 °C ± 5 °C.
- Carga abrasiva: Son esferas de acero, con un diámetro aproximado de 46,8 mm cada una, y con masa entre 390 a 445 gr cada esfera, esta carga abrasiva se escoge en función de la gradación de la muestra para el ensayo de acuerdo a la Tabla 3.8.

Tabla 3. 8 Carga abrasiva de acuerdo a la gradación de la muestra.

GRADACIÓN	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA (gr)
Α	12	5000 ± 25
В	11	4584 ± 25
С	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: (ASTM C131, 2014) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

#### Procedimiento:

- a) Se confirma la limpieza del material, caso contrario se lava para quitar las impurezas o polvo para luego colocar el material en el horno.
- b) Se tamiza el material, para conseguir la muestra representativa que se coloca en la máquina de Los Ángeles, las fracciones a tomarse para ser mezcladas las determina la Tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Gradación de la muestra para las partículas menores a 37.5 mm en el ensayo de abrasión.

TAMAÑO D	EL TAMIZ	MASA	MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gr)				
mm (p	mm (pulg.)			CIONES			
PASA	RETENIDO	Α	В	С	D		
37.5 mm (1 1/2)	25 mm (1)	1250 ± 25					
25 (1)	19 (3/4)	1250 ± 25					
19 (3/4)	12.5 (1/2)	1250 ± 10	2500 ± 10				
12.5 (1/2)	9.5 (3/8)	1250 ± 10	2500 ± 10	••••	••••		
9.5 (3/8)	6.3 (1/4)			2500 ± 10			
6.3 (1/4)	4.75 (No. 4)			2500 ± 10			
4.75 (No. 4)	2.36 (No. 8)				5000 ± 10		
TOT	AL	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10		

Fuente: (ASTM C131, 2014) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- c) Se anota el peso del material representativo mezclado (P<sub>1</sub>), que se eligió mediante la gradación en la Tabla 3.9 para luego ubicar la muestra dentro de la máquina de Los Ángeles, adicional se agrega la muestra abrasiva de acuerdo la Tabla 3.8.
- d) Se programa la máquina para alcanzar 100 revoluciones y se enciende para que comience a girar, la velocidad de giro es de 30 a 33 rpm.
- e) Se saca el material, para tamizar por la malla número 12 (1.7 mm), se pesa el material retenido (P<sub>2</sub>) en ese tamiz.
- f) Se devuelve a la máquina todo el material del tamiz No.12 (1.7 mm), incluido el material de la bandeja, y con la misma carga abrasiva.
- g) Se prepara la máquina para esta vez alcanzar 400 revoluciones, y tener un total de 500 revoluciones.
- h) Se retira todo el material de la máquina para pasar por el tamiz 12 (1.7mm) y obtener el peso del material que fue retenido (P<sub>3</sub>) en esta malla.

Se calcula el porcentaje de abrasión para cualquiera de los dos casos de la siguiente manera:

$$\%Abrasi\'on = \frac{P_1 - P_2}{P_1}$$

El porcentaje de perdida máximo es:

$$\%P\'{e}rdida = \frac{P_1 - P_3}{P_1}$$

Mientras que el coeficiente de uniformidad, se determina mediante:

$$CU = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_3}$$

Donde:

%Abrasión = Abrasión del árido grueso, %.

%Pérdida = Pérdida del árido grueso, %.

CU = Coeficiente de uniformidad del material.

P<sub>1</sub> = Peso de la muestra inicial antes del ensayo, gr.

P<sub>2</sub> = Peso retenido en el tamiz número 12 a las 100 o 200 revoluciones, gr.

P<sub>3</sub> = Peso retenido en el tamiz número 12 a las 500 o 1000 revoluciones, gr.

#### Resultados

En la Tabla 3.10 se presenta los resultados requeridos de los ensayos para los cuatro tipos de agregado grueso 3/8", 3/4", 1-1/2" y 2" utilizados en este proyecto. Es importante verificar que las propiedades establecidas por las normas se cumplan. La información determinada en el laboratorio se encuentra detallada en el Anexo 1: INF. No. 19-0235-I (Hoja 1 – Hoja 16).

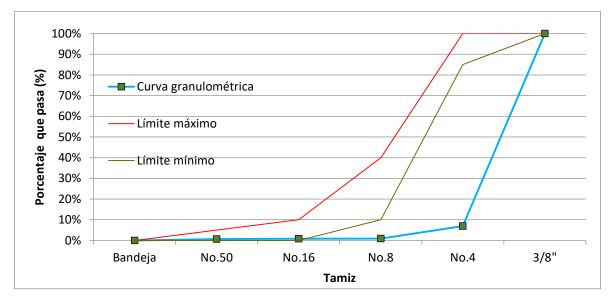
Tabla 3. 10 Propiedades para los cuatro tipos de agregado grueso.

ENSAYO	UNIDAD	AGREGADO GRUESO					
	pulg	3/8"	3/4"	1-1/2"	2"		
Módulo de Finura	Adim.	5.90	6.57	7.30	8.02		
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	2.46	2.49	2.45	2.32		
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.71	2.75	2.69	2.54		
Peso específico S.S.S.	gr/cm <sup>3</sup>	2.55	2.59	2.54	2.41		
Absorción de agua	%	3.86	3.77	3.59	3.75		
Densidad aparente suelta	gr/cm <sup>3</sup>	1.27	1.28	1.26	1.27		
Densidad aparente compactada	gr/cm <sup>3</sup>	1.40	1.46	1.46	1.43		
Porcentaje de pérdida 500 rev	%	29.61	28.53	28.59			
Porcentaje de pérdida 1000 rev	%				28.06		

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

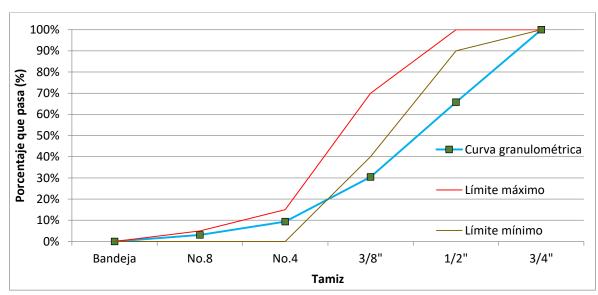
A continuación, se presenta las curvas granulométricas para los cuatro tipos de agregado grueso. Para garantizar un hormigón de mejores características es necesario que la curva granulométrica que se encuentre adentro de los límites normados.

Gráfica 3. 2 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 3/8".

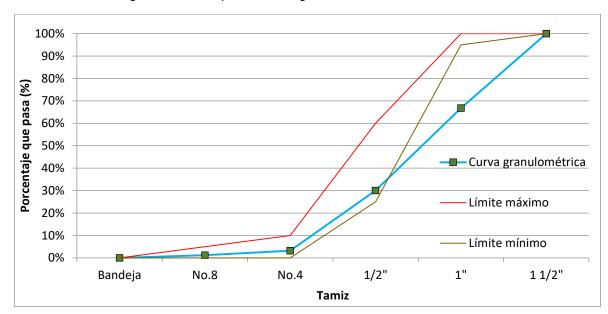


Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

Gráfica 3. 3 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 3/4".

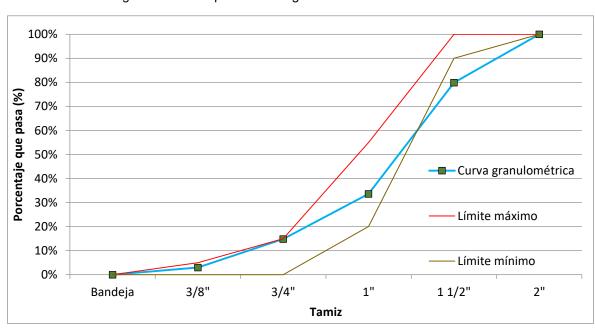


Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán



Gráfica 3. 4 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 1-1/2".

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán



Gráfica 3. 5 Curva granulométrica para el árido grueso de tamaño 2".

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

## 3.3 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

### 3.3.1 INTRODUCCIÓN

La finalidad de realizar una dosificación es determinar las proporciones de los elementos que conforman el hormigón, es decir del cemento, arena, ripio y agua, adecuadas para obtener un hormigón con las características requeridas en obra.

Existe algunas metodologías para el diseño del hormigón, como el método empírico del ACI (American Concrete Institute), que es hasta el momento el más conveniente, no obstante, esto representa solamente una referencia, la más cercana a la dosificación óptima, (Luna, 2014).

El hormigón diseñado podría ser afectado por las características de los áridos y el cemento, de la misma manera por la cantidad de agua, estos elementos presentan un papel importante a la hora de colocar y manipular el hormigón en la obra. Adicionalmente, se debe asegurar que el cemento y los agregados no varíen en su lugar de procedencia, esto afecta la resistencia en el hormigón, aun si la relación agua/cemento no cambia, es por ello, que para construir una obra se requiere realizar los respectivos ensayos de laboratorio, y así definir las propiedades físicas de los materiales a utilizar y así determinar una adecuada dosificación. (Luna, 2014)

## 3.3.2 SELECCIÓN DE PROPORCIONES

El diseño del hormigón está basado en una serie de actividades que son ordenadas, secuencialmente y dependientes entre sí.

- a) Se escoge los materiales que resulten más favorables, tanto en la parte económica, como en la calidad para lograr un hormigón con buenas propiedades.
- b) Se dosifica el hormigón de acuerdo a las características de los materiales, buscando que la pasta cumpla con los requerimientos en obra.

Además de cuidar la selección de materiales, y la puesta en obra, se debe tener en cuenta otros factores como el asentamiento, contracción y ambientes con características químicas especiales. (Huanca, 2006)

El diseño del hormigón es considerado como un procedimiento empírico, generado por una variedad de métodos o experimentos en laboratorio, tendientes a obtener las propiedades básicas que generen un hormigón de buena calidad, es decir, que cumpla con la resistencia a compresión a una edad definida y trabajabilidad en obra. Se considera que, si estas propiedades resultan positivas, las demás también serán satisfactorias. (Huanca, 2006)

#### 3.3.3 RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Esta relación es un parámetro muy importante en el diseño de hormigones, algunas propiedades del hormigón están atadas a esta interacción de materiales, pues entre más agua se sume a la mezcla, el hormigón alcanza mayor fluidez y por tanto se incrementa la trabajabilidad, sin embargo, ya que la relación agua cemento aumenta, la impermeabilidad y la resistencia tienden a disminuir, debido a los espacios que resultan de la retracción, producidos por la desecación de la mezcla, y que han generado micro-fisuramientos, (Guevara et at., 2011).

Las partículas de agregados son unidas químicamente mediante cristales hidratados que se originan en la pasta de cemento durante el proceso de fraguado. La formación de los cristales es una reacción química llamada exotérmica, para que esto suceda se necesita agua. Dentro de las primeras horas y en los días posteriores se genera este proceso químico luego de la fabricación del hormigón, es decir se crean más cristales cohesivos en este tiempo. (Romo, 2008)

Dentro del hormigón habrá partes de cemento que no lograron combinarse con el agua por lo cual es muy importante curar o hidratar el hormigón, el agua de curado ayuda a reponer el agua que se ha evaporado por el calor producido en la reacción química, es necesario hacerlo en las primeras doce horas después del endurecimiento inicial de la pasta, en cilindros hasta que cumplan los 28 días para garantizar la resistencia de diseño y al menos durante 7 días en elementos expuestos al ambiente, pues la resistencia podría ser perjudicada por espacios o porosidades donde no se logró generar el enlace con los cristales. (Romo, 2008)

## 3.3.4 ASENTAMIENTO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

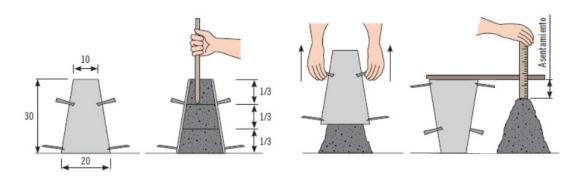
El asentamiento o también llamado revenimiento en el hormigón, se muestra en la Imagen 3.2, esta prueba es importante para obtener una consistencia conveniente de la mezcla, se encuentra determinada por el estado de humedad del hormigón fresco, el procedimiento para esta prueba se describe en la norma ASTM C143 para agregados de hasta 1-1/2" y en la ASTM C172 para árido grueso mayor a 1-1/2". Es considerando un ensayo relevante para obtener las propiedades requeridas en el hormigón, se realiza posterior a la mezcla de los materiales y es necesario hacerlo antes de verterlo en el molde o encofrado, esto determina si la fluidez es la adecuada, tomando en cuenta el intervalo con que se realizó la dosificación.

El cono de Abrams es el principal elemento para determinar este parámetro, es un molde metálico, construido para que sea capaz de retener la mezcla de hormigón, debe tener una superficie lisa y no absorbente. Es fabricado en acero, con espesor no menor a 1.5 mm, en la parte inferior tiene un diámetro de 200 mm, en la parte superior un diámetro de 100 mm y una altura de 300 mm.

El procedimiento para el ensayo de asentamiento es el siguiente:

- a) Se humedece todos los elementos a utilizar: cono de Abrams, varilla, bandeja metálica y el palustre.
- b) Se ubica la bandeja metálica sobre una superficie horizontal y sobre ella se coloca el cono de Abrams.
- c) Se llena 1/3 del cono con el palustre, y con la varilla de longitud de 60 cm y 16 mm de diámetro, se proporciona 25 golpes a la capa de material, evitando topar el piso al momento de taconear.
- d) Se llena 2/3 del volumen del cono Abrams y se proporciona de nuevo 25 golpes a la capa, evitando llegar a la primera capa.
- e) Se llena por completo el cono, manteniendo un exceso en la parte superior, y se golpea 25 veces nuevamente, evitando taconear la segunda capa.
- f) Se enrasa el exceso de mezcla de la parte superior, y en los próximos 5 segundos se retira el cono de manera perpendicular, evitando movimientos de torsión.
- g) Se invierte el cono, ubicándolo junto a la masa, se sitúa la varilla sobre el cono y se mide la altura que existe entre el centro de la masa y la parte inferior de la varilla.

Imagen 3. 2 Ensayo de asentamiento del hormigón fresco.



Fuente: (Trujillo, 2013)

## 3.3.5 PROCEDIMIENTO PARA DOSIFICACIÓN

- a) Se determina el volumen para el cual se va a calcular la dosificación, tomando en cuenta que se moldearán cilindros para las pruebas posteriores.
- b) Se considera los resultados de la caracterización de materiales, como densidad real, porcentaje de absorción, densidad aparente compactada y suelta, módulo de finura.
- c) Se define el asentamiento de acuerdo al tipo de construcción y se escoge un valor de la Tabla 3.11.

**Tabla 3. 11** Asentamientos para diferentes tipos de obra.

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAM	ASENTAMIENTO (cm)		
TIPOS DE CONSTRUCCION	Máximo	Mínimo		
Fundaciones: paredes y zapatas reforzadas	12.7	5.0		
Zapatas simples, Caissons y muros de subestructura	10.0	2.5		
Losas, vigas y paredes reforzadas	15.0	7.6		
Columnas de edificaciones	15.0	7.6		
Pavimentos y veredas	7.6	5.0		
Construcción	7.6	2.5		

Fuente: (Luna, 2014) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

d) Se define el tamaño del árido grueso que va a utilizarse de acuerdo al tipo de obra o construcción, se escoge de acuerdo la Tabla 3.12.

Tabla 3. 12 Tamaño máximo de agregado grueso recomendado de acuerdo al tipo de obra.

	TIPOS DE CONSTRUCCIÓN					
DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN, cm (Pulg)	Paredes, vigas, columnas	Muros sin refuerzo	Losas fuertemente armadas	Losas ligeramente armadas o sin refuerzo		
6.4 - 12.7	1.27 - 1.9	1.9	1.9 - 2.5	1.9 - 3.8		
(2.5 - 5)	(1/2 - 3/4)	(3/4)	(3/4 - 1)	(3/4 - 1 1/2)		
15.2 - 28.0	1.9 - 3.8	3.8	3.8	3.8 - 7.6		
(6 - 11)	(3/4 - 1 1/2)	(1 1/2)	(1 1/2)	(1 1/2 - 3)		
30.5 - 73.7	3.8 - 7.6	7.6	3.8 - 7.6	7.6		
(12 - 29)	(1 1/2 - 3)	(3)	(1 1/2 - 3)	(3)		
76.2 ó más	3.8 - 7.6	15.2	3.8 - 7.6	7.6 - 15.2		
(30 ó más)	(1 1/2 - 3)	(6)	(1 1/2 - 3)	(3 - 6)		

Fuente: (Luna, 2014)
Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

e) Se escoge la cantidad de agua para mezclar el hormigón de acuerdo a la Tabla 3.13.

**Tabla 3. 13** Cantidad de agua, en litros por m³ de hormigón, para mezclado según el tamaño máximo del árido grueso y el asentamiento.

	TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO, cm (pulg)							
ASENTAMIENTO cm (pulg)	0.95 (3/8)	1.27 (1/2)	1.9 (3/4)	2.54 (1)	3.81 (1 1/2)	5.08 (2)	7.62 (3)	15.24 (6)
Hormigón sin inclusión de aire								
2.5 - 5.1 (1 - 2)	208	198	183	178	163	153	144	124
7.6 - 10.2 (3 - 4)	228	218	203	193	178	168	158	139
15.2 - 17.8 (6 - 7)	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de aire atrapado, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
			Hormigón	con inclusión	de aire			
2.5 - 5.1 (1 - 2)	183	178	163	153	144	134	124	109
7.6 - 10.2 (3 - 4)	203	193	178	168	158	149	139	119
15.2 - 17.8 (6 - 7)	213	203	188	178	168	158	149	129
Porcentaje de aire atrapado, %	8.0	7.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0

Fuente: (Luna, 2014)
Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

f) Se escoge la relación agua/cemento acorde a la resistencia de hormigón requerida en obra, los valores se presentan en la Tabla 3.14.

Tabla 3. 14 Relación agua/cemento, para diferentes resistencias a compresión.

RELACIÓN AGUA-CEMENTO,	LITROS DE ACUA DOD CADA	RESISTENCIA A LA COMPRES	SIÓN PROBABLE A LOS 28 DÍAS
(a/c) (litros/kg de cemento)	LITROS DE AGUA POR CADA SACO DE 50kg DE CEMENTO	HORMIGÓN SIN INCLUSION	HORMIGÓN CON INCLUSION
(a) c) (litros) kg de cemento)	SACO DE SORG DE CEMENTO	DE AIRE (kg/cm <sup>2</sup> )	DE AIRE (kg/cm²)
0.353	15.5	425	325
0.445	22.5	350	280
0.530	26.5	280	210
0.623	31.0	210	180
0.705	35.5	180	140
0.800	40.0	140	110

Fuente: (Luna, 2014) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

g) Se selecciona el volumen aparente de árido grueso por unidad de volumen del hormigón, de acuerdo a la Tabla 3.15.

TAMAÑO	MÁXIMO	VOLUMEN, EN m³, DE AGREGADO GRUESO SECO Y COMPACTADO, POR m³ DE HORMIGÓN				RMIGÓN			
NOMINAL DE	L AGREGADO			Módu	ılo de finura	del agregad	o fino		
cm	pulg	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
1	3/8	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
1.25	1/2	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
1.9	3/4	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59
2.54	1	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64
3.81	1 1/2	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70
5.08	2	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73
7.62	3	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
15.24	6	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84

**Tabla 3. 15** Volumen aparente de árido grueso, en m³ por unidad de volumen de hormigón.

Fuente: (Luna, 2014)
Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En base a los valores de las tablas anteriores se puede calcular la dosificación del hormigón siguiendo los pasos que a continuación se detallan:

h) Se obtiene el factor del cemento, con la cantidad de agua en litros por m³ de la Tabla 3.13 y la relación agua cemento de la Tabla 3.14.

$$Factor\ de\ cemento = \frac{Cantidad\ de\ agua\ por\ metro\ cúbico}{relación\ agua\ cemento}$$

i) Se determina el número de sacos de cemento de 50 kg por m³ de hormigón.

$$N$$
úm.  $sacos de cemento = \frac{Factor de cemento}{50}$ 

 j) Se calcula el volumen real del cemento, utilizando el factor calculado y la densidad real del cemento que se determina en la caracterización de materiales.

$$Volumen\ real\ del\ cemento = \frac{Factor\ de\ cemento}{Densidad\ real}$$

k) Se determina el volumen real del agregado grueso en condiciones de superficie saturada seca (s.s.s.), mediante la Tabla 3.15 y los valores de caracterización de materiales.

$$Vol. Real \ S. S. S. = Vol. \ aparente \ compactado * \frac{Densidad \ Compactada}{Densidad \ Real \ s. s. s}$$

 I) Se calcula el volumen de la arena para 1m³ de hormigón, restando del mismo, el volumen de agua (Tabla 3.13), el volumen real del cemento (paso j) y el volumen real del agregado grueso s.s.s. (paso k), valores obtenidos para un 1m³ de hormigón, a esto también se resta la estimación del aire atrapado de la Tabla 3.13.

Vol.  $arena = 1m^3$  de hormig'on - Vol. agua - Vol. cemento - Vol. agregado grueso - Vol. aire

m) Se realiza la corrección de agua por absorción para los áridos grueso y fino.

$$Agua\ por\ arena = \left(\frac{100 + \%Absorci\'on\ arena}{100 + W\%} - 1\right) * (Vol.\ arena * Dsss.\ arena)$$

$$Agua\ por\ ripio = \left(\frac{100 + \%Absorci\'on\ ripio}{100 + W\%} - 1\right)*(Vol.ripio*Dsss.ripio)$$

Entonces el agua total para la mezcla de 1m³ de hormigón será:

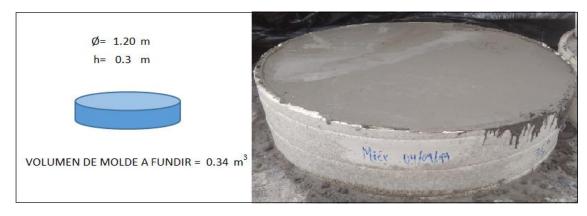
Agua con corrección = Agua(Tabla 3.13) + agua por arena + agua por ripio

- n) Se calcula los pesos correspondientes, una vez que se tiene los volúmenes de todos los materiales para la mezcla. Para el cemento se multiplica por su densidad real, y para los agregados se considera la densidad real en condiciones de superficie saturada seca (Dsss).
- o) Se emite la dosificación ya sea en peso o en volumen, considerando relación agua cemento: unidad de cemento: arena: ripio.

#### Resultados

A continuación, se presenta los resultados para las cuatro dosificaciones, con agregado grueso 3/8", 3/4", 1-1/2 y 2". Se diseñó para obtener un hormigón de resistencia 20.6 MPa (210 kg/cm²) a los 28 días. Se fundió cuatro moldes de diámetro 1.20m y altura 0.30m como se presenta en la Fotografía 3.14, el volumen a colocar para todos los casos es de 0.34m³.

Fotografía 3. 14 Volumen de hormigón colocado en molde.



- Dosificación para agregado grueso 3/8"
- a. La Tabla 3.16 presenta los valores de los parámetros necesarios para calcular la dosificación con agregado grueso 3/8", mismos que fueron determinados con los ensayos de laboratorio.

Tabla 3. 16 Parámetros para la dosificación con árido grueso 3/8".

Característica	Agregado grueso 3/8"	Arena	Unidad
Densidad Real, Dsss	2.55	2.54	gr/cm <sup>3</sup>
% Absorción	4.96	2.38	%
Densidad Aparente Compactada	1.4	1.92	gr/cm³
Densidad Aparente Suelta	1.27	1.7	gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura		3	
Densidad Real del cemento Holcim GU	2.97		gr/cm³

- b. Se considera un asentamiento entre 15 a 7.6 cm de la Tabla 3.11.
- c. Se escoge la cantidad de agua para la mezcla de hormigón según la Tabla
   3.13. Según al tamaño del árido grueso y el valor de asentamiento se tiene
   228 litros/m³ y 3% de aire atrapado.
- d. Se referencia la Tabla 3.14 en la que se establece la relación agua cemento conforme a la resistencia requerida a los 28 días. En el presente trabajo se diseñó un hormigón de 210 kg/cm² de resistencia que corresponde a una relación a/c de 0.623 litros/kg de cemento, sin embargo, mediante prácticas realizadas en el laboratorio de hormigones del LEMSUR se recomienda una corrección del valor de la relación a/c de 0.55 litros /kg de cemento para conseguir un hormigón de la resistencia mencionada.
- e. Se selecciona el volumen aparente de árido grueso por unidad de volumen de hormigón de 0.40 m³ de la Tabla 3.15, de acuerdo al tamaño de agregado grueso 3/8" y módulo de finura (MF) del árido fino.

Con los datos obtenidos de las tablas de la Sección 3.3.5 y trabajando con las ecuaciones de la misma Sección se calcula la dosificación como se muestra a continuación:

$$Factor\ de\ cemento = \frac{228\frac{litros}{m^3}}{0.55\frac{litros}{kg}} = 414.55\frac{kg}{m^3}$$

Sacos de cemento de 50 kg, por  $m^3$  de hormigón =  $\frac{414.55}{50}$  = 8.29 sacos

Volumen real del cemento = 
$$\frac{414.55 \frac{kg}{m^3}}{2.97 \frac{kg}{dm^3}} = 139.58 \frac{dm^3}{m^3}$$

Volumen Real S.S.S. = 
$$400dm^3 * \frac{1.4 \frac{kg}{dm^3}}{2.55 \frac{kg}{dm^3}} = 219.61 \frac{dm^3}{m^3}$$

Con los valores de los volúmenes reales de agua, cemento y árido grueso para 1m<sup>3</sup> de hormigón y la estimación del aire atrapado, se calcula el volumen de la arena para 1m<sup>3</sup> de hormigón. En la Tabla 3.17 se presenta un resumen de los valores de volumen necesarios.

**Tabla 3. 17** Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla del hormigón para agregado 3/8".

Vol. Agua	228	dm <sup>3</sup>
Vol.Cemento	139.58	dm <sup>3</sup>
Vol.Agregado grueso 3/8"	219.61	dm <sup>3</sup>
Vol. aire	30	dm <sup>3</sup>
VOLUMEN TOTAL	617.19	dm <sup>3</sup>

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

$$Vol. arena = 1000(dm^3) - 617.19(dm^3) = 382.81(dm^3)$$

Se realiza la corrección de agua por absorción de agregado fino y grueso. Todo el material fue secado, el porcentaje de humedad es 0.5%.

Arena:

$$Agua\ por\ arena = \left(\frac{100 + 2.38}{100 + 0.5} - 1\right) * (382.81 * 2.54) = 18.19\ (dm^3)$$

Ripio:

$$Agua\ por\ ripio = \left(\frac{100 + 4.96}{100 + 0.5} - 1\right) * (219.61 * 2.55) = 24.85\ (dm^3)$$

Agua total para mezclar 1m3 de hormigón:

Agua con corrección = 
$$228 + 18.19 + 24.85 = 271.04 (dm^3)$$

La Tabla 3.18 muestra la cantidad en volumen, misma que multiplicada por la densidad de cada elemento se obtiene la cantidad en peso mostrada en la última columna de la misma tabla.

**Tabla 3. 18** Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla del hormigón para agregado 3/8".

Componente	Cantidad en volumen real (dm³)	Densidad real (kg/dm³)	Cantidad en peso (kg)
Agua	271.04	1.00	271.04
Cemento	139.58	2.97	414.55
Arena	382.81	2.54	972.34
Agregado grueso 3/8"	219.61	2.55	560.01

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 3.19 presenta la dosificación en peso para el agregado 3/8", donde además de las proporciones de los elementos con respecto al cemento, se presenta las cantidades en kg por cada saco de 50kg de cemento.

Tabla 3. 19 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 3/8".

PESO [kg]					
agua/cemento	cemento	arena	ripio		
0.65	1.00	2.35	1.35		
Cantidades (kg) por cada saco de 50kg cemento					
32.7 50.0 117.3 67.5					

- Dosificación para agregado grueso 3/4"
- a. En la Tabla 3.20 se muestra los valores de los parámetros necesarios para calcular la dosificación con agregado grueso 3/4", mismos que se obtuvieron con las pruebas del laboratorio.

Tabla 3. 20 Parámetros para la dosificación con agregado grueso 3/4".

Característica	Agregado grueso 3/4"	Arena	Unidad
Densidad Real, Dsss	2.58	2.54	kg/dm <sup>3</sup> =gr/cm <sup>3</sup>
% Absorción	4.43	2.38	%
Densidad Aparente Compactada	1.46	1.92	gr/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente Suelta	1.28	1.7	gr/cm³
Módulo de finura		3	
Densidad Real del cemento Holcim GU	2.97		gr/cm³

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- b. Se considera un asentamiento entre 15 a 7.6 cm de la Tabla 3.11.
- c. Se escoge la cantidad de agua de mezclado de hormigón según la Tabla 3.13. Acorde al tamaño del agregado grueso y el valor de asentamiento se tiene 203 litros/m³ y 2% de aire atrapado.
- d. Se referencia la Tabla 3.14 en la que se establece la relación agua cemento de acuerdo a la resistencia requerida a los 28 días. En el presente trabajo se diseñó un hormigón de 210 kg/cm², que corresponde a una relación a/c de 0.623 litros/kg de cemento, sin embargo, mediante prácticas realizadas en el laboratorio de hormigones del LEMSUR se recomienda una corrección del valor de la relación a/c de 0.55 litros/kg de cemento para lograr un hormigón de la resistencia mencionada.
- e. Se selecciona el volumen aparente de árido grueso por unidad de volumen de hormigón de 0.59 m³ de la Tabla 3.15, de acuerdo al tamaño de agregado grueso 3/4" y MF del agregado fino.

Con los datos obtenidos de las tablas de la Sección 3.3.5 y trabajando con las ecuaciones de la misma Sección se calcula la dosificación como se muestra a continuación:

Factor de cemento = 
$$\frac{203 \frac{litros}{m^3}}{0.55 \frac{litros}{kg}} = 369.09 \frac{kg}{m^3}$$

Sacos de cemento de 50 kg, por m<sup>3</sup> de hormigón =  $\frac{369.09}{50}$  = 7.38 sacos

Volumen real del cemento = 
$$\frac{369.09 \frac{kg}{m^3}}{2.97 \frac{kg}{dm^3}} = 124.27 \frac{dm^3}{m^3}$$

Volumen Real S.S.S. = 
$$590dm^3 * \frac{1.46 \frac{kg}{dm^3}}{2.58 \frac{kg}{dm^3}} = 333.88 \frac{dm^3}{m^3}$$

Con los volúmenes reales de agua, agregado grueso y cemento para 1m³ de hormigón y la estimación del aire atrapado, se calcula el volumen de la arena para 1m³ de hormigón. Resumido en la Tabla 3.21 se presenta los valores de volumen necesarios.

**Tabla 3. 21** Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla del hormigón para agregado 3/4".

Vol. Agua	203	dm <sup>3</sup>
Vol.Cemento	124.27	dm <sup>3</sup>
Vol. Agregado grueso 3/4"	333.88	dm <sup>3</sup>
Vol. Aire	20	dm <sup>3</sup>
VOLUMEN TOTAL	681.15	dm <sup>3</sup>

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

$$Vol. arena = 1000(dm^3) - 681.15(dm^3) = 318.85(dm^3)$$

Se realiza la corrección de agua por absorción de agregado fino y grueso. Todo el material fue secado, el porcentaje de humedad es 0.5%.

Arena:

Agua por arena = 
$$\left(\frac{100 + 2.38}{100 + 0.5} - 1\right) * (318.85 * 2.54) = 15.15 (dm^3)$$

Ripio:

Agua por ripio = 
$$\left(\frac{100 + 4.43}{100 + 0.5} - 1\right) * (333.88 * 2.58) = 33.69 (dm^3)$$

Agua total para mezclar 1m³ de hormigón:

Agua con corrección = 
$$203 + 15.15 + 33.69 = 251.83 (dm^3)$$

La Tabla 3.22 muestra la cantidad en volumen, misma que multiplicada por la densidad de cada elemento se obtiene la cantidad en peso mostrada en la última columna de la misma tabla.

**Tabla 3. 22** Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla del hormigón para agregado 3/4".

Componente	Cantidad en volumen real (dm³)	Densidad real (kg/dm³)	Cantidad en peso (kg)
Agua	251.83	1.00	251.83
Cemento	124.27	2.97	369.08
Arena	318.85	2.54	809.88
Agregado grueso 3/4"	333.88	2.58	861.41

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 3.23 presenta la dosificación en peso para el agregado 3/4", donde además de las proporciones de los elementos con respecto al cemento, se presenta las cantidades en kg por cada saco de 50 kg de cemento.

Tabla 3. 23 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 3/4".

PESO [kg]			
agua/cemento arena ripio			
0.68	1.00	2.19	2.33
Cantidades (kg) por cada saco de 50kg cemento			
34.12 50.0 109.7 116.7			

- Dosificación para agregado grueso 1-1/2"
- a. La Tabla 3.24 muestra los valores de los parámetros necesarios para calcular la dosificación con agregado grueso 1-1/2", mismos que fueron obtenidos con los ensayos de laboratorio.

Tabla 3. 24 Parámetros para la dosificación con agregado grueso 1-1/2".

Característica	Agregado grueso 1 1/2"	Arena	Unidad
Densidad Real, Dsss	2.54	2.54	gr/cm³
% Absorción	3.54	2.38	%
Densidad Aparente Compactada	1.47	1.92	gr/cm³
Densidad Aparente Suelta	1.27	1.7	gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura		3	
Densidad Real del cemento Holcim GU	2.97		gr/cm³

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- b. Se considera un asentamiento entre 15 a 7.6 cm de la Tabla 3.11.
- c. Se escoge la cantidad de agua de mezclado de hormigón según la Tabla 3.13. De acuerdo al tamaño del árido grueso y el valor de asentamiento se tiene 178 litros/m³ y 1% de aire atrapado.
- d. Se referencia la Tabla 3.14 en la que se establece la relación agua cemento mediante el valor de resistencia requerida a los 28 días. El presente trabajo se diseña un hormigón de resistencia de 210 kg/cm² que corresponde a una relación a/c de 0.623 litros/kg de cemento, sin embargo, mediante prácticas realizadas en el laboratorio de hormigones del LEMSUR se recomienda una corrección del valor de la relación a/c de 0.55 litros /kg de cemento para conseguir un hormigón de la resistencia mencionada.
- e. Se selecciona el volumen aparente de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón de 0.70 m³ de la Tabla 3.15, de acuerdo al tamaño de agregado grueso 1-1/2" y módulo de finura del agregado fino.

Con los datos obtenidos de las tablas de la Sección 3.3.5 y trabajando con las ecuaciones de la misma Sección se calcula la dosificación como se muestra a continuación:

Factor de cemento = 
$$\frac{178 \frac{litros}{m^3}}{0.55 \frac{litros}{ka}} = 323.64 \frac{kg}{m^3}$$

Sacos de cemento de 50 kg, por  $m^3$  de hormigón =  $\frac{323.64}{50}$  = 6.47 sacos

Volumen real del cemento = 
$$\frac{323.64 \frac{kg}{m^3}}{2.97 \frac{kg}{dm^3}} = 108.97 \frac{dm^3}{m^3}$$

Volumen Real S.S.S. = 
$$700dm^3 * \frac{1.47 \frac{kg}{dm^3}}{2.54 \frac{kg}{dm^3}} = 405.12 \frac{dm^3}{m^3}$$

Con los volúmenes reales de cemento, agua y agregado grueso para 1m³ de hormigón y la estimación del aire atrapado, se calcula el volumen de la arena para 1m³ de hormigón. En la Tabla 3.25 se presentan los valores de volumen necesarios.

**Tabla 3. 25** Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla del hormigón para agregado 1-1/2".

Vol. Agua	178	dm <sup>3</sup>
Vol.Cemento	108.97	dm³
Vol. Agregado grueso 1 1/2"	405.12	dm³
Vol. aire	10	dm³
VOLUMEN TOTAL	702.09	dm³

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

$$Vol. arena = 1000(dm^3) - 702.09(dm^3) = 297.91(dm^3)$$

Se realiza la corrección de agua por absorción de agregado fino y grueso. Todo el material fue secado, el porcentaje de humedad es 0.5%.

Arena:

Agua por arena = 
$$\left(\frac{100 + 2.38}{100 + 0.5} - 1\right) * (297.91 * 2.54) = 14.16 (dm^3)$$

Ripio:

Agua por ripio = 
$$\left(\frac{100 + 3.54}{100 + 0.5} - 1\right) * (405.12 * 2.54) = 31.13 (dm^3)$$

Agua total para mezclar 1m³ de hormigón:

*Agua con corrección* = 
$$178 + 14.16 + 31.13 = 223.28 (dm3)$$

La Tabla 3.26 muestra la cantidad en volumen, misma que multiplicada por la densidad de cada elemento se obtiene la cantidad en peso mostrada en la última columna de la misma tabla.

**Tabla 3. 26** Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla del hormigón para agregado 1-1/2".

Componente	Cantidad en volumen real (dm³)	Densidad real (kg/dm³)	Cantidad en peso (kg)
Agua	223.28	1.00	223.28
Cemento	108.97	2.97	323.64
Arena	297.91	2.54	756.69
Agregado grueso 1 1/2"	405.12	2.54	1029.00

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 3.27 presenta la dosificación en peso para el agregado 1-1/2", donde además de las proporciones de los elementos con respecto al cemento, se presenta las cantidades en kg por cada saco de 50 kg de cemento.

Tabla 3. 27 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 1-1/2".

PESO [kg]			
agua/cemento	cemento	arena	ripio
0.69	1.00	2.34	3.18
Cantidades (kg) por cada saco de 50kg cemento			
34.5	50.0	116.9	159.0

- Dosificación para agregado grueso 2"
- a. La Tabla 3.28 registra los valores de los parámetros necesarios para calcular la dosificación con agregado grueso 2", mismos que fueron determinados en los ensayos de laboratorio.

Tabla 3. 28 Parámetros	para la dosificación co	n agregado grueso 2".

Característica	Agregado grueso 2"	Arena	Unidad
Densidad Real, Dsss	2.41	2.54	gr/cm³
% Absorción	3.75	2.38	%
Densidad Aparente Compactada	1.43	1.92	gr/cm³
Densidad Aparente Suelta	1.27	1.7	gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura		3	
Densidad Real del cemento Holcim GU	2.97		gr/cm <sup>3</sup>

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- b. Se considera un asentamiento entre 15 a 7.6 cm de la Tabla 3.11.
- c. Se escoge la cantidad de agua de mezclado de hormigón según la Tabla
   3.13. Mediante al tamaño del árido grueso y el valor de asentamiento se tiene
   168 litros/m³ y 0.5% de aire atrapado.
- d. Se referencia la Tabla 3.14 en la que se establece la relación agua cemento de acuerdo a la resistencia requerida a los 28 días. En el presente trabajo se diseñó un hormigón de 210 kg/cm², que corresponde a una relación a/c de 0.623 litros/kg de cemento, sin embargo, mediante prácticas realizadas en el laboratorio de hormigones del LEMSUR se recomienda una corrección del valor de la relación a/c de 0.55 litros /kg de cemento para obtener un hormigón de la resistencia mencionada.
- e. Se selecciona el volumen aparente de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón de 0.73 m³ de la Tabla 3.15, de acuerdo al tamaño de árido grueso de 2" y módulo de finura de la arena.

Con los datos obtenidos de las tablas de la Sección 3.3.5 y trabajando con las ecuaciones de la misma Sección se calcula la dosificación como se muestra a continuación:

$$Factor\ de\ cemento = \frac{168 \frac{litros}{m^3}}{0.55 \frac{litros}{kg}} = 305.45 \frac{kg}{m^3}$$

Sacos de cemento de 50 kg, por 
$$m^3$$
 de hormigón  $=\frac{305.45}{50}=6.11$  sacos

Volumen real del cemento = 
$$\frac{305.45 \frac{kg}{m^3}}{2.97 \frac{kg}{dm^3}} = 102.85 \frac{dm^3}{m^3}$$

Volumen Real S.S.S. = 
$$730dm^3 * \frac{1.43 \frac{kg}{dm^3}}{2.41 \frac{kg}{dm^3}} = 433.15 \frac{dm^3}{m^3}$$

Con los volúmenes reales conocidos de agua, cemento y agregado grueso para 1m³ de hormigón y la estimación del aire atrapado, se calcula el volumen de la arena para 1 m³ de hormigón. En la Tabla 3.29 se presenta un resumen de los valores de volumen necesarios.

**Tabla 3. 29** Volúmenes reales de los elementos que componen la mezcla del hormigón para agregado 2".

Vol. Agua	168	dm <sup>3</sup>
Vol.Cemento	102.85	dm <sup>3</sup>
Vol.Agregado grueso 2"	433.15	dm <sup>3</sup>
Vol. aire	5	dm <sup>3</sup>
VOLUMEN TOTAL	709	dm <sup>3</sup>

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

$$Vol. arena = 1000(dm^3) - 709(dm^3) = 291(dm^3)$$

Se realiza la corrección de agua por absorción de agregado fino y grueso. Todo el material fue secado, el porcentaje de humedad es 0.5%.

Arena:

Agua por arena = 
$$\left(\frac{100 + 2.38}{100 + 0.5} - 1\right) * (291 * 2.54) = 13.83 (dm^3)$$

Ripio:

$$Agua\ por\ ripio = \left(\frac{100 + 3.75}{100 + 0.5} - 1\right) * (433.15 * 2.41) = 33.76\ (dm^3)$$

Agua total para mezclar 1m<sup>3</sup> de hormigón:

Agua con corrección = 
$$168 + 13.83 + 33.76 = 215.58 (dm^3)$$

La Tabla 3.30 muestra la cantidad en volumen, misma que multiplicada por la densidad de cada elemento se obtiene la cantidad en peso mostrada en la última columna de la misma tabla.

**Tabla 3. 30** Cantidad en volumen y peso de los componentes de la mezcla del hormigón para agregado 2".

Componente	Cantidad en volumen real (dm³)	Densidad real (kg/dm³)	Cantidad en peso (kg)
Agua	215.58	1.00	215.58
Cemento	102.85	2.97	305.46
Arena	291.00	2.54	739.14
Agregado grueso 2"	433.15	2.41	1043.89

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 3.31 presenta la dosificación en peso para el agregado 2", donde además de las proporciones de los elementos con respecto al cemento, se presenta las cantidades en kg por cada saco de 50 kg de cemento.

Tabla 3. 31 Dosificación en peso del hormigón con agregado grueso 2".

PESO (kg)			
agua/cemento	cemento	arena	ripio
0.71	1.00	2.42	3.42
Cantidades (kg) por cada saco de 50kg cemento			
35.3	50.0	121.0	170.9

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

# 3.4 PATRONES DE ANÁLISIS

#### 3.4.1 HORMIGÓN PATRÓN

El hormigón es considerado una roca artificial, conformada por cuatro elementos básicos: cemento, arena, ripio y agua. El diseño, la calidad de los componentes, la mezcla, el curado y la temperatura, son factores básicos e importantes para conseguir las propiedades requeridas del hormigón. La resistencia a la compresión se obtiene mediante cilindros que son ensayados a los 28 días, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C39. La resistencia a la compresión simple (f'c), utilizada en el diseño estructural, se mide en términos probabilísticos, precisando que solamente un pequeño porcentaje de las muestras, 5% normalmente, tengan

resistencias a la compresión menores a la especificada en el diseño, lo que causa que la resistencia media de las muestras moldeadas, siempre sea más alta que la resistencia determinada para la dosificación, (Romo, 2008).

Los hormigones se clasifican de acuerdo a sus valores de resistencia, se considera hormigones normales a los que contemplan valores entre 210 kg/cm² a 280 kg/cm², hormigones de resistencia media aquellos que se encuentran entre 350 kg/cm² a 420 kg/cm² y los de alta resistencia se consideran a los hormigones mayores a 420 kg/cm². Como producto de la retracción de fraguado, los hormigones sin carga presentan pequeñas fisuras de adherencia, como se muestra en la Imagen 3.3, entre el árido grueso y el mortero.

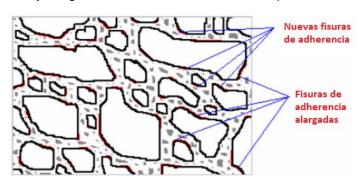
Imagen 3. 3 Fisuras por adherencia en el hormigón.



Fuente: (Romo, 2008)

Cuando los hormigones de resistencia normal y mediana son expuestos progresivamente hasta un valor del 70% de su esfuerzo a rotura, el número y la longitud de las fisuras de adherencia se incrementa como se muestra en la Imagen 3.4. Añadido esto a la deformación del material, permite aún mantener una linealidad entre esfuerzos y deformaciones.

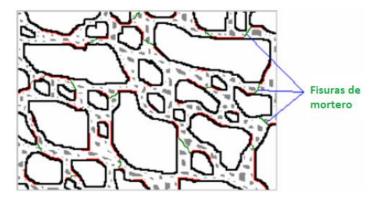
Imagen 3. 4 Incremento y alargamiento de fisuras de adherencia por incremento de esfuerzo axial.



Fuente: (Romo, 2008)

Cuando el esfuerzo axial aumenta a un 90% del esfuerzo de rotura, el hormigón además de las fisuras de adherencia, que han crecido, presenta también fisuras en el mortero, mismas que se unen con las fisuras de adherencia y forma las rajaduras en las muestras, produciendo falla del elemento de hormigón, es decir ha pasado a la sección inelástica de la curva esfuerzo vs deformación, este hecho se muestra de forma esquemática en la Imagen 3.5.

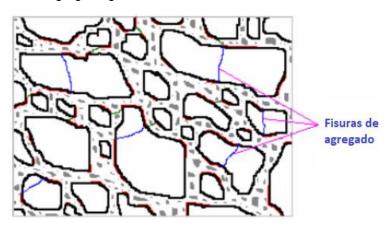
Imagen 3. 5 Fisuras de adherencia más las fisuras de mortero.



Fuente: (Romo, 2008)

Para hormigón de alta resistencia, además de las fisuras mencionadas en los casos anteriores, también es importante la resistencia del agregado grueso, esta característica impone un límite máximo a la resistencia del hormigón ya que el modo de fisurarse, cuando está cerca a la rotura, involucra rajaduras en el agregado que lo atraviesan como se visualiza en la Imagen 3.6, por tanto, el hormigón nunca podrá alcanzar una resistencia mayor que cuando se tiene la roca sana.

Imagen 3. 6 Fisuras del agregado grueso.



Fuente: (Romo, 2008)

## 3.4.2 CILINDROS PATRÓN

Los cilindros normados o muestras patrón se toman posterior al ajuste de la dosificación de la mezcla, donde se encuentran ya incluidos el agua de mezclado y aditivos cuando se requiera. Para establecer si la mezcla posee una trabajabilidad conveniente se determinará el asentamiento mediante el ensayo con el cono de Abrams. Los patrones para determinar la resistencia a compresión mediante el ensayo de laboratorio, deben ser colados y fraguados en posición vertical, considerando que la longitud de los cilindros debe ser dos veces su diámetro, mientras que el diámetro de los cilindros debe ser al menos tres veces el tamaño máximo del árido grueso.

Para el ensayo de resistencia a compresión y el ensayo de módulo de elasticidad los cilindros moldeados deben ser de 100 por 200 mm o 150 por 300 mm, esto se elige de acuerdo al tamaño de árido grueso. Los moldes a utilizarse deben ser de material que no absorba el agua, y que puedan conservar su forma para no cambiar el resultado. (ASTM C31, 2018).

La norma NTE INEN 1573 establece un rango admisible de variación de resistencia de los especímenes moldeados, que hayan sido correctamente diseñados, colados y curados, ya sea en campo o en laboratorio. En la Tabla 3.32, se presenta el rango de variación de porcentaje acorde al número de cilindros destinados para el ensayo.

Tabla 3. 32 Rango de variación de resistencia de cilindros.

	Rango aceptable	de variación de
Cilindros y condiciones	resistencia de cilir	ndros individuales.
	2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 por 300 mm		
Condiciones de laboratorio	6.60%	7.80%
Condiciones de campo	8%	9.50%
Cilindros de 100 por 200 mm		
Condiciones de laboratorio	9.20%	10.60%

Fuente: (NTE INEN 1573, 2010) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

#### 3.4.3 NÚCLEOS PATRÓN

La ASTM C42 menciona que, para conocer los valores de la resistencia a compresión de los núcleos que han sido extraídos de paredes, losas, pavimentos, o cualquier elemento de la estructura, el diámetro de los especímenes debe

alcanzar al menos 94mm, o dos veces el tamaño máximo del árido grueso, entre estos dos el que resulte mayor. Si el grosor en los elementos estructurales o la distancia que se presenta entre aceros, no posibilita que la extracción de núcleos se la realice como menciona la norma, se adquirirá mediante la extracción, muestras de diámetro menor y se informa la razón.

La longitud que se recomienda en la norma para los núcleos que fueron cubiertos con capping o tapas, debe encontrarse en el rango de 1.9 y 2.1 veces el diámetro, si la longitud descrita sobrepasa el valor de 2.1, se debe cortar los extremos de los núcleos, para alcanzar la relación. Si los núcleos tienen una relación L/D menor a 1.75, la resistencia a la compresión resultante se corrige, multiplicando por el factor establecido en la Tabla 3.33.

Tabla 3. 33 Factor de corrección de la resistencia a la compresión en núcleos.

Relación de longitud a	Factor de corrección de
diámetro (L/D)	resistencia
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: (ASTM C42, 2018) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

Si el valor L/D no se encuentra en la tabla, se interpola para encontrar el valor de corrección. Estos factores son aplicables para hormigón de baja densidad cuyos valores se encuentran entre 1600 y 1920 kg/m³ y hormigón de densidad normal. Además, es aplicable para hormigón seco y húmedo con resistencias de 14 MPa y 42 MPa, para las resistencias superiores a 70 MPa los factores pueden ser mayores que los de la Tabla 3.33, (ASTM C42, 2018).

La norma menciona que la resistencia a compresión es un tanto más baja y más variable en los núcleos de diámetro de 50 mm (2pulg), que la de los núcleos de diámetro de 100 mm (4pulg). También se señala que los núcleos de menor diámetro son más sensibles a la relación L/D.

Por lo general la resistencia a compresión encontrada en los núcleos es menor que la resistencia resultante en un cilindro moldeado, curado y ensayado correctamente a la misma edad. Sin embargo, esto podría variar de acuerdo a algunos factores como el nivel de resistencia del hormigón, vibración con elementos mecánicos al

hormigón fresco, temperatura y humedad del lugar donde se almacenan los cilindros y el elemento de donde se vaya a extraer los núcleos, el grado de compactación, ubicación del elemento en la estructura de donde se obtendrán las muestras, así mismo los aparatos que se utilicen para la extracción.

De acuerdo al ACI-318, los resultados de los núcleos se consideran adecuados, si calculando el promedio de la resistencia de las tres muestras extraídas, data al menos el 85% de la resistencia programada en el diseño y ninguna de las resistencias individuales de los mismos resulta menor al 75% de la resistencia especificada, (ASTM C42, 2018).

# 3.5 EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS

La extracción de muestras de hormigón a los 28 días se utiliza para confirmar la resistencia requerida en obra con la que fue dispuesta una estructura y de la cual no se tiene certeza debido a la baja resistencia de los cilindros de muestras tomados en el proceso de construcción, así también se utiliza este método para evaluar la resistencia de estructuras antiguas, aplicando la norma ASTM C42.

Al realizar la extracción de núcleos es inevitable que se produzca erosión en los bordes de los especímenes, sin embargo, a mayor edad del hormigón se evidencia menor erosión. Es recomendable, que los especímenes sean extraídos cuando el hormigón alcanza una madurez de al menos 14 días después de ser fabricado, para evitar resquebrajamientos de los núcleos.

Los núcleos se extraen de espacios que no muestren daños, como grietas o agujeros, son extraídos mediante una máquina que genera un movimiento circular de perforación, a la que se coloca una broca cilíndrica diamantada de pared delgada. Los núcleos deben ser extraídos, en lo posible, del centro del elemento fundido, la norma establece que se debe perforar al menos a 150 mm lejos de las juntas formadas o los bordes del elemento, para evitar muestras no representativas, esta distancia mínima no se aplica a los límites formados de los miembros estructurales.

De acuerdo a la norma ASTM C42, el sitio en el que se encuentra el hormigón en el elemento estructural influye en la resistencia, en la norma se menciona que la parte inferior generalmente es más resistente que la parte superior, por lo tanto, se

cortan en el caso de ser necesario y preferentemente se escoge los núcleos de la parte baja, esto cuando se tiene núcleos con longitudes mayores a las referidas en la norma. "La resistencia del núcleo también se ve afectada por la orientación del núcleo en relación con el plano horizontal del hormigón cuando se coloca, y la resistencia tiende a ser menor cuando se mide paralela al plano horizontal". Estos factores deben considerarse para programar el sitio de extracción.

### 3.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

### 3.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Este parámetro está definido como la máxima capacidad que muestra un material, para soportar esfuerzos aplicando carga axial. Con respecto al hormigón esta característica presenta los objetivos que se describen a continuación:

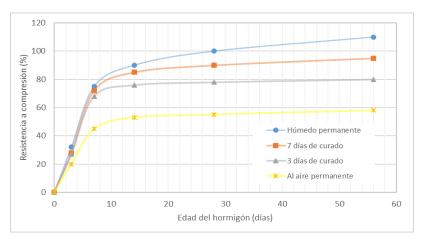
- a) Comprobar que los valores de resistencia encontradas en los cilindros, tomados de la mezcla, cumplen con los requisitos de diseño a los 28 días.
- b) Analizar las alteraciones y la afectación de mezcla suscitadas durante la producción.
- c) Determinar en una estructura existente, mediante la extracción de núcleos, si el hormigón cumple con la resistencia de dosificación.

En general la prueba de compresión se utiliza como referencia para controlar la calidad del diseño, fabricación y colocación del hormigón. La resistencia no es registrada como una propiedad intrínseca del hormigón obtenida con materiales determinados y mezclados de acuerdo a una dosificación, el valor que se alcance dependerá de factores como la forma y el tamaño de las muestras, el procedimiento de fabricación por lotes, el método empleado en el muestreo, el capeado de los extremos en las muestras, la edad de extracción, la edad de ensayo y las condiciones de temperatura y el curado que se realice. (ASTM C39, 2018)

El proceso de curado es importante para obtener un buen hormigón, evita el secado prematuro, contribuye a mantenerlo húmedo lo cual permite alcanzar la resistencia para la que fue diseñado. Los cilindros se colocan dentro de una cámara de curado hasta los 28 días o hasta cuando estos sean ensayados, se controla que la temperatura se encuentre entre 10 y 32 grados Celsius, para obtener hormigones de mayores resistencias es necesario que se curen hasta los 56 o 90 días. El

hormigón que ha pasado por el proceso de curado alcanza resistencias más altas que el hormigón que no fue curado o que se curó por poco tiempo como se muestra en la Imagen 3.7 (Luna, 2014)

Imagen 3. 7 Porcentaje de resistencia a compresión de acuerdo al curado en el hormigón.



Fuente: (Luna, 2014) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

El ensayo para determinar la resistencia a la compresión simple se realiza con al menos tres muestras de hormigón endurecido, que se preparan de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM C39, en la cual se detalla que se aplicará una carga axial sobre la muestra, para este trabajo a los cilindros y núcleos, posterior a esto se centra la muestra en la máquina de compresión, empleando una velocidad de carga constante de 0.25 ± 0.05 MPa/s, hasta conseguir la carga máxima y producir la rotura en las muestras, como muestra en la Fotografía 3.15. (ASTM C39, 2018)

Fotografía 3. 15 Rotura de muestra a compresión simple.



Previo a este ensayo es posible encontrar la densidad de las muestras, si una de ellas no alcanza un valor de la densidad esperada, indica que puede existir errores en el proceso de fabricación de lotes como demasiado aire en el hormigón, falta de vibración que provoca una baja compactación del material. Los errores en la fabricación afectan directamente a la resistencia a compresión, sin embargo, la densidad calculada no está destinada a evaluar el cumplimiento de los requisitos de resistencia establecida. (ASTM C42, 2018)

Para calcular la densidad se toma el peso antes de capear la muestra, tomando en cuenta las dimensiones promedio de diámetro y longitud, y se calcula de acuerdo a la ecuación de la norma ASTM C39:

$$\rho_{s} = \frac{4 * 10^{9} * W}{L * D^{2} * \pi}$$

Donde:

ρs = Densidad de la muestra, kg/m<sup>3</sup>

W = Masa del espécimen en aire, kg

L = Longitud media medida, mm

D = Diámetro promedio, mm

#### 3.6.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD

En ingeniería la mayoría de las estructuras son diseñadas para sufrir deformaciones relativamente pequeñas, mismas que se ubican únicamente en la parte recta, es decir, al inicio de la gráfica esfuerzo vs deformación, esto es, dentro del rango elástico, donde el esfuerzo  $\sigma$  es directamente proporcional a las deformaciones unitarias  $\varepsilon$  v se puede escribir: (Beer, Johnston, & DeWolf, 2007)

$$\sigma=E\epsilon$$

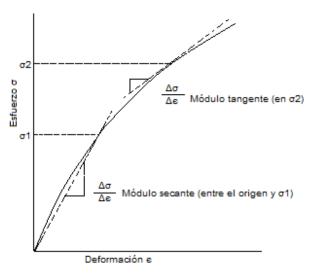
Esta relación se denomina ley de Hooke, en la que E representa una constante de proporcionalidad, que se reconoce como el Módulo de Elasticidad que puede ser interpretado como la rigidez, dicho de otra forma, la resistencia de un material a la deformación elástica.

Mientras más rígido es el material, mayor es el valor del módulo de elasticidad y la deformación elástica es menor cuando se aplica un determinado esfuerzo. El módulo es considerado como un parámetro importante de diseño requerido en el cálculo de las deformaciones. (Callister, 2006)

De acuerdo a la ACI-318 el módulo de elasticidad se reconoce como la pendiente de la secante que se traza a partir del esfuerzo nulo hasta el esfuerzo de compresión igual a 0.45 f'c, donde f'c es la resistencia a compresión requerida con que se diseña el hormigón. Algunos materiales como el hormigón presentan la curva esfuerzo vs deformación, donde la parte elástica inicial del diagrama no es lineal como para otros materiales, o al igual que para hormigones de baja resistencia, donde se producirá mayor deformación que para hormigones de alta resistencia que son diseñados con una relación a/c baja y por tanto se vuelven frágiles.

Cuando se produce un tipo de comportamiento no lineal, el módulo de elasticidad del hormigón se determina utilizando el módulo tangente o el módulo secante. Siendo el módulo tangente la pendiente de la curva esfuerzo vs deformación que se toma hasta un determinado nivel de esfuerzo, mientras que el módulo secante es la pendiente que se traza desde el origen de la gráfica hasta un punto determinado de la curva esfuerzo vs deformación, como se muestra en la Imagen 3.8. (Callister, 2006)

Imagen 3. 8 Esquema del esfuerzo-deformación con módulos tangente y secante.



Fuente: (Callister, 2006)
Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

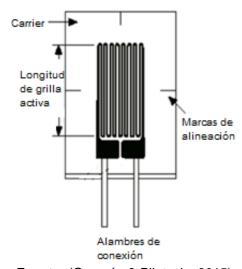
El módulo de elasticidad puede ser afectado por algunos factores principalmente las características del agregado y la calidad de la pasta, aunque también puede afectar la calidad y forma del ensayo. Para cumplir esta prueba se utilizan galgas extensiométricas (Strain Gauges) o extensómetros.

## **Strain Gauges**

Los strain gauges o galgas extensiométricas son dispositivos electrónicos, que determinan deformaciones de un elemento mediante el cambio de longitud del dispositivo cuando se aplica una carga axial a una probeta. Los resultados tienen magnitudes adimensionales sin embargo al ser cantidades muy pequeñas de deformación unitaria y que se expresa en mm/mm, suele reportarse como microstrain  $\mu\varepsilon$ , que es  $\varepsilon$  \*  $10^{-6}$ , donde  $\varepsilon$  es la deformación unitaria. (Guamán & Pilatasig, 2015)

Un strain gauge consiste en un cable muy delgado dispuesto en forma de serpentín o grilla, que viene adherida a un fino respaldo llamado carrier, como se muestra en la Imagen 3.9, el cual se pega en la superficie de la probeta de ensayo ayudándose de las marcas de alineación para centrar el strain gauge. Es decir, el esfuerzo generado sobre la probeta se transfiere directamente al strain gauge, mismo que responde con cambios lineales de resistencia eléctrica. (Guamán & Pilatasig, 2015)

Imagen 3. 9 Partes de un Strain gauge.



Fuente: (Guamán & Pilatasig, 2015) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán Para este ensayo se toma en cuenta el mismo proceso de preparación de las muestras del ensayo a compresión que consta en la ASTM C39, además se instala un strain gauge sobre la superficie, que debe coincidir con el eje axial de la probeta. Los alambres salientes del strain gauge se conectan a un Puente de Wheatstone en el que se lee los valores de deformación para cada ciclo de carga axial aplicada, con esto se genera la curva esfuerzo-deformación. Las muestras son ensayadas de acuerdo a la norma ASTM C469, como se presenta en la Fotografía 3.16.

Fotografía 3. 16 Rotura de una muestra de hormigón con strain gauge y puente de Wheatstone.



# CAPÍTULO IV

# **METODOLOGÍA**

# 4.1 REALIZACIÓN DE ENSAYOS

En el presente capítulo, se recopila la información base para la realización de los ensayos a cilindros y núcleos descritos en el capítulo tres como: Método de prueba estándar para obtener y probar núcleos perforados y vigas aserradas de hormigón. (ASTM C42, 2018), Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. (ASTM C39, 2018), Método de prueba estándar para módulo de elasticidad estática y relación de Poisson del hormigón en compresión. (ASTM C469, 2014), Práctica estándar para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el campo (ASTM C31, 2018).

Se describe la metodología aplicada para la preparación después del proceso de moldeado para cilindros y la extracción de núcleos, además del ensayo y determinación tanto de la resistencia a compresión como del módulo de elasticidad, se tabulan y grafican los resultados obtenidos para estos parámetros.

## 4.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

#### 4.2.1 MOLDEADO Y PREPARACIÓN DE CILINDROS

Los cilindros patrón fueron tomados en la etapa de fabricación del hormigón, después de obtener el asentamiento requerido. Se prepararon en moldes con diámetro de al menos tres veces el tamaño máximo de árido grueso, y de longitud doble que su altura de acuerdo a la norma ASTM C31, los tamaños de agregado grueso elegidos para este proyecto fueron 3/8", 3/4", 1-1/2" y 2". Se moldearon un total de 44 muestras: 11 tomados por cada mezcla, destinándose 3 cilindros para el ensayo de resistencia a compresión por cada edad (14, 28 y 56 días) y 1 cilindro para el ensayo de módulo de elasticidad por cada edad (28 y 90 días).

El procedimiento que se describe a continuación para moldear cilindros se basa en la norma ASTM C31:

- a) Los moldes para conseguir los cilindros referenciales deben cumplir la norma
   ASTM C470, se limpió y ajustó previamente, para colocar aceite mineral sobre el interior de su superficie y facilitar el desencofrado.
- b) Se colocó el hormigón dentro del molde en capas, que se determinaron en función del diámetro del cilindro que se requería moldear, cada capa fue compactada, con un número de golpes en la superficie transversal utilizando una varilla de acuerdo a la Tabla 4.1.

Tabla 4. 1 Requisitos para moldear cilindros patrón.

Requisitos de moldeado por varillado para cilindros		
Diámetro de espécimen mm (pulg)	Número de capas de aproximadamente igual profundidad	Número de golpes de varilla por capa
100 (4)	2	25
150 (6)	3	25
225 (9)	4	50

Fuente: (ASTM C31-2018) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- c) Cada vez que cada una de las capas fue compactada, se golpeó 15 veces el molde con un martillo de caucho en la superficie exterior, con el objetivo de eliminar los agujeros que se dejaron por la varilla y excluir el aire atrapado.
- d) Se enrasó la mezcla que sobresalía del molde con un palustre o la misma varilla, y se cuidó de que las proyecciones o depresiones de la mezcla no sean mayores a los 3 mm.

El moldeado debe darse en una superficie horizontal, que se encuentre nivelada y rígida, libre de vibraciones y/o perturbaciones, adicionalmente debe encontrarse cerca del lugar en la que finalmente serán almacenados, es decir cerca de la cámara de curado, hasta el día que se requiera ensayarlos.

Fotografía 4. 1 Moldeado de cilindros patrón.



En la Fotografía 4.1 se observa los cilindros que fueron moldeados en la parte experimental de este trabajo y su estado previo al desencofrado. Después de 24 horas se sacó los cilindros de los moldes y se identificó cada muestra con la fecha de fabricación, el tamaño de agregado, número o letra con que se reconozca al espécimen de acuerdo a lo requerido en el diseño experimental y se sumergieron en agua en la cámara de curado, en condiciones controladas. Cabe mencionar que cuando se desencofró los cilindros, estos presentaban porosidades en su superficie, que pudieron ser causadas por falta de vibración al momento de la toma de muestras.

El día de los ensayos los cilindros fueron retirados de la cámara de curado para ser ensayados los más rápido posible, posterior a cumplir con los siguientes pasos:

- e) Se secó la superficie de cada cilindro con una toalla para preparar las muestras.
- f) Se tomó las medidas del diámetro de cada cilindro, de la parte superior e inferior, si una medida difiere más del 2%, ese cilindro debe desecharse, debido a que se considera una deformación excesiva a la hora del moldeado.
- g) Se midió la longitud de los especímenes, tomando 3 medidas paralelas al eje longitudinal, si las caras del espécimen no son planas y paralelas, deben cortarse o capearse.
- h) Se capeó la mayoría de las muestras y se tomó las medidas de longitud nuevamente.

## 4.2.2 EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE NÚCLEOS

Los núcleos fueron extraídos de los moldes, mismos que se fundieron con los cuatro tamaños de agregado grueso. Los diámetros de las brocas cilíndricas diamantadas que se utilizaron para la extracción fueron 1-1/4", 2", 3" y 4", se extrajeron 3 muestras por cada broca, esto por cada molde fabricado, mismas que se destinaron al ensayo de compresión a los 14, 28 y 56 días, es decir, se obtuvo 144 muestras para este ensayo, también se extrajo 1 muestras por cada broca y por cada molde fabricado, para 28 y 90 días para determinar el módulo de elasticidad siendo 32 muestras en este ensayo.

Para el caso de los núcleos, no se evidenció porosidades en su superficie, ni fisuras ni resquebrajamientos importantes en los bordes, puede resaltarse que la utilización de un vibrador en el momento de la colocación del hormigón es importante, así también el curado de los elementos, para que todas las partículas de cemento logren reaccionar con el agua dentro de la mezcla.

El procedimiento realizado para la extracción de núcleos descrito a continuación se basa en la norma ASTM C42:

- a) Se midió 150mm desde el borde del elemento fundido hacia adentro, para realizar la extracción.
- b) Se instaló la máquina de extracción con la broca cilíndrica diamantada sobre el molde fundido.
- c) Se instaló el sistema de enfriamiento para impedir daños en el hormigón o en la maquina o la broca, es decir se dotó de agua con una manguera cerca de punto exacto donde se extrajeron los núcleos.
- d) Se encendió la máquina y se extrajeron los núcleos como se presenta en la Fotografía 4.2. La distancia entre una extracción y otra fue de 5 cm (2 pulgadas).

Fotografía 4. 2 Procedimiento para extracción de núcleos.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

e) Luego de que fueron extraídos los especímenes, se limpió el agua y residuos de la superficie que se produjo en la perforación.

Cuando las muestras extraídas no cumplen con la relación L/D descrita en la sección 3.4.3 y mencionado en la norma ASTM C42 sus extremos tienen que ser

cortados, esto se realiza como máximo 2 días después de que hayan sido extraídos.

- f) Se cortó las muestras de manera que cumplan con la relación L/D. El corte se realizó con agua.
- g) Se seca la superficie y se espera a que el agua de su superficie se evapore, como se observa en la Fotografía 4.3.

Fotografía 4. 3 Núcleos cortados para cumplir la relación altura/diámetro.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

h) Se colocó las muestras individualmente en recipientes no absorbentes como se muestra en la Fotografía 4.4, así se evita la perdida de humedad, se mantuvieron dentro de ellas hasta máximo 2 horas antes del ensayo, para realizar la preparación de las muestras y el capeado.

Fotografía 4. 4 Núcleos enfundados y sellados.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

i) Se ubicó las muestras en un lugar seguro para evitar golpes o vibraciones que pudieran afectar los resultados de los ensayos. Permanecieron

- guardadas durante 5 días después de la última vez que fueron expuestas al agua.
- j) Se sacó las muestras de los recipientes, se enumeraron (Fotografía 4.5) para identificarlos con rapidez durante los ensayos y se pesó cada núcleo.

Fotografía 4. 5 Núcleos numerados.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- k) Se tomó el diámetro de la muestra midiendo dos veces, una en la parte superior y otra en la parte inferior, con la finalidad de calcular un promedio, además se debe cuidar que la diferencia de los diámetros no exceda el 2%.
- I) Se midió la longitud obteniendo tres medidas en diferentes lugares de la muestra, siendo estas paralelas al eje longitudinal. Las superficies donde se aplicó de carga fueron niveladas con capping como se muestra en la Fotografía 4.6 sin exceder los 5mm mencionados en la norma, se tomaron las alturas de los especímenes antes y después de ser cubiertas con el capping. La relación altura/diámetro (L/D) se determinó con el promedio de las medidas después del capeado, (ASTM C42, 2018).

Fotografía 4. 6 Núcleos y cilindros con capping.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

#### 4.3 ENSAYO DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS Y MUESTRAS PATRÓN

#### 4.3.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El proceso de este ensayo se describe en la ASTM C39. Los especímenes fueron preparados y ensayados lo más rápido posible, para evitar que se pierda humedad, posterior a ser retirados de la cámara de curado y de los recipientes no absorbentes, para los cilindros y los núcleos respectivamente. La norma recomienda que las muestras deben mantenerse húmedas por cualquier método, desde que se sacan de la habitación de curado hasta el ensayo.

La Tabla 4.2 presenta un rango de tolerancia permisible para el ensayo, de acuerdo las edades de las muestras. Para edades que no constan en tabla, la tolerancia es ± 2% de la edad especificada, a menos que se indique lo contrario. La edad de prueba empieza desde la fabricación del hormigón.

Tabla 4. 2 Tolerancias para las edades de las muestras.

Edad de prueba	Tolerancia Permisible
24 h	±0.5 h
3 dias	±2 h
7 dias	±6 h
28 dias	±20 h
90 dias	±2 dias

Fuente: (ASTM C39, 2018) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

Cuando se terminó de preparar las muestras como se indica en la Sección 4.2, se siguió el procedimiento descrito a continuación, basado en la norma ASTM C39:

- a) Se colocó la muestra en la máquina de ensayo verificando que las caras, tanto del espécimen como de los cabezales fijo y móvil de la máquina, se encuentren limpios.
- b) Se centró la muestra de acuerdo a los círculos concéntricos que tiene el cabezal inferior y se alineó de acuerdo al superior.
- c) Se realizó el ensayo, aplicando la carga de manera continua y sin descarga.
- d) Se determinó la carga máxima cuando se visualizó en el monitor del equipo que los valores de carga disminuían.
- e) Se anotó el valor de máxima carga y se identificó el tipo de patrón de fractura de acuerdo a la Imagen 4.1.
- f) Se calculó los valores de Resistencia a compresión de las muestras.

La resistencia a compresión (f'c) para cilindros y núcleos, se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación mostrada en la norma ASTM C 39.

$$f_c^{'} = \frac{4000 * P_{max}}{\pi * D^2}$$

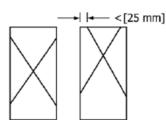
Donde:

f'c= Resistencia a compresión, MPa

Pmax = Carga máxima, kN

D = Diámetro promedio de la muestra, mm

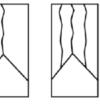
**Imagen 4. 1** Esquema de patrones de fractura típicos en compresión de muestras cilíndricas de hormigón.



Tipo 1
Conos visiblemente bien formados en ambos extremos, menos de 25 mm de grietas a través de las tapas de capping.



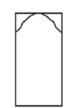
Tipo 5
Fracturas laterales en la parte superior o inferior (ocurren comúnmente con tapas no unidas).



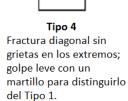
Tipo 2
Cono bien formado en un extremo, grietas verticales que atraviesan las tapas de capping, sin cono bien definido en el otro extremo.



Grietas verticales en columna a través de ambos extremos, sin conos bien formados.



**Tipo 6**Similar al Tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo.



Fuente: (ASTM C39, 2018) Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

#### Resultados

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de resistencia a compresión en cilindros y núcleos para distinto tamaño de agregado grueso, a edades de 14, 28 y 56 días. En el caso de los núcleos se cumple con lo mencionado en la norma ASTM C42, donde a los 28 días el promedio de resistencia de tres muestras resultó mayor al 85% de la resistencia de diseño, que para este proyecto fue de 210 kg/cm², así mismo ninguna resistencia individual fue menor al 75% de la resistencia programada.

Adicionalmente, esta sección presenta un análisis de los resultados, antes de obtener el promedio de la resistencia con el que se presenta las gráficas de comparación y con el que posteriormente se realizó la correlación de muestras, este procedimiento se lo efectuó para cada tipo de agregado en las diferentes edades. En la depuración de datos se consideró un nivel de confianza del 90% que fue aplicado a todos los resultados de resistencia a compresión obtenidos, para el cálculo del promedio de la resistencia se descartó los valores que no se encontraban dentro de los límites de confianza.

• Resistencia a compresión para muestras con agregado grueso 3/8".

En la Tabla 4.3 se muestra los valores de resistencia a compresión calculados para cilindros fabricados con la mezcla de hormigón de agregado grueso 3/8". La información detallada para determinar los siguientes resultados se muestra en el Anexo 2: INF. No. 20-0031-I (Hoja 1 – Hoja 3)

Tabla 4. 3 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 3/8" a diferentes edades.

No	No Elemento	Edad	f'c
140	Licilicito	(días)	MPa
1	Χ	14	18.94
2	Υ	14	18.64
3	Z	14	17.85
4	Χ	28	24.15
5	Υ	28	28.53
6	Z	28	24.39
7	Χ	56	29.27
8	Υ	56	18.18
9	Z	56	17.92

En la Tabla 4.4 se muestra los promedios de resistencia a compresión para cilindros a diferentes edades, después de eliminar los valores que no se encontraban dentro del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 17.85 MPa a los 14 días, 28.53 MPa a los 28 días y 29.27 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 4** Promedios de resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 3/8" a diferentes edades después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Elemento	(días)	MPa	MPa
1	Χ	14	18.94	18.79
2	Υ	14	18.64	10.79
3	Х	28	24.15	24.27
4	Z	28	24.39	24.27
5	Υ	56	18.18	18.05
6	Z	56	17.92	10.05

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.5 se muestra los resultados obtenidos del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4", con agregado grueso 3/8". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0033-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 28 días INF. No. 20-0039-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 56 días INF. No. 20-0043-I (Hoja 1 – Hoja 4).

**Tabla 4. 5** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	1B-1 1/4"	14	20.48
2	2B-1 1/4"	14	24.22
3	3B-1 1/4"	14	18.66
4	4A-1 1/4"	14	19.28
5	1B-1 1/4"	28	27.02
6	2B-1 1/4"	28	27.43
7	3B-1 1/4"	28	24.69
8	4A-1 1/4"	28	23.69
9	1B-1 1/4"	56	24.91
10	2B-1 1/4"	56	33.80
11	3B-1 1/4"	56	25.52
12	4A-1 1/4"	56	28.99

En la Tabla 4.6 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 1 1/4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza establecido, los valores de resistencia descartados fueron: 24.22 MPa a los 14 días, 27.43 y 23.69 MPa a los 28 días, y 24.91 y 33.80 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 6** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	1B-1 1/4"	14	20.48	
2	3B-1 1/4"	14	18.66	19.47
3	4A-1 1/4"	14	19.28	
4	1B-1 1/4"	28	27.02	25.86
5	3B-1 1/4"	28	24.69	
6	3B-1 1/4"	56	25.52	27.26
7	4A-1 1/4"	56	28.99	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.7 se muestra los resultados del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 2" con agregado grueso 3/8". La información detallada se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0033-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 28 días INF. No. 20-0039-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 56 días INF. No. 20-0043-I (Hoja 5 – Hoja 8).

**Tabla 4. 7** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/8".

No	Elemento-	Edad	f'c
No	Broca	(días)	MPa
1	5B-2"	14	23.95
2	6B-2"	14	22.65
3	7B-2"	14	22.61
4	8A-2"	14	21.04
5	5B-2"	28	27.84
6	6B-2"	28	24.54
7	7B-2"	28	29.19
8	8A-2"	28	24.77
9	5B-2"	56	32.86
10	6B-2"	56	24.56
11	7B-2"	56	31.97
12	8A-2"	56	21.41

En la Tabla 4.8 se muestra el promedio de resistencia a compresión de núcleos con broca de diámetro 2" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 23.95 y 21.04 MPa a los 14 días, 24.54 y 29.19 MPa a los 28 días, 32.86 y 21.41 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 8** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/8" después de aplicar límites de confianza al 90%.

Nic	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
No	Broca	(días)	MPa	Mpa
1	6B-2"	14	22.65	22.63
2	7B-2"	14	22.61	
3	5B-2"	28	27.84	26.30
4	8A-2"	28	24.77	
5	6B-2"	56	24.56	28.26
6	7B-2"	56	31.97	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.9 se muestra los resultados del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 3", con agregado grueso 3/8". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0033-I (Hoja 9 – Hoja 11); Para los 28 días INF. No. 20-0039-I (Hoja 9 – Hoja 12); Para los 56 días INF. No. 20-0043-I (Hoja 9 – Hoja 12).

**Tabla 4. 9** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/8".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	9B-3"	14	18.36
2	10B-3"	14	18.85
3	11B-3"	14	20.49
4	9B-3"	28	22.72
5	10B-3"	28	21.49
6	11B-3"	28	29.38
7	12A-3"	28	22.25
8	9B-3"	56	27.31
9	10B-3"	56	27.74
10	11B-3"	56	24.19
11	12A-3"	56	23.43

En la Tabla 4.10 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 3" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 20.49 MPa a los 14 días, 29.38 MPa a los 28 días, 27.74 y 23.43 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 10** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/8" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	9B-3"	14	18.36	18.60
2	10B-3"	14	18.85	
3	9B-3"	28	22.72	
4	10B-3"	28	21.49	22.15
5	12A-3"	28	22.25	
6	9B-3"	56	27.31	25.75
7	11B-3"	56	24.19	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 4.11 muestra los valores resultantes del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 4", con agregado grueso 3/8". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0033-I (Hoja 12 – Hoja 14); Para los 28 días INF. No. 20-0039-I (Hoja 13 – Hoja 15); Para los 56 días INF. No. 20-0043-I (Hoja 13 – Hoja 15).

**Tabla 4. 11** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	12B-4"	14	23.95
2	13B-4"	14	21.81
3	14B-4"	14	21.64
4	13B-4"	28	26.60
5	14B-4"	28	26.24
6	15B-4"	28	27.05
7	13B-4"	56	19.97
8	14B-4"	56	22.95
9	15B-4"	56	21.58

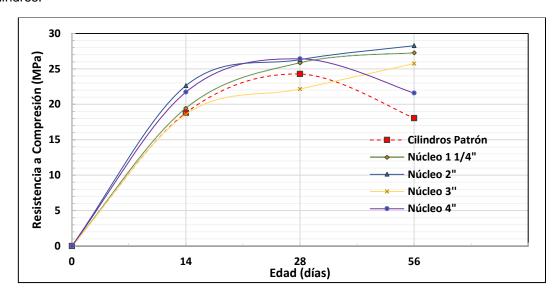
En la Tabla 4.12 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 23.95 MPa a los 14 días, 27.05 MPa a los 28 días, 19.97 y 22.95 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 12** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/8" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	13B-4"	14	21.81	21.72
2	14B-4"	14	21.64	
3	13B-4"	28	26.60	26.42
4	14B-4"	28	26.24	
5	15B-4"	56	21.58	21.58

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Gráfica 4.1 se encuentra un resumen con los valores promedio de resistencia a compresión para el árido grueso 3/8" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y la resistencia de los cilindros, se observa que la resistencia de los núcleos en general es mayor que la de los cilindros, este efecto se debe a que los elementos fundidos fueron vibrados con un equipo mecánico. En el caso de la curva que forman los cilindros y la curva de los núcleos extraídos con broca de 4", se evidencia menor resistencia a los 56 días que a los 28 días, este es un comportamiento atípico, cabe recordar que estos valores son los promedios después de haber aplicado el nivel de confianza, además puede ser el resultado de varios factores que intervienen en el proceso de fabricación o extracción: porciones de mezcla con mayor humedad, grietas inducidas por porosidades o defectos geométricos, etc.



**Gráfica 4. 1** Resumen de la resistencia a compresión para agregado grueso 3/8" de núcleos y cilindros.

Resistencia a compresión para muestras con agregado grueso 3/4"

En la Tabla 4.13 se presentan los resultados para cilindros fabricados con la mezcla de hormigón de agregado grueso 3/4". La información detallada para registrar los resultados se muestra en el Anexo 2: INF. No. 20-0031-I (Hoja 1 – Hoja 3)

Tabla 4. 13 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 3/4" a diferentes edades.

No	Elemento	Edad	f'c
		(días)	MPa
1	X	14	12.54
2	Υ	14	13.27
3	Z	14	13.19
4	X	28	13.95
5	Y	28	19.66
6	Z	28	22.41
7	X	56	24.67
8	Υ	56	25.76
9	Z	56	18.77

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.14 se muestra el promedio encontrado en la resistencia a compresión para cilindros a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia

descartados fueron: 12.54 MPa a los 14 días, 13.95 MPa a los 28 días, 18.77 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 14** Promedios de resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 3/4" a diferentes edades después de aplicar límites de confianza al 90%.

Ma	Elemento	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Elemento	(días)	MPa	Мра
1	Υ	14	13.27	13.23
2	Z	14	13.19	13.23
3	Y	28	19.66	21.04
4	Z	28	22.41	21.04
5	Х	56	24.67	25.21
6	Υ	56	25.76	25.21

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.15 se muestra los valores resultantes de la prueba a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4", con agregado grueso 3/4". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0032-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 28 días INF. No. 20-0038-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 56 días INF. No. 20-0042-I (Hoja 1 – Hoja 4).

**Tabla 4. 15** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	1B-1 1/4"	14	16.72
2	2B-1 1/4"	14	15.54
3	3B-1 1/4"	14	18.52
4	4A-1 1/4"	14	16.20
5	1B-1 1/4"	28	24.76
6	2B-1 1/4"	28	19.41
7	3B-1 1/4"	28	17.95
8	4A-1 1/4"	28	18.26
9	1B-1 1/4"	56	27.27
10	2B-1 1/4"	56	24.95
11	3B-1 1/4"	56	27.23
12	4A-1 1/4"	56	23.23

En la Tabla 4.16 se presenta el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 15.54 y 18.52 MPa a los 14 días, 24.76 MPa a los 28 días, y 23.23 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 16** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	1B-1 1/4"	14	16.72	16.46
2	4A-1 1/4"	14	16.20	
3	2B-1 1/4"	28	19.41	
4	3B-1 1/4"	28	17.95	18.54
5	4A-1 1/4"	28	18.26	
6	1B-1 1/4"	56	27.27	
7	2B-1 1/4"	56	24.95	26.48
8	3B-1 1/4"	56	27.23	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 4.17 muestra los resultados del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 2", con agregado grueso 3/4" La información detallada para obtener los resultados se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0032-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 28 días INF. No. 20-0038-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 56 días INF. No. 20-0042-I (Hoja 5 – Hoja 8).

**Tabla 4. 17** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/4".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	5B-2"	14	17.02
2	6B-2"	14	20.63
3	7B-2"	14	22.15
4	8A-2"	14	14.65
5	5B-2"	28	29.55
6	6B-2"	28	28.24
7	7B-2"	28	27.38
8	8A-2"	28	22.75
9	5B-2"	56	29.04
10	6B-2"	56	23.14
11	7B-2"	56	24.89
12	8A-2"	56	21.66

En la Tabla 4.18 están los promedios de resistencia a compresión de núcleos con broca de diámetro 2" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 22.15 y 14.65 MPa a los 14 días, 29.55 y 22.75 MPa a los 28 días, 29.04 y 21.66 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 18** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 3/4" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	5B-2"	14	17.02	
2	6B-2"	14	20.63	18.83
3	6B-2"	28	28.24	27.81
4	7B-2"	28	27.38	
5	6B-2"	56	23.14	24.02
6	7B-2"	56	24.89	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.19 se muestran los resultados de la prueba a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 3", con agregado grueso 3/4". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0032-I (Hoja 9 – Hoja 12); Para los 28 días INF. No. 20-0038-I (Hoja 9 – Hoja 12); Para los 56 días INF. No. 20-0042-I (Hoja 9 – Hoja 12).

**Tabla 4. 19** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/4".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	9B-3"	14	16.63
2	10B-3"	14	22.30
3	11B-3"	14	21.90
4	12A-3"	14	17.77
5	9B-3"	28	18.97
6	10B-3"	28	23.58
7	11B-3"	28	16.30
8	12A-3"	28	22.22
9	9B-3"	56	24.91
10	10B-3"	56	30.14
11	11B-3"	56	33.21
12	12A-3"	56	29.04

En la Tabla 4.20 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 3" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 16.63 y 22.30 MPa a los 14 días, 23.58 y 16.30 MPa a los 28 días, 24.91 y 33.21 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 20** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 3/4" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	11B-3"	14	21.90	19.84
2	12A-3"	14	17.77	
3	9B-3"	28	18.97	20.60
4	12A-3"	28	22.22	
5	10B-3"	56	30.14	29.59
6	12A-3"	56	29.04	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.21 se muestra los valores del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 4", con agregado grueso 3/4". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0032-I (Hoja 13 – Hoja 15); Para los 28 días INF. No. 20-0038-I (Hoja 13 – Hoja 15); Para los 56 días INF. No. 20-0042-I (Hoja 13 – Hoja 15).

**Tabla 4. 21** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	13B-4"	14	19.69
2	14B-4"	14	19.10
3	15B-4"	14	21.67
4	13B-4"	28	24.44
5	14B-4"	28	19.17
6	15B-4"	28	23.73
7	13B-4"	56	29.94
8	14B-4"	56	20.59
9	15B-4"	56	23.80

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.22 se evidencia el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no

se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 21.67 MPa a los 14 días, 19.17 MPa a los 28 días, y 29.94 MPa a los 56 días.

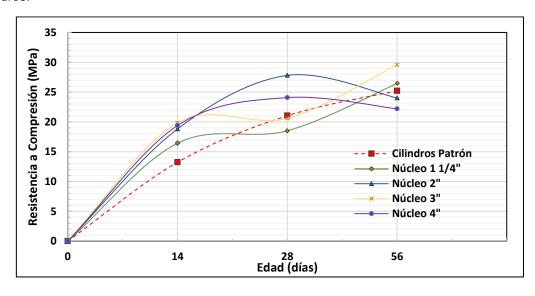
**Tabla 4. 22** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 3/4" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	13B-4"	14	19.69	19.39
2	14B-4"	14	19.10	
3	13B-4"	28	24.44	24.08
4	15B-4"	28	23.73	
5	14B-4"	56	20.59	22.19
6	15B-4"	56	23.80	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Gráfica 4.2 se muestra las curvas con los valores promedio de resistencia a compresión para el agregado grueso 3/4" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y la resistencia de los cilindros, se observa que en general la resistencia de los núcleos resultó mayor que la de los cilindros, este efecto se debe a que los elementos fundidos fueron vibrados con un equipo mecánico. En algunos casos se evidencia que los valores de resistencia a los 56 días son menores que a los de 28 días, lo cual es ilógico, se debe tomar en cuenta que estos valores son los promedios después de aplicar el nivel de confianza, así mismo puede atribuirse a algunos factores en el proceso de fabricación o extracción de las muestras.

**Gráfica 4. 2** Resumen de la resistencia a compresión para agregado grueso 3/4" de núcleos y cilindros.



• Resistencia a compresión para muestras con agregado grueso 1-1/2"

En la Tabla 4.23 están los resultados para cilindros fabricados con la mezcla de hormigón de agregado grueso 1-1/2". La información detallada se presenta en el Anexo 2: INF. No. 20-0031-I (Hoja 1 – Hoja 3)

**Tabla 4. 23** Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades.

No	Elemento	Edad	f'c	
		(días)	MPa	
1	Х	14	15.99	
2	Υ	14	15.87	
3	Z	14	13.63	
4	Х	28	21.09	
5	Υ	28	21.74	
6	Z	28	22.26	
7	Х	56	18.26	
8	Υ	56	25.92	
9	Z	56	26.27	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.24 se evidencia el promedio de resistencia a compresión de cilindros a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 13.63 MPa a los 14 días, 21.09 y 22.66 MPa a los 28 días, y 18.26 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 24** Promedios de resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento	Edad	f'c	Promedio f'c
		(días)	MPa	Mpa
1	Х	14	15.99	15.93
2	Υ	14	15.87	
3	Υ	28	21.74	21.74
4	Υ	56	25.92	26.09
5	Z	56	26.27	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.25 se muestra los resultados de la prueba de compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4", con agregado grueso 1-1/2". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0034-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 28 días

INF. No. 20-0040-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 56 días INF. No. 20-0044-I (Hoja 1 – Hoja 4).

**Tabla 4. 25** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	1B-1 1/4"	14	20.88
2	2B-1 1/4"	14	22.24
3	3B-1 1/4"	14	17.40
4	4A-1 1/4"	14	22.79
5	1B-1 1/4"	28	21.84
6	2B-1 1/4"	28	23.92
7	3B-1 1/4"	28	24.48
8	4A-1 1/4"	28	24.86
9	1B-1 1/4"	56	20.68
10	2B-1 1/4"	56	21.81
11	3B-1 1/4"	56	26.33
12	4A-1 1/4"	56	27.97

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.26 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 1 1/4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 17.40 MPa a los 14 días, 21.84 MPa a los 28 días, 20.68 y 27.97 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 26** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	1B-1 1/4"	14	20.88	
2	2B-1 1/4"	14	22.24	21.97
3	4A-1 1/4"	14	22.79	
4	2B-1 1/4"	28	23.92	
5	3B-1 1/4"	28	24.48	24.42
6	4A-1 1/4"	28	24.86	
7	2B-1 1/4"	56	21.81	24.07
8	3B-1 1/4"	56	26.33	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 4.27 muestra los valores calculados del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 2", con agregado grueso 1-1/2". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el

Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0034-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 28 días INF. No. 20-0040-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 56 días INF. No. 20-0044-I (Hoja 5 – Hoja 8).

**Tabla 4. 27** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	5B-2"	14	21.86
2	6B-2"	14	21.80
3	7B-2"	14	24.17
4	8A-2"	14	24.73
5	5B-2"	28	26.12
6	6B-2"	28	22.05
7	7B-2"	28	33.02
8	8A-2"	28	32.37
9	5B-2"	56	31.07
10	6B-2"	56	21.81
11	7B-2"	56	23.57
12	8A-2"	56	30.79

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.28 se muestra los promedios de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 2" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 21.86, 21.80 y 24.73 MPa a los 14 días, 22.05 y 33.02 MPa a los 28 días, 31.07, 21.81 y 30.79 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 28** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 1 1/2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	7B-2"	14	24.17	24.17
2	5B-2"	28	26.12	29.25
3	8A-2"	28	32.37	
4	7B-2"	56	23.57	23.57

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.29 se encuentran los resultados de la prueba de compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 3" para agregado grueso 1-1/2". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0034-I (Hoja 9 – Hoja 11); Para los 28 días

INF. No. 20-0040-I (Hoja 9 – Hoja 12); Para los 56 días INF. No. 20-0044-I (Hoja 9 – Hoja 12).

**Tabla 4. 29** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2"

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	9B-3"	14	23.40
2	10B-3"	14	25.94
3	11B-3"	14	18.10
4	9B-3"	28	28.06
5	10B-3"	28	25.40
6	11B-3"	28	19.18
7	12A-3"	28	30.56
8	9B-3"	56	22.79
9	10B-3"	56	25.70
10	11B-3"	56	19.99
11	12A-3"	56	22.29

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.30 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 3" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 18.10 MPa a los 14 días, 30.56 y 19.18 MPa a los 28 días, 25.70 y 19.99 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 30** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	9B-3"	14	23.40	24.67
2	10B-3"	14	25.94	
3	9B-3"	28	28.06	26.73
4	10B-3"	28	25.40	
5	9B-3"	56	22.79	22.54
6	12A-3"	56	22.29	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.31 se muestra los valores calculados del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 4" con agregado grueso 1-1/2". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0034-I (Hoja 12 – Hoja 14); Para los 28 días

INF. No. 20-0040-I (Hoja 13 – Hoja 15); Para los 56 días INF. No. 20-0044-I (Hoja 13 – Hoja 15).

**Tabla 4. 31** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	12B-4"	14	19.72
2	13B-4"	14	26.16
3	14B-4"	14	24.68
4	13B-4"	28	29.18
5	14B-4"	28	27.84
6	15B-4"	28	28.07
7	13B-4"	56	29.33
8	14B-4"	56	31.10
9	15B-4"	56	21.27

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.32 se muestra el promedio del ensayo de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 19.72 MPa a los 14 días, 29.18 MPa a los 28 días, y 21.27 MPa a los 56 días.

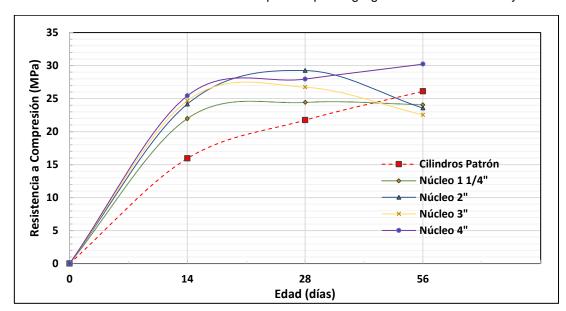
**Tabla 4. 32** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 1-1/2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	13B-4"	14	26.16	25.42
2	14B-4"	14	24.68	
3	14B-4"	28	27.84	27.95
4	15B-4"	28	28.07	
5	13B-4"	56	29.33	30.22
6	14B-4"	56	31.10	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 4.3 registra un resumen con los resultados promedio de resistencia a compresión para el agregado grueso 1-1/2" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y la resistencia de los cilindros, se observa que las resistencias de los núcleos alcanzan valores más altos que los de resistencia de cilindros en la mayoría de casos, este efecto se debe a que los elementos fundidos fueron vibrados con un equipo mecánico. Además, en algunos casos se evidencia que los valores de

resistencia a los 56 días son menores que a los de 28 días, lo cual no es lógico, se recuerda que estos valores son los promedios después de aplicar el nivel de confianza, también puede atribuirse a algunos factores en la fabricación o extracción de las muestras.



Gráfica 4. 3 Resumen de la resistencia a compresión para agregado 1-1/2" de núcleos y cilindros.

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

• Resistencia a compresión para muestras con agregado grueso 2"

En la Tabla 4.33 se registran los resultados para cilindros fabricados con la mezcla de hormigón de agregado grueso 2". La información detallada se presenta en el Anexo 2: INF. No. 20-0031-I (Hoja 1 – Hoja 3)

Tabla 4. 33 Resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 2" a diferentes edades.

No	Elemento	Edad	f'c	
NO	Elemento	(días)	MPa	
1	Х	14	10.38	
2	Υ	14	16.52	
3	Z	14	14.39	
4	Х	28	18.36	
5	Y	28	18.97	
6	Z	28	20.22	
7	Х	56	26.21	
8	Υ	56	25.13	
9	Z	56	23.56	

En la Tabla 4.34 se presenta el promedio de resistencia a compresión para cilindros a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 10.38 MPa a los 14 días, 20.22 MPa a los 28 días, y 23.56 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 34** Promedios de resistencia a compresión de cilindros para agregado grueso 2" a diferentes edades luego de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento	Edad	f'c	Promedio f'c
		(días)	MPa	Мра
1	Υ	14	16.52	15.45
2	Z	14	14.39	
3	Х	28	18.36	18.66
4	Y	28	18.97	
5	Х	56	26.21	25.67
6	Υ	56	25.13	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.35 se muestra los resultados de la prueba de compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4", con agregado grueso 2". La información de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0037-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 28 días INF. No. 20-0041-I (Hoja 1 – Hoja 4); Para los 56 días INF. No. 20-0045-I (Hoja 1 – Hoja 4)

**Tabla 4. 35** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades para agregado grueso 2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	1B-1 1/4"	14	22.90
2	2B-1 1/4"	14	20.23
3	3B-1 1/4"	14	21.36
4	4A-1 1/4"	14	16.57
5	1B-1 1/4"	28	24.16
6	2B-1 1/4"	28	26.44
7	3B-1 1/4"	28	32.57
8	4A-1 1/4"	28	9.95
9	1B-1 1/4"	56	32.08
10	2B-1 1/4"	56	33.69
11	3B-1 1/4"	56	33.41
12	4A-1 1/4"	56	24.63

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.36 se muestra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de 1-1/4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se

encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 22.90 y 16.57 MPa a los 14 días, 32.57 y 9.95 MPa a los 28 días, y 24.63 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 36** Promedios de resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades con agregado grueso 2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	2B-1 1/4"	14	20.23	20.80
2	3B-1 1/4"	14	21.36	
3	1B-1 1/4"	28	24.16	25.30
4	2B-1 1/4"	28	26.44	
5	1B-1 1/4"	56	32.08	
6	2B-1 1/4"	56	33.69	33.06
7	3B-1 1/4"	56	33.41	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Tabla 4.37 evidencia los resultados del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 2", con agregado grueso 2". La información de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0037-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 28 días INF. No. 20-0041-I (Hoja 5 – Hoja 8); Para los 56 días INF. No. 20-0045-I (Hoja 5 – Hoja 8).

**Tabla 4. 37** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 2" a diferentes edades para agregado grueso 2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	5B-2"	14	24.42
2	6B-2"	14	18.91
3	7B-2"	14	22.37
4	8A-2"	14	24.52
5	5B-2"	28	16.16
6	6B-2"	28	25.50
7	7B-2"	28	29.13
8	8A-2"	28	20.56
9	5B-2"	56	37.34
10	6B-2"	56	37.27
11	7B-2"	56	35.05
12	8A-2"	56	28.28

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.38 se presenta el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 2" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de

resistencia descartados fueron: 18.91 MPa a los 14 días, 16.16 y 29.13 MPa a los 28 días, y 28.28 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 38** Promedios de resistencia a compresión de los núcleos extraídos con broca de diámetro 1-1/4" a diferentes edades con agregado grueso 2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	5B-2"	14	24.42	
2	7B-2"	14	22.37	23.77
3	8A-2"	14	24.52	
4	6B-2"	28	25.50	23.03
5	8A-2"	28	20.56	
6	5B-2"	56	37.34	
7	6B-2"	56	37.27	36.55
8	7B-2"	56	35.05	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.39 se muestra los resultados de la prueba a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 3", con agregado grueso 2". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0037-I (Hoja 9 – Hoja 12); Para los 28 días INF. No. 20-0041-I (Hoja 9 – Hoja 12); Para los 56 días INF. No. 20-0045-I (Hoja 9 – Hoja 11).

**Tabla 4. 39** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades para agregado grueso 2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	9B-3"	14	14.33
2	10B-3"	14	12.74
3	11B-3"	14	15.14
4	12A-3"	14	19.63
5	9B-3"	28	20.51
6	10B-3"	28	20.67
7	11B-3"	28	20.84
8	12A-3"	28	16.64
9	9B-3"	56	29.46
10	10B-3"	56	32.03
11	11B-3"	56	24.71

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.40 se presenta el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 3" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no

se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de resistencia descartados fueron: 12.74 y 19.63 MPa a los 14 días, 16.64 MPa a los 28 días, y 24.71 MPa a los 56 días.

**Tabla 4. 40** Promedios de resistencia a compresión para núcleos extraídos con broca de diámetro 3" a diferentes edades con agregado grueso 2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
INO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	9B-3"	14	14.33	14.74
2	11B-3"	14	15.14	
3	9B-3"	28	20.51	
4	10B-3"	28	20.67	20.67
5	11B-3"	28	20.84	
6	9B-3"	56	29.46	30.74
7	10B-3"	56	32.03	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.41 se muestra los valores resultantes del ensayo a compresión para los núcleos extraídos con broca de diámetro 4", con agregado grueso 2". La información detallada de los datos obtenidos en el laboratorio se encuentra en el Anexo 2: Para los 14 días INF. No. 20-0037-I (Hoja 13 – Hoja 15); Para los 28 días INF. No. 20-0041-I (Hoja 13 – Hoja 15); Para los 56 días INF. No. 20-0045-I (Hoja 12 – Hoja 14).

**Tabla 4. 41** Resistencia a compresión de núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades para agregado grueso 2".

No	Elemento-	Edad	f'c
NO	Broca	(días)	MPa
1	13B-4"	14	17.38
2	14B-4"	14	12.25
3	15B-4"	14	19.78
4	13B-4"	28	22.51
5	14B-4"	28	23.87
6	15B-4"	28	18.27
7	13B-4"	56	26.89
8	14B-4"	56	21.70
9	15B-4"	56	18.03

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Tabla 4.42 se registra el promedio de resistencia a compresión para núcleos con broca de diámetro 4" a diferentes edades, luego de eliminar los valores que no se encontraban dentro de los límites del nivel de confianza, los valores de

resistencia descartados fueron: 12.25 MPa a los 14 días, 18.27 MPa a los 28 días, y 26.89 MPa a los 56 días.

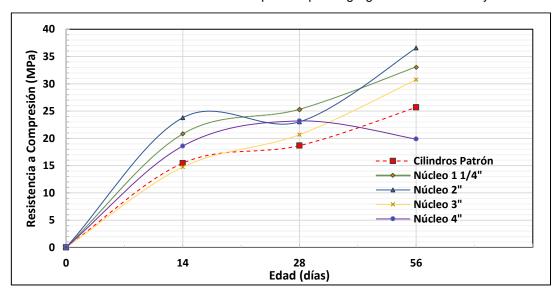
**Tabla 4. 42** Promedios de resistencia a compresión de los núcleos extraídos con broca de diámetro 4" a diferentes edades con agregado grueso 2" después de aplicar límites de confianza al 90%.

No	Elemento-	Edad	f'c	Promedio f'c
NO	Broca	(días)	MPa	Мра
1	13B-4"	14	17.38	18.58
2	15B-4"	14	19.78	
3	13B-4"	28	22.51	23.19
4	14B-4"	28	23.87	
5	14B-4"	56	21.70	19.87
6	15B-4"	56	18.03	

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 4.4 presenta el resumen con los valores promedio de resistencia a compresión para el agregado grueso 2" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y la resistencia de los cilindros, se observa que generalmente las resistencias de los núcleos son mayores que las de los cilindros, este efecto se debe a que los elementos fundidos fueron vibrados con un equipo mecánico. En el caso de los núcleos extraídos con broca de 4" se evidencia que a los 56 días el valor de resistencia es menor que a los 28 días, lo cual no es lógico, se recuerda que estos valores son los promedios después de aplicar el nivel de confianza, también puede atribuirse a algunos factores en el proceso de fabricación o extracción de las muestras.

Gráfica 4. 4 Resumen de la resistencia a compresión para agregado 2" de núcleos y cilindros.



#### 4.3.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

La norma ASTM C469 presenta el procedimiento para determinar el módulo de elasticidad, en el que se menciona un proceso de carga y descarga a la probeta. El ensayo en el presente proyecto se realizó con el método de Strain gauges, tanto para los núcleos como para los cilindros, el mismo que se describe a continuación:

- a) Se extrajeron y se prepararon los núcleos de la misma manera que para el ensayo de compresión mencionado en la Sección 4.2.2, de la misma manera los cilindros se moldearon y fueron preparados de acuerdo a lo que se describe en la sección 4.2.1 de este documento.
- b) Se lijó la superficie de la muestra donde se prevé pegar el strain gauge.
- c) Se trazó las líneas auxiliares determinando los ejes transversal y longitudinal de la muestra.
- d) Se adhirió a la superficie de la muestra el strain gauge con pegamento fuerte, como se observa en la Fotografía 4.7.

Fotografía 4. 7 Ubicación de strain gauge en las muestras de hormigón.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

- e) Se sujetó los alambres de conexión del strain gauge con los alambres salientes del puente de Wheatstone.
- f) Se ubicó y centró la muestra en la máquina de compresión.
- g) Se realizó el proceso de carga y descarga para dos ciclos.
- h) Para este ensayo se tomó en cuenta el promedio de la carga máxima a la que llegaron las muestras durante el ensayo a compresión. Se estableció el valor de carga a alcanzar en cada ciclo, el primero corresponde al 40% de la carga máxima y para el segundo se aplicó la carga axial hasta la rotura de

la muestra. Esto se realizó para asegurar que la probeta no falle antes de aplicar los dos ciclos.

La primera curva no se tomó en cuenta para obtener este parámetro, pues en el primer ciclo se corrigen imperfecciones de acoplamiento que provocan valores erróneos. Se calculó el módulo de elasticidad con la norma ASTM C469, aplicando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.000050)}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad, MPa

 $S_2$  = Esfuerzo que corresponde al 40% de la carga final.

 $S_1$  = Esfuerzo que corresponde a una deformación longitudinal,  $\epsilon_1$ , de 50 millonésimas, MPa

 $\varepsilon_2$ = Deformación longitudinal producida por la tensión  $S_2$ .

#### Resultados

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de módulo de elasticidad de cilindros y núcleos con diferente tamaño de agregado grueso, a edades de 28 y 90 días, muestras en las que se colocó un strain gauge para medir la deformación axial.

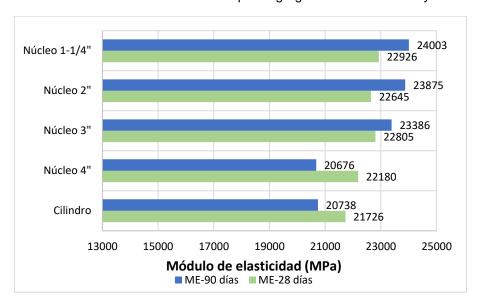
Módulo de elasticidad para muestras con agregado grueso 3/8".

En la Tabla 4.43 y la Gráfica 4.5 se registra una síntesis de todos los valores de módulo de elasticidad obtenidos para el agregado grueso 3/8" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y de los cilindros, para la edad de 28 y 90 días. En los informes de laboratorio se presenta la información completa para este ensayo, y este tipo de agregado grueso los mismos que se encuentran en el Anexo 3.: Para los 28 días INF. No.20-0059-I (Hoja 6 - Hoja 10) y para los 90 días INF. No.20-0060-I (Hoja 6 - Hoja 10).

**Tabla 4. 43** Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado grueso 3/8" a los 28 y 90 días.

		MÓDULO DE	MÓDULO DE
AGREGADO	MUESTRA	ELASTICIDAD	ELASTICIDAD
		28 DÍAS (MPa)	90 DÍAS (MPa)
	Núcleo φ1-1/4'' (MEn14)	22926	24003
	Núcleo φ 2" (MEn10)	22645	23875
Agregado φ 3/8"	Núcleo φ 3" (MEn6)	22805	23386
	Núcleo φ 4" (MEn2)	22180	20676
	Cilindro patrón (MEc2)	21726	20738

Gráfica 4. 5 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 3/8" de núcleos y cilindros.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

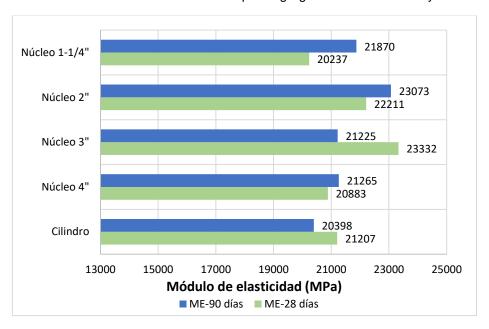
• Módulo de elasticidad para muestras con agregado grueso 3/4".

En la Tabla 4.44 y la Gráfica 4.6 se muestra el resumen de todos los valores de módulo de elasticidad obtenidos para el agregado grueso 3/4" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y de los cilindros, para la edad de 28 y 90 días. En los informes de laboratorio se presenta la información completa para este ensayo, y este tipo de agregado grueso los mismos que se encuentran en el Anexo 3.: Para los 28 días INF. No.20-0059-I (Hoja 1 - Hoja 5) y para los 90 días INF. No.20-0060-I (Hoja 1 - Hoja 5).

**Tabla 4. 44** Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado grueso 3/4" a los 28 y 90 días.

AGREGADO	MUESTRA	MÓDULO DE ELASTICIDAD 28 DÍAS (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD 90 DÍAS (MPa)
	Núcleo φ1-1/4" (MEn13)	20237	21870
	Núcleo φ 2" (MEn9)	22211	23073
Agregado φ 3/4"	Núcleo φ 3" (MEn5)	23332	21225
	Núcleo φ 4" (MEn1)	20883	21265
	Cilindro patrón (MEc1)	21207	20398

Gráfica 4. 6 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 3/4" de núcleos y cilindros.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

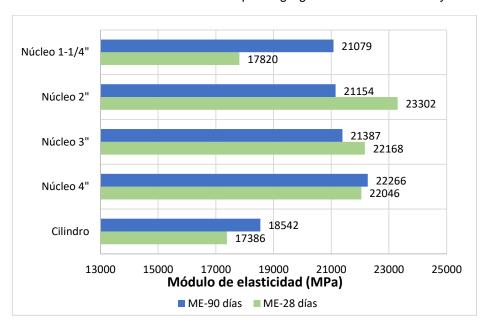
Módulo de elasticidad para muestras con agregado grueso 1-1/2".

En la Tabla 4.45 y la Gráfica 4.7 se evidencia el resumen de todos los valores obtenidos de módulo de elasticidad para el agregado grueso 1-1/2" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y de los cilindros, para la edad de 28 y 90 días. En los informes de laboratorio se presenta la información completa para este ensayo, y este tipo de agregado grueso los mismos que se encuentran en el Anexo 3.: Para los 28 días INF. No.20-0059-I (Hoja 11 - Hoja 15) y para los 90 días INF. No.20-0060-I (Hoja 11 - Hoja 15).

**Tabla 4. 45** Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado grueso 1-1/2" a los 28 y 90 días.

AGREGADO	MUESTRA	MÓDULO DE ELASTICIDAD 28 DÍAS (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD 90 DÍAS (MPa)
	Núcleo φ1-1/4" (MEn15)	17820	21079
	Núcleo φ 2" (MEn11)	23302	21154
Agregado φ 1-1/2"	Núcleo φ 3" (MEn7)	22168	21387
	Núcleo φ 4" (MEn3)	22046	22266
	Cilindro patrón (MEc3)	17386	18542

Gráfica 4.7 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 1-1/2" de núcleos y cilindros.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

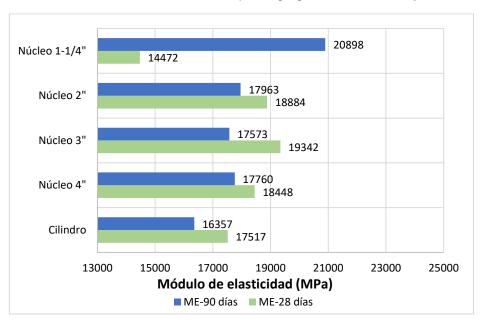
Módulo de elasticidad para muestras con agregado grueso 2".

En la Tabla 4.46 y la Gráfica 4.8 se registra el resumen de todos los valores de módulo de elasticidad obtenidos para el agregado grueso 2" de los núcleos con diferentes diámetros de broca y de los cilindros, para la edad de 28 y 90 días. En los informes de laboratorio se presenta la información completa para este ensayo, y este tipo de agregado grueso los mismos que se encuentran en el Anexo 3.: Para los 28 días INF. No.20-0059-I (Hoja 16 - Hoja 20) y para los 90 días INF. No.20-0060-I (Hoja 16 - Hoja 20).

Tabla 4. 46 Módulo de elasticidad para cilindro y núcleos con agregado grueso 2" a los 28 y 90 días.

AGREGADO	MUESTRA	MÓDULO DE ELASTICIDAD 28 DÍAS (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD 90 DÍAS (MPa)
	Núcleo φ1-1/4" (MEn16)	14472	20898
	Núcleo φ 2" (MEn12)	18884	17963
Agregado φ 2"	Núcleo φ 3" (MEn8)	19342	17573
	Núcleo φ 4'' (MEn4)	18448	17760
	Cilindro patrón (MEc4)	17517	16357

Gráfica 4. 8 Resumen del módulo de elasticidad para agregado 2" de núcleos y cilindros.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

## 4.4 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CORRELACIÓN ENTRE MUESTRAS PATRÓN Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS PARA CADA TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO.

Para resistencia a compresión se procedió así:

- a) Se obtiene la resistencia a compresión para núcleos y cilindros de acuerdo a la ecuación de la Sección 4.3.1.
- b) Se clasifica los resultados de acuerdo al tamaño de agregado grueso y diámetro de broca.

- Se aplicó un nivel de confianza del 90% a los resultados de acuerdo a su edad.
- d) Se calcula el promedio de la resistencia a compresión con los datos obtenidos después de aplicar los límites de confianza.
- e) Se grafica las curvas con el promedio de resistencia a compresión para cilindros y núcleos vs edad, esto por cada tamaño de árido grueso.
- f) Se clasifica los promedios de las resistencias resultantes de cilindros y núcleos por edad, esto por cada tamaño de agregado grueso.
- g) Se obtiene el porcentaje de variación de resistencia a compresión de núcleos, con respecto al cilindro patrón.
- h) Se grafica el porcentaje de variación de resistencia a compresión vs diámetro de la muestra, por edad y para cada tamaño de agregado grueso.
- i) Se determina una tendencia, de acuerdo al porcentaje de variación de los núcleos respecto al cilindro patrón.

#### Para el módulo de elasticidad se procedió así:

- a) Se calcula el esfuerzo de compresión, mediante la carga y el área de cada muestra.
- b) Se grafica el esfuerzo vs la deformación unitaria de los dos ciclos.
- c) Se calcula el módulo de elasticidad con la ecuación de la Sección 4.3.2.
- d) Se clasifica los resultados de módulo de elasticidad de cilindros y núcleos por edad, esto por cada tamaño de agregado grueso.
- e) Se obtiene el porcentaje de variación de módulo de elasticidad de núcleos, con respecto al cilindro patrón.
- f) Se grafica el porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de la muestra, por edad y para cada tipo de agregado grueso.
- g) Se determina una tendencia, de acuerdo al porcentaje de variación de los núcleos respecto al cilindro patrón.

Los resultados de correlación tanto para Resistencia a compresión y Módulo de elasticidad se presentan en el Capítulo V.

#### CAPÍTULO V

#### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

# 5.1 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN ENTRE CILINDROS PATRÓN Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE DIFERENTE DIÁMETRO PARA CADA TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO

Para establecer la existencia de correlación de la resistencia a compresión entre los cilindros patrón y los núcleos extraídos de diferente diámetro se toma los valores de resistencia promedio de la Sección 4.3.1. Se calculó la variación porcentual de la resistencia para todas las muestras por edad y para cada diámetro de núcleo respecto al cilindro patrón, este análisis se realizó para cada tamaño de agregado grueso.

El diámetro de los núcleos varía ligeramente respecto a los diámetros teóricos establecidos, debido al espesor de las brocas y la vibración de la máquina de extracción, por lo tanto, el diámetro de los núcleos utilizado para el cálculo de la correlación es el medido en el laboratorio.

En la presente sección al mencionar "porcentaje de variación de resistencia" se refiere al valor de porcentaje de resistencia de los núcleos que es calculado respecto al cilindro patrón.

## 5.1.1 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/8"

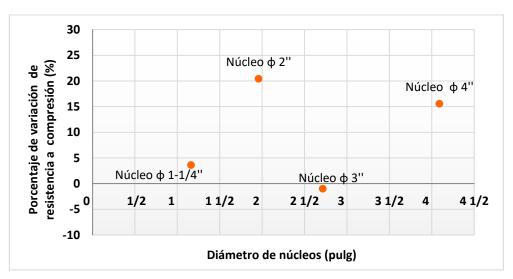
En la Tabla 5.1 se presenta los valores calculados de la resistencia a compresión para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con tamaño de agregado grueso de 3/8" a los 14, 28 y 56 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

**Tabla 5. 1** Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón, para agregado grueso 3/8" a diferentes edades.

Elemento	Resistencia a Compresión (MPa)	Porcentaje de variación (%)
	14 días	
Núcleo φ1-1/4''	19.47	3.62
Núcleo φ 2"	22.63	20.43
Núcleo φ3"	18.60	-1.00
Núcleo φ 4"	21.72	15.58
Cilindro patrón	18.79	0.00
	28 días	
Núcleo φ1-1/4''	25.86	6.53
Núcleo φ 2"	26.30	8.37
Núcleo φ3"	22.15	-8.72
Núcleo φ 4"	26.42	8.85
Cilindro patrón	24.27	0.00
	56 días	
Núcleo φ1-1/4"	27.26	50.99
Núcleo φ 2"	28.26	56.57
Núcleo ф 3"	25.75	42.67
Núcleo φ 4"	21.58	19.55
Cilindro patrón	18.05	0.00

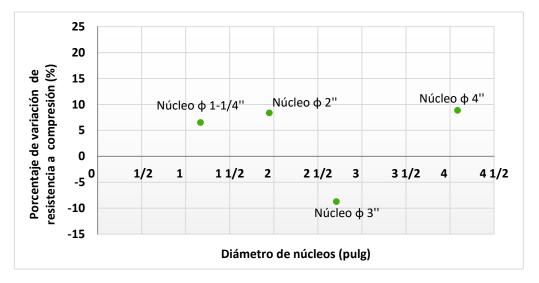
La Gráfica 5.1 presenta una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado grueso 3/8" a los 14 días. Como se observa en la gráfica los tamaños de núcleos de 1-1/4" y 3" son los que tienen un menor porcentaje de variación de la resistencia respecto al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 1** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 3/8" a los 14 días.



La Gráfica 5.2 registra una tendencia según el porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el árido grueso 3/8" a los 28 días. Como se observa en la gráfica los tamaños de núcleos de 1-1/4" y 2" son los que más se aproximan al cilindro patrón.

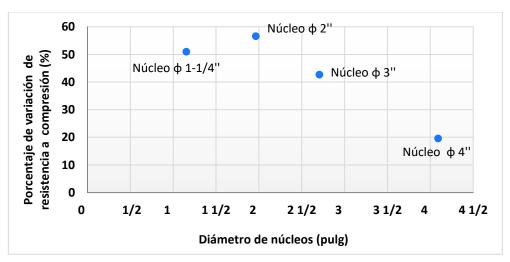
**Gráfica 5. 2** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 3/8" a los 28 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 5.3 muestra una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado grueso 3/8" a los 56 días. Como se observa en la gráfica el tamaño de núcleo de 4" es el que tiene el porcentaje de variación más bajo, por tanto, el más próximo al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 3** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 3/8" a los 56 días.



### 5.1.2 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/4"

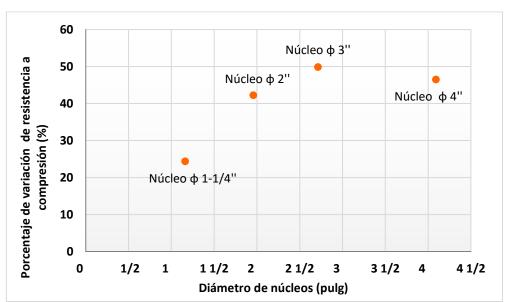
La Tabla 5.2 muestra los valores resultantes de la resistencia a compresión para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con tamaño de agregado grueso de 3/4" a los 14, 28 y 56 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

**Tabla 5. 2** Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón, para agregado grueso 3/4" a diferentes edades.

Elemento	Resistencia a Compresión (MPa)	Porcentaje de variación (%)
	14 días	
Núcleo φ1-1/4"	16.46	24.39
Núcleo φ 2"	18.83	42.26
Núcleo φ3"	19.84	49.90
Núcleo φ4"	19.39	46.52
Cilindro patrón	13.23	0.00
	28 días	
Núcleo φ1-1/4"	18.54	-11.88
Núcleo φ 2"	27.81	32.18
Núcleo φ3"	20.60	-2.11
Núcleo φ4"	24.08	14.46
Cilindro patrón	21.04	0.00
	56 días	
Núcleo φ1-1/4"	26.48	5.05
Núcleo φ2"	24.02	-4.74
Núcleo φ3"	29.59	17.38
Núcleo φ4"	22.19	-11.97
Cilindro patrón	25.21	0.00

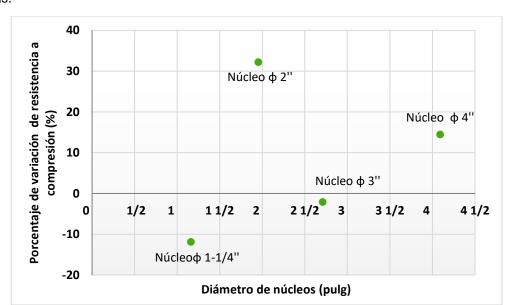
Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 5.4 muestra una tendencia en función del porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro que presentan los núcleos, para el agregado grueso 3/4" a los 14 días. En la gráfica se observa que el núcleo de diámetro 1-1/4" es el que tiene un menor porcentaje de variación de la resistencia, lo que indica que es el que más se aproxima al patrón.



**Gráfica 5. 4** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 3/4" a los 14 días.

La Gráfica 5.5 muestra una tendencia según el porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado grueso 3/4" a los 28 días. En la gráfica se observa que el tamaño de núcleo de 3" es el que más se acerca al cilindro patrón.



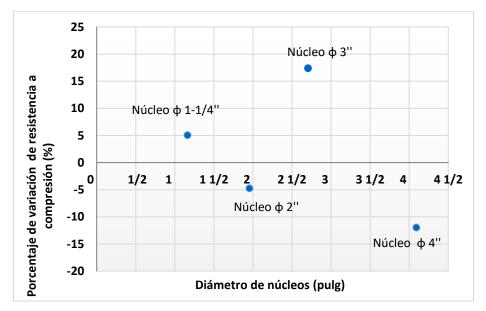
**Gráfica 5. 5** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 3/4" a los 28 días.

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 5.6 presenta una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado grueso 3/4" a los 56

días. Como se observa en la gráfica el tamaño de núcleo de 2" es el que tiene menor porcentaje de variación de resistencia a compresión con relación al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 6** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 3/4" a los 56 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

# 5.1.3 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 1-1/2"

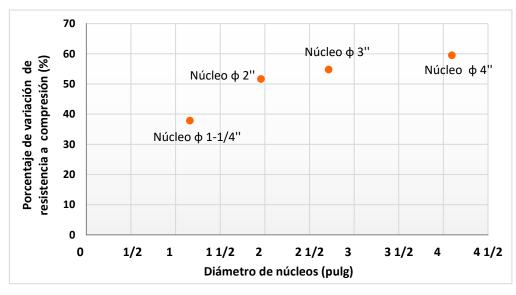
En la Tabla 5.3 se presenta los resultados encontrados de la resistencia a compresión para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con tamaño de árido grueso de 1-1/2" a los 14, 28 y 56 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

**Tabla 5. 3** Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón, para agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades.

Elemento	Resistencia a Compresión (MPa)	Porcentaje de variación (%)	
	14 días		
Núcleo φ1-1/4"	21.97	37.89	
Núcleo φ 2"	24.17	51.70	
Núcleo φ3"	24.67	54.83	
Núcleo φ4"	25.42	59.54	
Cilindro patrón	15.93	0.00	
	28 días		
Núcleo φ1-1/4"	24.42	12.36	
Núcleo φ 2"	29.25	34.57	
Núcleo φ3"	26.73	22.97	
Núcleo φ 4"	27.95	28.61	
Cilindro patrón	21.74	0.00	
56 días			
Núcleo φ1-1/4"	24.07	-7.75	
Núcleo φ 2"	23.57	-9.66	
Núcleo φ3"	22.54	-13.63	
Núcleo φ4"	30.22	15.79	
Cilindro patrón	26.09	0.00	

En la Gráfica 5.7 se observa una tendencia en función del porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el árido grueso 1-1/2" a los 14 días. Como se visualiza en la gráfica el tamaño de núcleo de 1-1/4" es el que más se aproxima al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 7** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 1-1/2" a los 14 días.

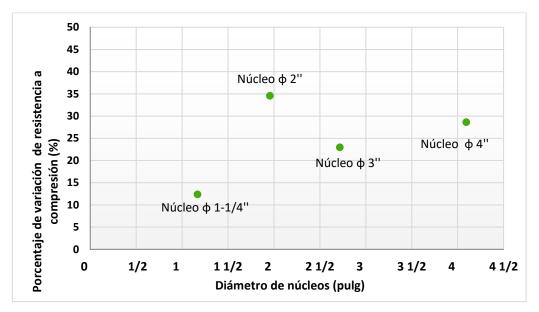


Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 5.8 muestra una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado grueso 1-1/2" a los

28 días. En la gráfica se puede apreciar que el tamaño de núcleo de 1-1/4" es el que menor porcentaje de variación tiene respecto al cilindro patrón.

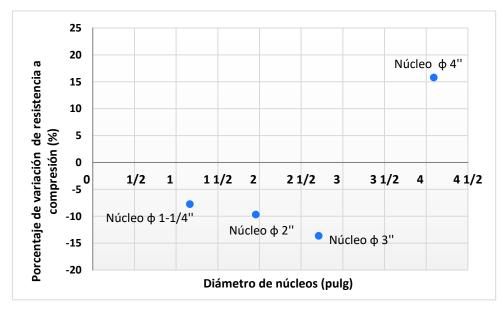
**Gráfica 5. 8** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 1-1/2" a los 28 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 5.9 presenta una tendencia según el porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado grueso 1-1/2" a los 56 días. Como se observa en la gráfica los tamaños de núcleos de 1-1/4" y 2" son los que más se aproximan al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 9** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 1-1/2" a los 56 días.



### 5.1.4 CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 2"

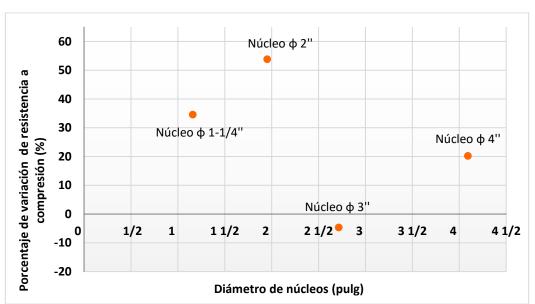
En la Tabla 5.4 se presenta los valores resultantes de la resistencia a la compresión para los núcleos con diferentes tamaños de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con tamaño de agregado grueso de 2" a los 14, 28 y 56 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

**Tabla 5. 4** Resistencia a compresión y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón, para agregado grueso 2" a diferentes edades.

Elemento	Resistencia a Compresión (MPa)	Porcentaje de variación (%)	
	14 días		
Núcleo φ1-1/4''	20.80	34.58	
Núcleo φ 2"	23.77	53.83	
Núcleo φ 3"	14.74	-4.64	
Núcleo φ4"	18.58	20.24	
Cilindro patrón	15.45	0.00	
	28 días		
Núcleo φ1-1/4''	25.30	35.59	
Núcleo φ 2"	23.03	23.38	
Núcleo φ 3"	20.67	10.77	
Núcleo φ 4"	23.19	24.28	
Cilindro patrón	18.66	0.00	
56 días			
Núcleo φ1-1/4''	33.06	28.79	
Núcleo φ 2"	36.55	42.40	
Núcleo φ3"	30.74	19.76	
Núcleo φ 4"	19.87	-22.60	
Cilindro patrón	25.67	0.00	

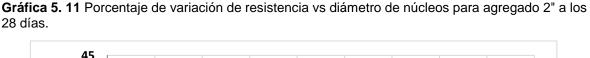
Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

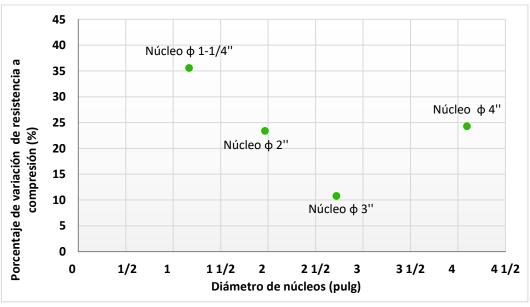
La Gráfica 5.10 muestra una tendencia de acuerdo el porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado de 2" a los 14 días. En la gráfica se observa que el núcleo de 3" es el que menor porcentaje de variación tiene y por ende más se acerca al cilindro patrón.



**Gráfica 5. 10** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 2" a los 14 días.

La Gráfica 5.11 muestra una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado de 2" a los 28 días. Como se observa en la gráfica el tamaño de núcleo de 3" es el que más se aproxima al cilindro patrón.





La Gráfica 5.12 muestra una tendencia en función del porcentaje de variación de resistencia frente al diámetro de los núcleos, para el agregado de 2" a los 56 días. Como se observa en la gráfica el tamaño de núcleo de 3" es el que más se aproximan al patrón.

60 50 Núcleo φ 2" Porcentaje de variación de resistencia a 40 Núcleo φ 1-1/4" 30 Núcleo φ 3" 20 10 1/2 1 1 1/2 2 2 1/2 3 3 1/2 4 1/2 -10 -20 Núcleo φ 4" -30 Diámetro de núcleos (pulg)

**Gráfica 5. 12** Porcentaje de variación de resistencia vs diámetro de núcleos para agregado 2" a los 56 días.

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

# 5.2 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ENTRE MUESTRAS PATRÓN Y NÚCLEOS EXTRAÍDOS PARA CADA TAMAÑO DE AGREGADO GRUESO

Para determinar la correlación del módulo de elasticidad existente entre los núcleos extraídos de distinto diámetro y los cilindros normados, se tomó los resultados de módulo de elasticidad de la Sección 4.3.2. Se calculó la variación porcentual del módulo de elasticidad para todas las muestras por edad y para cada diámetro de núcleo respecto al cilindro patrón, se realizó este análisis por cada tamaño de agregado grueso.

El diámetro de los núcleos utilizados para este proyecto varía ligeramente respecto a los diámetros teóricos establecidos, debido al espesor de las brocas y la vibración de la máquina de extracción, por lo tanto, el diámetro de los núcleos utilizado para el cálculo de la correlación es el medido en el laboratorio.

En la presente sección al mencionar "porcentaje de variación de módulo de elasticidad" se refiere al valor de porcentaje de módulo de elasticidad de los núcleos que es calculado respecto al cilindro patrón.

### 5.2.1 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/8"

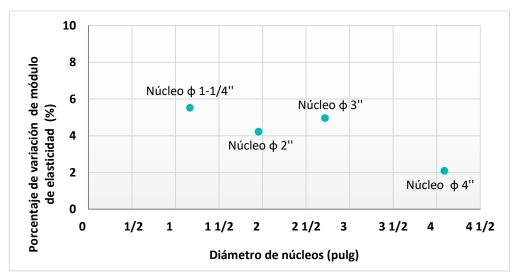
En la Tabla 5.5 se presenta los resultados de módulos de elasticidad para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con tamaño de agregado grueso de 3/8" a los 28 y 90 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

**Tabla 5. 5** Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón para agregado grueso 3/8" a diferentes edades.

Elemento	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de variación (%)
28 días		
Núcleo φ1-1/4''	22926	5.52
Núcleo φ 2"	22645	4.23
Núcleo φ3"	22805	4.97
Núcleo φ4"	22180	2.09
Cilindro patrón	21726	0.00
90 días		
Núcleo φ1-1/4''	24003	15.74
Núcleo φ 2"	23875	15.13
Núcleo φ3"	23386	12.77
Núcleo φ4"	20676	-0.30
Cilindro patrón	20738	0.00

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

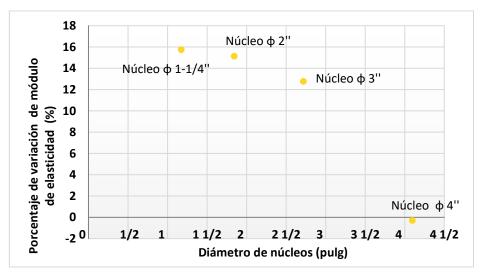
La Gráfica 5.13 registra una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 3/8" a los 28 días. En la gráfica se observa que el diámetro del núcleo de 4" es el que más se acerca al cilindro patrón.



**Gráfica 5. 13** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 3/8" a los 28 días.

La Gráfica 5.14 presenta una tendencia según el porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 3/8" a los 90 días. En la gráfica se observa que el diámetro del núcleo de 4" es el que tiene menor porcentaje de variación de módulo de elasticidad respecto al patrón.

**Gráfica 5. 14** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 3/8" a los 90 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

# 5.2.2 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 3/4"

En la Tabla 5.6 se presenta los resultados de módulos de elasticidad para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con

tamaño de agregado grueso de 3/4" a los 28 y 90 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

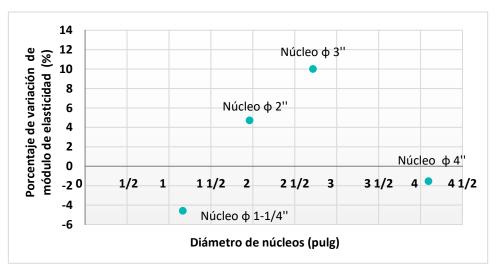
**Tabla 5. 6** Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón para agregado grueso 3/4" a diferentes edades.

Elemento	Módulo de elasticidad (MPa) 28 días	Porcentaje de variación (%)
Núcleo ф1-1/4" 20237 -4.57		
Núcleo φ 2"	22211	4.74
Núcleo φ 3"	23332	10.02
Núcleo φ 4''	20883	-1.53
Cilindro patrón	21207	0.00
90 días		
Núcleo φ1-1/4''	21870	7.22
Núcleo φ 2"	23073	13.11
Núcleo φ3"	21225	4.06
Núcleo φ4"	21265	4.25
Cilindro patrón	20398	0.00

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Gráfica 5.15 se observa una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 3/4" a los 28 días. En la gráfica se observa que el diámetro del núcleo de 4" es el que más se acerca al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 15** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 3/4" a los 28 días.

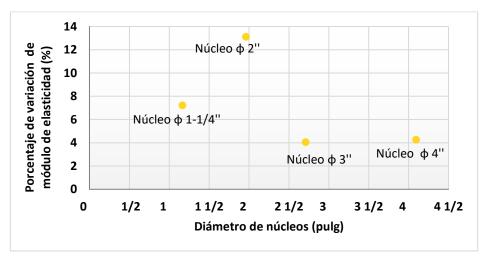


Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

En la Gráfica 5.16 se muestra una tendencia de cada núcleo, según el porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el

agregado 3/4" a los 90 días. En la gráfica se observa que el diámetro de los núcleos de 3" y 4" son los que más se acercan al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 16** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 3/4" a los 90 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

### 5.2.3 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 1-1/2"

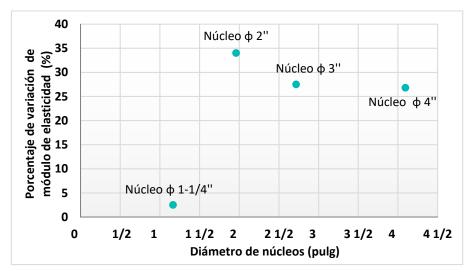
En la Tabla 5.7 se presenta los resultados de módulos de elasticidad para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón, con tamaño de agregado grueso de 1-1/2" a los 28 y 90 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

**Tabla 5. 7** Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón para agregado grueso 1-1/2" a diferentes edades.

Elemento	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de variación (%)
	28 días	
Núcleo φ1-1/4''	17820	2.50
Núcleo φ 2"	23302	34.03
Núcleo φ3"	22168	27.51
Núcleo φ4"	22046	26.80
Cilindro patrón	17386	0.00
90 días		
Núcleo φ1-1/4''	21079	13.68
Núcleo φ 2"	21154	14.08
Núcleo φ3"	21387	15.34
Núcleo φ 4"	22266	20.08
Cilindro patrón	18542	0.00

La Gráfica 5.17 muestra una tendencia según el porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 1-1/2" a los 28 días. En la gráfica se observa que el diámetro del núcleo de 1-1/4" es el que más se acercan al cilindro patrón.

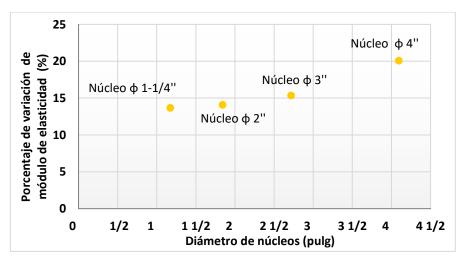
**Gráfica 5. 17** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 1-1/2" a los 28 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

La Gráfica 5.18 evidencia una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 1-1/2" a los 90 días. En la gráfica se observa que el diámetro de los núcleos de 1-1/4" y 2" son los que menor porcentaje de variación tienen.

**Gráfica 5. 18** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 1-1/2" a los 90 días.



# 5.2.4 CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA MUESTRAS CON AGREGADO GRUESO 2"

En la Tabla 5.8 se presenta los resultados de módulos de elasticidad para los núcleos con diferente diámetro de broca: 1-1/4", 2", 3" y 4" y cilindros patrón con tamaño de agregado grueso de 2" a los 28 y 90 días, se calcula el porcentaje de variación existente entre los núcleos y el cilindro patrón.

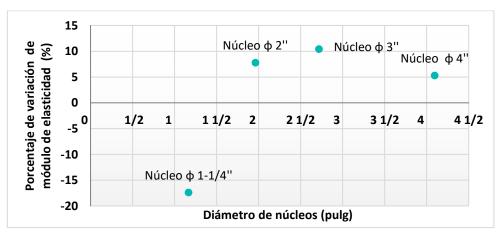
**Tabla 5. 8** Módulos de elasticidad y porcentaje de variación entre núcleos y cilindros patrón para agregado grueso 2" a diferentes edades.

Elemento	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de variación (%)
28 días		
Núcleo φ1-1/4"	14472	-17.38
Núcleo φ 2"	18884	7.80
Núcleo φ3"	19342	10.42
Núcleo φ4"	18448	5.31
Cilindro patrón	17517	0.00
90 días		
Núcleo φ1-1/4"	20898	27.76
Núcleo φ 2''	17963	9.82
Núcleo φ3"	17573	7.44
Núcleo φ4''	17760	8.58
Cilindro patrón	16357	0.00

Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

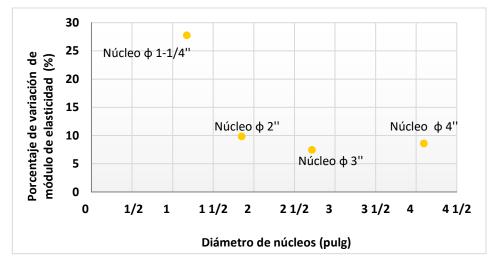
La Gráfica 5.19 registra una tendencia de acuerdo al porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 2" a los 28 días. En la gráfica se observa que el diámetro del núcleo de 4" es el que más se acerca al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 19** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 2" a los 28 días.



La Gráfica 5.20 muestra una tendencia según el porcentaje de variación de módulo de elasticidad frente al diámetro de los núcleos, para el agregado 2" a los 90 días. En la gráfica se observa que los núcleos de diámetro de 3" y 4" son los que más se acercan al cilindro patrón.

**Gráfica 5. 20** Porcentaje de variación de módulo de elasticidad vs diámetro de núcleos para agregado 2" a los 90 días.



Elaborado por: E. Arévalo - G. Pilacuán

De acuerdo al análisis general se evidencia que la correlación de módulo de elasticidad es mayor a los 90 días, por lo tanto, es recomendable que los núcleos sean extraídos cuando el hormigón tenga una edad de al menos 90 días, lo cual permite menor dispersión del valor de porcentaje de módulo de elasticidad de los núcleos respecto al cilindro patrón.

### CAPÍTULO VI

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- En el caso de un hormigón constituido por un árido grueso de 3/8", mientras más pequeño el tamaño del núcleo más se acercó a la resistencia a compresión del cilindro moldeado bajo norma a los 14 y 28 días. No obstante, para una edad de 56 días a más grande el tamaño del núcleo el porcentaje de variación de la resistencia a compresión con respecto al cilindro patrón fue menor.
- Para un hormigón formado de un agregado grueso de 3/4" o 1-1/2", mientras más pequeño fue el tamaño del núcleo más se aproximó al valor de resistencia a compresión del cilindro patrón a medida que aumentó la edad del hormigón.
- Para un hormigón constituido de un agregado grueso de 2", a mayor tamaño del núcleo el porcentaje de variación de la resistencia a compresión en referencia al cilindro patrón fue menor para todas las edades.
- En la mayoría de los casos se cumplió que para hormigones compuestos de agregados gruesos de 3/8", 3/4" y 1-1/2" mientras más pequeño fue el diámetro del núcleo existió menor porcentaje de variación de la resistencia a compresión respecto al cilindro patrón para 14, 28 y 56 días de edad. Sin embargo, para agregados de 2" ocurrió lo contrario, mientras más grande fue el tamaño del núcleo más se aproximó al cilindro patrón. Todo esto nos indica que para evaluar la resistencia a compresión de un hormigón constituido por agregados gruesos máximos de diámetro pequeño, se pueden extraer núcleos de diámetro pequeño, entretanto que para un hormigón formado por un agregado grueso de 2", el núcleo debería ser de diámetro 4" como menciona la norma ASTM C42, donde se indica que para determinar la resistencia a la compresión a través de núcleos, se selecciona el mayor valor entre 94 mm o el doble del tamaño máximo del agregado grueso.

- Para un agregado de 3/8", el cilindro patrón de 100mm de diámetro por 200mm de longitud y todos los núcleos, alcanzaron valores de resistencia mayores a la de diseño de 20.6 MPa a los 28 días.
- Para un agregado de 3/4" a los 28 días, el cilindro patrón (100mm x 200mm) y los núcleos de 2", 3" y 4" obtuvieron la resistencia teórica de 20.6 MPa, a excepción del núcleo de 1-1/4".
- Para un agregado de 1-1/2", tanto el cilindro patrón de (150mm x 300mm) como los núcleos extraídos con los diferentes tamaños de broca, lograron la resistencia de 20.6 MPa para una edad de 28 días.
- Para un agregado de 2" a los 28 días, todos los núcleos alcanzaron la resistencia igual o mayor a 20.6MPa, a excepción del cilindro patrón de (150mm x 300mm) que tuvo un valor de 19MPa.
- Los valores de resistencia a la compresión de los núcleos fueron mayores a los valores de resistencia de los cilindros patrón para todas las muestras con los diferentes agregados gruesos, por tanto, los resultados difieren con lo especificado en la norma ASTM C42 que indica que generalmente la resistencia a compresión de un núcleo debe ser menor que la de un cilindro moldeado y curado correctamente a la misma edad.
- Para la determinación de la resistencia a compresión de todos los núcleos se efectuó lo señalado en la norma ASTM C42 que la relación L/D (longitud/diámetro) debe estar entre los valores de 1.9 y 2.1 veces el diámetro.
- Todos los núcleos extraídos con cada diámetro de broca, cumplieron con la especificación de la norma ASTM C42, donde se menciona que un hormigón se considera estructuralmente adecuado, si la resistencia promedio de tres núcleos debe ser al menos el 85% de la resistencia teórica (20.6MPa), y ninguna resistencia debe ser menor al 75% del valor referencial en el diseño.
- Se evidenció que en general existió menor porcentaje de variación del módulo de elasticidad mientras aumentó el diámetro del núcleo, tanto para 28 como para 90 días, lo que significa que a mayor diámetro del núcleo de extracción más se aproximará al cilindro patrón. A excepción de los núcleos formados por agregado grueso de 1-1/2", que mientras menor diámetro tuvieron más se acercaron al cilindro patrón para las dos edades.

- De acuerdo a los resultados de módulo de elasticidad se observó que a medida que el tamaño de agregado grueso aumenta este parámetro disminuye en comparación con el valor de módulo de elasticidad propuesto en el ACI-318.
- Para las muestras formadas de un hormigón con agregado grueso de 2" los valores de módulo de elasticidad fueron muy variables entre ellos, para las dos edades. Si se tiene un núcleo de hormigón de diámetro 1-1/4" formado de agregado de 2" se analizará sólo una piedra, puesto que la broca extraerá casi al total del agregado y no al hormigón en sí.
- Para un agregado de 3/8" los valores de módulo de elasticidad de las muestras presentan mayor uniformidad entre ellos para 28 y 90 días.
- Para un núcleo de diámetro de 1-1/4" a medida que aumenta el tamaño del agregado grueso el valor de módulo de elasticidad se estabiliza a los 90 días. Para núcleos de diámetro de 2" y 3" con agregado grueso pequeño el módulo de elasticidad se estabiliza a los 90 días. Por tanto, se concluye que los núcleos sean extraídos cuando el hormigón tenga una edad aproximada de 90 días.
- Los valores de módulo de elasticidad de todas las muestras resultaron muy variables debido a que se tomó solo una muestra por cada tamaño de agregado y cada diámetro de núcleo para cada edad, obteniendo mucha incertidumbre en sus valores.

#### 6.2 **RECOMENDACIONES**

- Con la finalidad de tener una idea más amplia y general, logrando una dispersión más pequeña con los resultados, se recomienda que cuando se tenga una variabilidad de tamaños de agregado y tamaños de broca como es el caso de este trabajo experimental, se debería complementar con ensayos no destructivos, como el esclerómetro.
- Se realizó un total de 220 muestras entre cilindros y núcleos, se recomienda tomar una mayor cantidad para obtener datos fiables y evitar contradicciones en los resultados.

- Para cada diámetro de núcleo y tamaño de agregado, la diferencia porcentual de resistencia que se obtuvo debe ser considerada al tener condiciones de trabajo similar a las presentadas en este estudio, tanto en la elaboración de los cilindros como la fundición y vibrado de los elementos.
- Es recomendable dar continuidad a investigaciones del control de los parámetros que intervienen en el proceso de la fabricación y la preparación de núcleos y cilindros con el afán de disminuir la incertidumbre de los resultados de resistencia y módulos de elasticidad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ascanio, M., (2015). *Módulo de elasticidad del concreto*. Universidad La Salle. Cancún- México.
- ASTM. (2018). ASTM C42-18. Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ASTM. (2018). ASTM C31-18. Práctica estándar para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el campo.
- ASTM. (2018). ASTM C33-18. Especificación estándar para agregados para hormigón.
- ASTM. (2018). ASTM C39-18. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM. (2014). ASTM C469-14. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- ASTM. (2016). ASTM C187-16. Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste.
- ASTM. (2017). ASTM C 29-17. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.
- ASTM. (2014). ASTM C136-14. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM. (2015). ASTM C127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM. (2016). ASTM C535-16. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM. (2014). ASTM C131-14. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- Beer, F., Johnston, R., & DeWolf, J. (2007). *Mecánica de materiales*. México: McGraw-Hill.
- Burg, R., & Carino, N. (2001). Concrete Perspectives. What is the biggest problem with concrete core testing? Hanley Wood, U.S.A.
- Callister, W. (2006). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Reverte S.A.

- Carrillo J., Gonzales G., & Jiménez M. (2007). Incidencia del diámetro de extracción de núcleos de hormigón en el análisis de las derivas de estructuras aporticadas. Medellín Colombia.
- Guamán, F., & Pilatasig, J. (2015). Mejoramiento de la tenacidad del hormigón de alta resistencia con la adición de fibra de polipropileno/polietileno. Quito: EPN.
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (19 de octubre de 2011). *Efecto de la variación agua/cemento en el concreto*. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es
- Haro, J., (2014). Estudio comparativo para determinar la reducción del esfuerzo a compresión simple de los núcleos de hormigón comparados con la resistencia de cilindros normalizados de hormigón. Universidad Internacional del Ecuador. Quito – Ecuador.
- Hillbrecht J., (2013) Diseño óptimo de núcleos de hormigón armado para edificios de planta libre. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile Chile.
- Hincapié, Á., & Vidal, J. (2002). Resistencia al hormigón: núcleos vs cilindros. REVISTA Universidad EAFIT. Colombia.
- Huanca, S. (marzo de 2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Obtenido de https://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20me zclas.pdf
- INEN 2380. (2011). Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Quito-Ecuador.
- INEN 1573. (2010). Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Quito-Ecuador.
- Luna, G. (2014). Estudio del hormigón. Quito: Edicumbre.
- Orbe, L., & Zúñiga, P. (2013). Optimización de la relación agua/cemento en el diseño de hormigones estándar establecidos en los códigos ACI-ASTM.

  Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Romo, M. (2008). Temas de hormigón armado. Quito: Escuela Poliécnica del Ejercito.
- Tuncan M., Arioz O., Ramyar K. & Karasu B. (2008). Assessing concrete strength by means of small diameter cores. Revista científica. Turquía
- Trujillo, J. (2013). *Transporte y vertido de hormigones*. Antequera: IC Editorial.

### ANEXOS

**ANEXO 1: CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES**