

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIÓN PARA ELABORAR
BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN QUE CUMPLAN CON LA
ACTUAL NORMA INEN 3066.**

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

WILMER ADRIÁN SANTACRUZ CAMPOVERDE

wilmer.santacruz@epn.edu.ec

ERIK DANIEL VELASTEGUÍ ZAMBRANO

erik.velastegui@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO MSc.

mercedes.villacis@epn.edu.ec

Quito, abril 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, Wilmer Adrián Santacruz Campoverde y Erik Daniel Velasteguí Zambrano, declaramos bajo juramento 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.

Wilmer Adrián Santacruz Campoverde

Erik Daniel Velasteguí Zambrano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erik Daniel Velasteguí Zambrano y Wilmer Adrián Santacruz Campoverde, bajo mi supervisión.

ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Gratitud profunda a la Escuela Politécnica Nacional, por acogerme en sus aulas y brindarme el conocimiento y herramientas necesarias para afrontar el reto que significó este trabajo.

A la ingeniera Mercedes Villacís, por haber confiado en nosotros para la realización de este estudio técnico-experimental. Gracias por su amistad, su tiempo y sobre todo por el aporte desde su conocimiento para lograr los objetivos de esta tesis.

Al equipo LEMSUR-EPN, quienes, además de su amistad, nos brindaron ayuda, espacio y apoyo para poder realizar la fase correspondiente a los ensayos de laboratorio. Especialmente gracias Paúl, Liss e Iván, por el tiempo que le dedicaron al proyecto.

A mi compañero de tesis Erik, gracias por tu apoyo y confianza. Un orgullo haber compartido contigo las horas de desvelo, los cansados días de fundición y todo lo que en este proyecto se nos presentó. También por haber sido un hermano con quien contar y en quien confiar, no solo en esta última fase sino durante toda la carrera.

Me es importante mencionar a los amigos y hermanos que formaron parte en toda esta etapa de vida desde el inicio. Andre, Mau, Sandy, May, Cristian, David y Juan; gracias por haber sido compañía, consejo y apoyo en cada semestre que cursamos.

Gracias también a la vida por haberme permitido retomar mis estudios y cumplir el desafío de ser ingeniero en la mejor Universidad del país. Así mismo a las personas y circunstancias que hicieron más pesada y difícil cada jornada, pero a la vez más gratificante la consecución de este objetivo pues "MARES CALMOS NO HACEN BUENOS NAVEGANTES".

Adrián Santacruz (WILL).

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica Nacional, por haber sido mi segundo hogar durante los últimos 6 años, formándome como profesional y ser humano, siguiendo la doctrina de la mejor universidad del Ecuador.

A mis padres por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento, por todo el amor brindado a lo largo de mi vida y siempre ser un ejemplo de superación.

A mi directora de Tesis Ing. Mercedes Villacís, por toda la confianza, tiempo y conocimientos invertidos en nosotros para la realización de este trabajo.

A los integrantes de LEMSUR-EPN que colaboraron en la realización de este proyecto, en especial a Paúl, Liss, Iván y Antonio.

A mi compañero de Tesis Will, a pesar que al inicio de este trabajo las cosas no salieron de la mejor manera, fue un honor haber compartido toda la carrera con una persona tan capaz como tú, muchas gracias por todo el apoyo que me brindaste y por todos los conocimientos que fuimos formando como un equipo.

A todos mis amigos, ya que además de ser buenos compañeros en lo académico, fueron un excelente soporte anímico. Andre, Juan y Cristian J. es una bendición que la vida les haya puesto en mi camino; Cristian G, David, Mari, May, Sandy, Juan Pablo, Stalin y Tefy, Muchas gracias por cada momento.

Gracias a la Vida, que me permitió estudiar la carrera que siempre anhelé y por haberlo hecho a un nivel que al inicio parecía imposible.

Erik Velasteguí.

DEDICATORIA

A Dios.

Por bendecir cada día de mi vida con salud y guiarme para superar cada reto que se ha presentado. Por acompañarme en cada etapa buena y mala, pero sobre todo por regalarme la mejor familia y el mejor hogar.

A mi mami Bertha y mi papi Wilmer.

Por brindarme el mejor ejemplo de trabajo honrado y desinteresado desde su profesión como maestros. Por su apoyo incondicional a cada sueño que he querido cumplir y seguir confiando en mí incluso luego de, a veces, haber intentado y errado. Por el hogar al que puedo llegar a reparar mis fuerzas cada día y sentir su amor, su confianza y comprensión.

A mis hermanas Anabel, María Belén y mi ñaño Jeanpierre.

Por su cariño, paciencia y apoyo. Por ayudarme, acompañarme y soportarme en esta dura etapa lejos de casa. Siempre podrán contar conmigo para cumplir sus sueños.

A mi hija Victoria.

Por llegar a mi vida y llenarla de amor. Por soportar mi ausencia y regalarme su amor sin condición. Gracias mi reinita por alegrarnos la vida. Te amo con todo mi corazón mi princesita.

Adrián Santacruz.

DEDICATORIA

A todas las personas que integran la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, por el hecho de ser representantes de la mejor universidad del Ecuador, debemos tener siempre el compromiso de aplicar responsablemente los conocimientos adquiridos en nuestra Alma Máter.

Erik Velasteguí.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
PRESENTACIÓN	XXIII
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 ALCANCE	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	5
2 CAPÍTULO 2	7
FUNDAMENTO TEÓRICO	7
2.1 BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN-GENERALIDADES.....	7
2.1.1 Historia de la mampostería.	7
2.1.2 Unidades huecas de concreto para mampostería.....	9
2.1.2.1 Tipología	10
2.1.2.2 Formado o moldeo.....	11
2.1.2.3 Textura en la mezcla.....	11
2.1.2.4 Densidad de las unidades de mampostería.....	13
2.1.2.5 Materia Prima.....	14
2.2 MATERIALES QUE SE EMPLEAN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUE HUECO EN EL ECUADOR	17
2.2.1 Agregados pétreos.....	18
2.2.1.1 Chasqui grueso.....	18

2.2.1.2 Chasqui fino	19
2.2.1.3 Polvo (Arena de la zona).....	20
2.2.2 Cemento.	21
2.2.3 Agua.....	23
2.3 FABRICACIÓN DEL BLOQUE ARTESANAL.....	23
2.3.1 Proceso de fabricación artesanal.	24
2.3.1.1 Dosificación.....	24
2.3.1.2 Mezcla de materiales	25
2.3.1.3 Moldeo de bloques.....	28
2.3.1.4 Secado de bloques	29
2.3.1.5 Curado de bloques.....	30
2.4 NORMA NTE INEN 3066-16	31
2.4.1 Definiciones.....	31
2.4.2 Requisitos para los bloques	34
2.4.2.1 Dimensiones mínimas de tabiques y paredes.....	34
2.4.2.2 Absorción	36
2.4.2.3 Resistencia a la compresión simple.....	37
2.4.3 Clasificación	38
2.4.3.1 Clasificación de acuerdo a su uso	38
2.4.3.2 Clasificación de acuerdo a su densidad.....	38
3 CAPÍTULO 3	39
METODOLOGÍA	39
3.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL BLOQUE	39
3.1.1 Terminología	39
3.1.2 Ensayos en la fracción fina	41
3.1.2.1 Peso Específico en la fracción fina	41
3.1.2.2 Densidad aparente en la fracción fina.....	44
3.1.2.3 Granulometría	45
3.1.2.4 Contenido Orgánico	47
3.1.3 Ensayos en la fracción Gruesa	48
3.1.3.1 Peso específico en la fracción gruesa	49
3.1.3.2 Densidad aparente en la fracción gruesa.....	51

3.1.3.3 Granulometría	52
3.1.3.4 Abrasión.....	54
3.1.4 Resumen de propiedades determinadas en los ensayos sobre la fracción fina y gruesa, a partir de materiales obtenidos de 6 fuentes distintas.	57
3.2 PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS DEL BLOQUE ARTESANAL DE HORMIGÓN EVALUADAS CON LA NORMATIVA INEN 3066.....	60
3.2.1 Descripción de ensayos sobre bloques huecos de hormigón de acuerdo a la norma INEN 3066.....	61
3.2.1.1 Preparación de las muestras y toma de datos.	61
3.2.1.2 Absorción.....	62
3.2.1.3 Contenido de humedad.....	62
3.2.1.4 Densidad.....	63
3.2.1.5 Área neta promedio.	63
3.2.1.6 Determinación de la resistencia a compresión simple.	65
3.2.1.7 Determinación del área normalizada de tabiques.	68
3.2.2 Resumen de resultados obtenidos del bloque artesanal.....	69
3.3 DOSIFICACION UTILIZANDO LA METODOLOGÍA ACI 211.2	70
3.3.1 Optimización en la proporción de agregados para determinar las propiedades de las fracciones fina y gruesa a ser usados en la metodología ACI 211.2.	70
3.3.2 Dosificación para hormigón estructural ligero	78
3.3.2.1 Método 1. Método en Peso.	79
3.3.2.2 Resultados obtenidos usando el método 1.	84
3.3.2.3 Método 2. Método volumétrico (humedad, volumen suelto).....	89
1. Estimación del contenido de cemento	90
3.4 DISEÑO DE MEZCLAS PARA LOS BLOQUES TIPO A, B, y C.	90
3.4.1 Optimización final: Aplicación de la Metodología 2 del ACI 211.2.....	93
3.5 RESULTADO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO SOBRE BLOQUES FINALES	104
3.5.1 Resistencia a la compresión.	105
3.5.2 Área mínima normalizada de tabiques.....	105
3.5.3 Absorción, densidad, volumen neto, área neta.	106
4 CAPÍTULO 4	108
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	108

4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR EL GRADO DE REPRODUCIBILIDAD, REPETIBILIDAD Y LÍMITES DE CONFIANZA EN LOS ENSAYOS EJECUTADOS	108
4.2 MUESTREO.....	108
4.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	108
4.4 INTERVALOS DE CONFIANZA.....	109
4.5 PRUEBAS F (Snedecor), T (Student).	114
4.6 TABLA DE DOSIFICACIONES OBTENIDAS PARA LAS DIFERENTES RESISTENCIAS	119
4.7 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	122
5 CAPITULO 5	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
5.1 CONCLUSIONES.....	128
5.2 RECOMENDACIONES	132
6 REFERENCIAS.....	134
ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO ARMADURO	138
ANEXO 2: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 1 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	140
ANEXO 3: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 2 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	144
ANEXO 4: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 3 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	148
ANEXO 5: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 4 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	152
ANEXO 6: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 5 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	156
ANEXO 7: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 6 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	160
ANEXO 8: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 6, POR SEPARADO, EN LOS MATERIALES BASE (CHASQUI FINO, CHASQUI GRUESO Y POLVO).....	164
ANEXO 9: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES FABRICADOS POR LA BLOQUERA ARTESANAL (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 59.3 KG/M3 DE AGREGADO).....	169

ANEXO 10: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES FABRICADOS POR LA BLOQUERA ARTESANAL (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 59.3 KG/M3 DE AGREGADO)	171
ANEXO 11: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #1 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	173
ANEXO 12: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #2 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	177
ANEXO 13: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #3 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	181
ANEXO 14: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #4 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	185
ANEXO 15: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #5 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA	189
ANEXO 16: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #1).....	193
ANEXO 17: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #2).....	195
ANEXO 18: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #3).....	197
ANEXO 19: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #4).....	199
ANEXO 20: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #5).....	201
ANEXO 21: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #6).....	203
ANEXO 22: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #7).....	205
ANEXO 23: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (PRUEBA #8).....	207
ANEXO 24: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (DOSIFICACIÓN MÉTODO 1 DEL ACI 211.2: 140 KG/CM²).....	209
ANEXO 25: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (DOSIFICACIÓN MÉTODO 1 DEL ACI 211.2: 180 KG/CM²).....	211
ANEXO 26: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (DOSIFICACIÓN MÉTODO 1 DEL ACI 211.2: 210 KG/CM²).....	213
ANEXO 27: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (CONTENIDO DE CEMENTO:74.13 KG/M3 DE AGREGADO)	215
ANEXO 28: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (CONTENIDO DE CEMENTO:88.96 KG/M3 DE AGREGADO)	217
ANEXO 29: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (CONTENIDO DE CEMENTO:103.79 KG/M3 DE AGREGADO)	219
ANEXO 30: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (CONTENIDO DE CEMENTO:118.62 KG/M3 DE AGREGADO)	221

ANEXO 31: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (CONTENIDO DE CEMENTO:177.93 KG/M3 DE AGREGADO).....	223
ANEXO 32: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES (CONTENIDO DE CEMENTO:256 KG/M3 DE AGREGADO)	225
ANEXO 33: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 7 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:30 KG/M3 DE AGREGADO).....	227
ANEXO 34: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 7 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO).....	229
ANEXO 35: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 7 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:245 KG/M3 DE AGREGADO).....	231
ANEXO 36: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 14 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:30 KG/M3 DE AGREGADO).....	233
ANEXO 37: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 14 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO).....	235
ANEXO 38: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 14 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:245 KG/M3 DE AGREGADO).....	237
ANEXO 39: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:30 KG/M3 DE AGREGADO).....	239
ANEXO 40: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO).....	241
ANEXO 41 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28 DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:245 KG/M3 DE AGREGADO).....	243
ANEXO 42: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES TIPO A (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 245 KG/M3 DE AGREGADO).....	245
ANEXO 43: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES TIPO B (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 59.6 KG/M3 DE AGREGADO).....	247
ANEXO 44: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES TIPO C (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 30 KG/M3 DE AGREGADO).....	249
ANEXO 45: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES ELABORADOS POR OPERARIOS DE LA BLOQUERA PARA EVALUAR REPRODUCIBILIDAD (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO).....	251
ANEXO 46: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES DE SEGUNDA FUNDICIÓN PARA EVALUAR REPETIBILIDAD (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO).	253

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. HISTORIAL DE ENSAYOS A COMPRESIÓN EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN DESDE EL AÑO 2003.....	2
GRÁFICA 2. GRANULOMETRÍAS DE AGREGADOS SUGERIDAS PARA DISTINTAS TEXTURAS	13
GRÁFICA 3. CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS.....	15
GRÁFICA 4. CURVA GRANULOMÉTRICA DE CHASQUI FINO	59
GRÁFICA 5. CURVA GRANULOMÉTRICA DE POLVO.....	60
GRÁFICA 6. CURVA GRANULOMÉTRICA DE CHASQUI GRUESO	60
GRÁFICA 7. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN BLOQUES OBTENIDOS A PARTIR DE 5 PROPORCIONES DIFERENTES DE AGREGADO.....	73
GRÁFICA 8. VARIACIÓN DE RESISTENCIA AL INCREMENTAR EL CHASQUI FINO	73
GRÁFICA 9. VARIACIÓN DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL INCREMENTO DE CHASQUI GRUESO EN LA MEZCLA.....	74
GRÁFICA 10. VARIACIÓN DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL AUMENTO DE CHASQUI GRUESO EN LA MEZCLA.....	75
GRÁFICA 11. VARIACIÓN DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CHASQUI FINO	77
GRÁFICA 12. CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO	85
GRÁFICA 13. RELACIÓN A/C EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN.....	85
GRÁFICA 14. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	85
GRÁFICA 15. ESTIMACIÓN INICIAL DEL PESO DE CONCRETO LIGERO.....	86
GRÁFICA 16. PRIMERA CORRELACIÓN ENTRE RESULTADOS A COMPRESIÓN EN BLOQUES Y DIFERENTES CONTENIDOS DE CEMENTO.	95
GRÁFICA 17. SEGUNDO AJUSTE A CURVA PARA OBTENER LA RESISTENCIA DE BLOQUES EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO.	98
GRÁFICA 18. CURVA FINAL AJUSTADA PARA OBTENER LA RESISTENCIA DE BLOQUES EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO.	103
GRÁFICA 19. CRECIMIENTO DE RESISTENCIA HASTA LOS 28 DÍAS DE BLOQUES TIPO A, B Y C	105
GRÁFICA 20. RESULTADOS DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD.....	107
GRÁFICA 21. RESULTADOS DE RESISTENCIA Y DENSIDAD	107
GRÁFICA 22. RESISTENCIA VS COSTO DE BLOQUES OBTENIDOS	123

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA HECHA CON BARRO	8
IMAGEN 2. EDIFICIO MONADNOK. DISTRIBUCIÓN DE PAREDES.....	9
IMAGEN 3. UNIDAD HUECA.....	10
IMAGEN 4. BLOQUE HUECO	10
IMAGEN 5. PIEDRA PÓMEZ.....	17
IMAGEN 6. CEMENTO ARMADURO DE UNACEM.....	22
IMAGEN 7. FRACCIÓN DE BLOQUE	32
IMAGEN 8. PLANO DE CARGA	32
IMAGEN 9. SUPERFICIE BRUTA	33
IMAGEN 10. SUPERFICIE NETA.....	33
IMAGEN 11. IRREGULARIDAD EN BLOQUE QUE DEBE SER CORREGIDA PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN	66
IMAGEN 12. MEDIDAS DEL BLOQUE.....	68
IMAGEN 13. ÁREA NORMALIZADA DE TABIQUES	68
IMAGEN 14. CONDICIÓN DE HUMEDAD DE LAS PARTÍCULAS	79
IMAGEN 15. CONTENIDO DE CEMENTO RECOMENDADO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS	90

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MÉTODOS DE FORMADO SEGÚN LA MATERIA PRIMA.....	11
TABLA 2. GRANULOMETRÍAS EN FUNCIÓN DE LA TEXTURA REQUERIDA.	12
TABLA 3. DENSIDAD DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA SEGÚN EL AGREGADO EMPLEADO.....	14
TABLA 4. DOSIFICACIÓN ARTESANAL EN VOLUMEN	25
TABLA 5. ESPESORES MÍNIMOS DE PAREDES Y TABIQUES PARA BLOQUES TIPO A	36
TABLA 6. ABSORCIÓN EN BLOQUES TIPO A.....	37
TABLA 7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	37
TABLA 8. CLASIFICACIÓN POR USO	38
TABLA 9. CLASIFICACIÓN POR DENSIDAD.....	38
TABLA 10. CLASIFICACIÓN POR MÓDULO DE FINURA	40
TABLA 11. TAMAÑO DEL MOLDE PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD	45
TABLA 12. MASA MÍNIMA DE MUESTRA A ENSAYAR	46
TABLA 13. ESCALA DE GADNER.....	48
TABLA 14. MASA MÍNIMA DE ENSAYO	49
TABLA 15. CAPACIDAD DEL MOLDE.....	51
TABLA 16. GRADACIÓN PARA AGREGADOS DE PESO LIGERO	53
TABLA 17. GRADACIONES.....	55
TABLA 18. CARGA ABRASIVA.....	55
TABLA 19. RESUMEN DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE 6 FUENTES DISTINTAS.....	58
TABLA 20. PROPIEDADES DEL MATERIAL BASE PARA TODA LA FASE DE EXPERIMENTACIÓN.....	59
TABLA 21. RESULTADOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES FABRICADOS DE MANERA ARTESANAL POR LA BLOQUERA ESCOGIDA.	69
TABLA 22. RESULTADOS PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN, DENSIDAD Y ÁREA NETA EN BLOQUES FABRICADOS DE MANERA ARTESANAL POR LA BLOQUERA ESCOGIDA.	69
TABLA 23. PROPIEDADES DE LA FRACCIÓN GRUESA Y FINA DE LOS MATERIALES, EVALUADOS EN 5 PROPORCIONES DISTINTAS.	71
TABLA 24. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN BLOQUES OBTENIDOS CON 5 PROPORCIONES DISTINTAS	72
TABLA 25. ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE CHASQUI FINO EN LA MEZCLA.....	73
TABLA 26. VARIACIÓN DE RESISTENCIA CON LA PRESENCIA DE CHASQUI GRUESO.	74

TABLA 27. ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DEL AUMENTO DE CHASQUI GRUESO EN LA MEZCLA.....	75
TABLA 28. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN 3 MEZCLAS ADICIONALES PARA DETERMINAR EL MÁXIMO INCREMENTO POSIBLE DE CHASQUI FINO.	76
TABLA 29. RESUMEN DE VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CHASQUI FINO EN LA MEZCLA	77
TABLA 30. ASENTAMIENTOS SUGERIDOS	80
TABLA 31. AGUA DE MEZCLADO	81
TABLA 32. RELACIÓN AGUA CEMENTO.....	82
TABLA 33. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO	83
TABLA 34. PESO DEL CONCRETO SEGÚN EL FACTOR DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	84
TABLA 35. DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE PRUEBA CON ACI 211.2 MÉTODO 1.....	86
TABLA 36. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN BLOQUES OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO 1 ACI 211.2	88
TABLA 37. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDROS OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO 1 ACI 211.2	88
TABLA 38. EVALUACIÓN DE 6 CONTENIDOS DE CEMENTO DIFERENTES PARA OBTENER RESISTENCIAS DE PRUEBA.	94
TABLA 39. PRIMERAS 3 ESTIMACIONES A PARTIR DE LA CURVA PARA BLOQUES TIPO A, B Y C.	96
TABLA 40. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRIMERA PREDICCIÓN PARA BLOQUES TIPO A, B Y C. A LOS 7 DÍAS.	97
TABLA 41. RESULTADO A LOS 7 DÍAS OBTENIDOS EN LAS PROBETAS VS ESFUERZOS ESPERADOS SEGÚN LA ECUACIÓN DE AJUSTE 1	98
TABLA 42. CONTENIDO DE CEMENTO OBTENIDO CON EL 2DO AJUSTE... ..	99
TABLA 43. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRIMERA PREDICCIÓN PARA BLOQUES TIPO A, B Y C, A LOS 14 DÍAS.	100
TABLA 44. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRIMERA PREDICCIÓN PARA BLOQUES TIPO A, B Y C A LOS 28 DÍAS.	101
TABLA 45. CONTENIDOS DE CEMENTO OBTENIDOS A PARTIR DEL AJUSTE FINAL PARA OBTENER BLOQUES TIPO A, B Y C	103
TABLA 46. RESUMEN DE RESISTENCIAS FINALES EN BLOQUES TIPO A, B, C.....	105
TABLA 47. ÁREA MÍNIMA NORMALIZADA DE TABIQUES.....	105
TABLA 48. RESULTADOS DE ABSORCIÓN, DENSIDAD Y ÁREA NETA EN BLOQUES FINALES.	106
TABLA 49. MUESTREO PARA ENSAYOS.....	109
TABLA 50. COEFICIENTE DE VARIACIÓN COMO MEDIDA DEL CUIDADO APLICADO EN LA PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN.....	110

TABLA 51. COEFICIENTES DE VARIACIÓN REPRESENTATIVOS DE MATERIALES DE INGENIERÍA.....	111
TABLA 52. LÍMITES DE CONFIANZA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN FINALES CALCULADOS CON DESVIACION ESTÁNDAR MUESTRAL.	113
TABLA 53. LÍMITES DE CONFIANZA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN FINALES CALCULADOS CON DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL 10%.....	114
TABLA 54. CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO F PARA EVALUAR REPRODUCIBILIDAD.....	116
TABLA 55. CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO T PARA EVALUAR REPETIBILIDAD	118
TABLA 56. TABLAS DE DOSIFICACIÓN, EN PESO Y VOLUMEN, PARA MEZCLADORAS CON CAPACIDAD DE ½ SACO DE CEMENTO. RENDIMIENTO APROXIMADO: 60-70 BLOQUES.....	120
TABLA 57. TABLAS DE DOSIFICACIÓN, EN PESO Y VOLUMEN, PARA MEZCLADORAS CON CAPACIDAD DE 1 SACO DE CEMENTO. RENDIMIENTO APROXIMADO: 110-120 BLOQUES.....	121
TABLA 58. RESUMEN DE DATOS PARA ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.....	124
TABLA 59. APU 01: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE COMO ACTUALMENTE LO ELABORA LA INDUSTRIA ARTESANAL	125
TABLA 60. APU 02: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE CON CONTENIDO DE CEMENTO IGUAL AL DE LA BLOQUERA ARTESANAL, PERO CON LA PROPORCIÓN DE MATERIALES OPTIMIZADA EN ESTE TRABAJO.....	125
TABLA 61. APU 03: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA MÍNIMA COMO TIPO A, A LOS 28 DÍAS.	126
TABLA 62. APU 04: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA COMO TIPO B, A LOS 7 DÍAS.....	126
TABLA 63. APU 05: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA COMO TIPO B, A LOS 28 DÍAS.....	127
TABLA 64. APU 06: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA COMO TIPO C, A LOS 28 DÍAS.....	127

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. CONSISTENCIA QUE PRODUCE SEGREGACIÓN CON EL ALTO VIBRADO DE LA MÁQUINA. ASENTAMIENTO: 0CM.	3
FOTOGRAFÍA 2. CONCRETO DE TEXTURA ABIERTA / CERRADA.	11
FOTOGRAFÍA 3. MATERIALES PÉTREOS EN BLOQUERA ARTESANAL.	18
FOTOGRAFÍA 4. CHASQUI GRUESO Y FINO EN LA NATURALEZA	19
FOTOGRAFÍA 5. EXPLOTACIÓN DE CHASQUI FINO EN MINA.	20
FOTOGRAFÍA 6. MINA DE POLVO	20
FOTOGRAFÍA 7. EXTRACCIÓN DE POLVO.	21
FOTOGRAFÍA 8. ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	22
FOTOGRAFÍA 9. CHASQUI GRUESO, CHASQUI FINO Y POLVO EN LA BLOQUERA	24
FOTOGRAFÍA 10. MEZCLADORA DE MATERIALES	25
FOTOGRAFÍA 11. MEZCLADORA CON ÁRIDOS Y CEMENTO	26
FOTOGRAFÍA 12. FORMADO INADECUADO DEL BLOQUE POR FALTA DE HUMEDAD	26
FOTOGRAFÍA 13. FORMADO INADECUADO DEL BLOQUE POR EXCESO DE HUMEDAD	27
FOTOGRAFÍA 14. MEZCLA PARA BLOQUES CON HUMEDAD ADECUADA ..	27
FOTOGRAFÍA 15. SALIDA DE MATERIAL DE LA MEZCLADORA	28
FOTOGRAFÍA 16. LLENADO DE LA MÁQUINA DE VIBRO-COMPACTACIÓN.	28
FOTOGRAFÍA 17. DESMOLDE DE BLOQUES EN LA VIBRO-COMPACTADORA.	29
FOTOGRAFÍA 18. SECADO DE BLOQUES	30
FOTOGRAFÍA 19. CURADO DE BLOQUES	30
FOTOGRAFÍA 20. CONDICIÓN S.S.S EN LA FRACCIÓN FINA	42
FOTOGRAFÍA 21. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA FRACCIÓN FINA	43
FOTOGRAFÍA 22. DENSIDAD APARENTE DE LA FRACCIÓN FINA	44
FOTOGRAFÍA 23. TAMIZADORA PARA FRACCIÓN FINA	47
FOTOGRAFÍA 24. PLACA DE GARDNER – COMPARADOR DE COLOR.	48
FOTOGRAFÍA 25. AGREGADO GRUESO EN CONDICIÓN S.S.S.	50
FOTOGRAFÍA 26. AGREGADO GRUESO EN CONDICIÓN S.S.S COLOCADO EN LA CANASTA.	50
FOTOGRAFÍA 27. FRACCIÓN GRUESA	53
FOTOGRAFÍA 28. TAMIZADORA PARA AGREGADO GRUESO	54
FOTOGRAFÍA 29. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	56
FOTOGRAFÍA 30. BLOQUES SUMERGIDOS EN TANQUE PARA LUEGO SER USADOS EN ENSAYO DE ABSORCIÓN.	61

FOTOGRAFÍA 31. BLOQUE SUSPENDIDO EN AGUA PARA OBTENER LA MASA SUMERGIDA.	61
FOTOGRAFÍA 32. BASE SÓLIDA DEL BLOQUE.	64
FOTOGRAFÍA 33. MEDIDA DE LAS ESQUINAS CURVAS QUE UNEN LOS TABIQUES A LAS PAREDES DEL BLOQUE.	65
FOTOGRAFÍA 34. IRREGULARIDAD ELIMINADA DEL BLOQUE PARA REALIZAR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.	65
FOTOGRAFÍA 35. POSICIÓN DEL BLOQUE PARA REALIZAR ENSAYO DE COMPRESIÓN.	67
FOTOGRAFÍA 36. BLOQUES DE LA PRUEBA #7	77
FOTOGRAFÍA 37. BLOQUES IRREGULARES OBTENIDOS POR MEDIO DEL MÉTODO 1- ACI 211.2.....	92
FOTOGRAFÍA 38. CONSISTENCIA ADECUADA DE LA MEZCLA, PERO IMPOSIBLE PARA FORMAR CILINDROS.	92

RESUMEN

El presente estudio se refiere a la obtención de dosificaciones para obtener bloques que cumplan los requisitos, tanto físicos como mecánicos, que se especifican en la normativa INEN 3066.

Una vez determinado que no existe un método de dosificación para bloques y que además se desconocen las propiedades de sus materiales; se inició el estudio de los 3 agregados ligeros: Chasqui grueso, Chasqui fino y Polvo (Arena de zona) a través de la caracterización de sus propiedades con ensayos de laboratorio.

Luego, aplicando la metodología que permite obtener mezclas para Hormigón estructural Liviano, se adaptó el método 2 del ACI 211.2 generando, mediante mezclas de prueba, una curva que relaciona el contenido de cemento por metro cúbico de agregados con la resistencia que se desea para el bloque. La validación de resultados se realizó con el análisis estadístico de la prueba F y T que evalúan la precisión de la metodología propuesta, bajo condiciones de reproducibilidad y repetibilidad.

Finalmente, mediante un análisis técnico económico se determinó que, por ejemplo; la optimización tanto en la proporción de los 3 agregados como en el contenido de cemento, permitió al bloque artesanal estudiado llegar a clasificar su uso de alivianamiento en losas (tipo C) a paredes no estructurales (tipo B), con un ahorro del 9% en costo y un incremento de resistencia de aproximadamente 25%. Se presentan además las dosificaciones para varias resistencias.

Palabras clave: dosificación, mampuestos, bloque hueco.

ABSTRACT

This study aims to obtain blocks which are going to be in agreement with INEN 3066.

In Ecuador, there is not a code about blocks dosage. First, it is important to know all specifications about lightweight aggregates: thick Chasqui, thin Chasqui, and powder, so this process is made by laboratory assays. Once applying the standard specification for lightweight aggregates for insulating concrete methodology, the 211.2 ACI method will be adapt through mixture tests in order to relate cement per cubic meter of aggregates with the desired strength of the block. This process has been validated by Analysis of variance (ANOVA).

Finally, an economic analysis determined that the optimization of aggregates and cement content reached that an artisan block could be an element for load-bearing walls instead slab lightening block, and it has a saving of 9% and an increase in resistance of 25%.

PRESENTACIÓN

Este trabajo se desarrolló en cinco capítulos:

El capítulo uno hace una introducción a la problemática de fabricación del bloque artesanal en el Ecuador; se presentan los objetivos, el alcance del estudio y al final se describe el aporte teórico, metodológico y práctico que justificó la realización de este trabajo.

El capítulo dos presenta la información teórica encontrada en la bibliografía. Inicialmente se hace un recuento histórico del desarrollo de la mampostería, luego se describen los agregados tradicionales usados para elaborar bloques (Chasqui fino, Chasqui grueso y polvo), y también se detalla el proceso de fabricación del bloque artesanal. En la parte final de este apartado se presenta la descripción de la normativa INEN 3066 que establece los requisitos, tanto físicos como mecánicos, para la elaboración de bloques.

El tercer capítulo detalla la metodología usada en la fase experimental; se inicia con la descripción de los ensayos de laboratorio, los cuales determinaron las propiedades físicas y mecánicas para los tres tipos de agregados livianos. También se describe los ensayos que permitieron evaluar las propiedades físicas y mecánicas en el bloque artesanal actual, según la INEN 3066. Luego, se presenta la metodología ACI 211.2 que permitió evaluar, como primer punto de partida, la dosificación para bloques aplicando el método uno. Después, a partir de la aplicación del método dos de dicha metodología, se define el diseño de mezclas para la obtención de bloques tipo A, B y C. Finalmente, se muestra los resultados de los ensayos para comprobar la resistencia a compresión, absorción y densidad que definen a los mampuestos obtenidos en este trabajo.

En el capítulo cuatro se realiza el análisis estadístico para evaluar la precisión de la metodología utilizada, bajo condiciones de reproducibilidad y repetibilidad, a través de la prueba F y T, respectivamente. Además, se determinaron los límites de confianza para los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Posteriormente, se presenta las tablas de dosificación obtenidas y, finalmente, se hace un análisis técnico económico para evaluar las ventajas de los bloques obtenidos respecto al bloque artesanal.

El capítulo final presenta las conclusiones y recomendaciones respecto de todo el trabajo realizado.

CAPÍTULO I

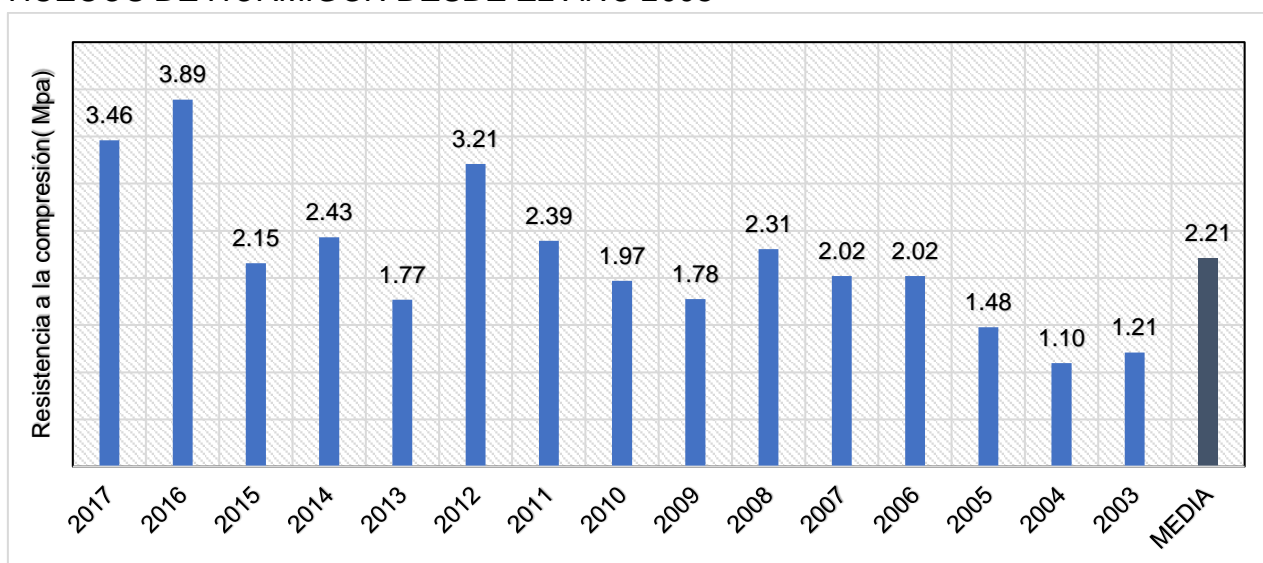
GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de elaboración de bloques huecos de hormigón obtenidos con material liviano no normalizado como es la piedra pómez (Chasqui grueso / fino) y polvo (arena de la zona), los cuales no cumplen con la normativa exigida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 3066, 2016), cuando se refiere a que los agregados para fabricar bloques deben satisfacer los requerimientos establecidos en la norma INEN 872, que especifica características de granulometría, pesos específicos, resistencia a la abrasión y densidad que deben tener los agregados. Sin embargo, en nuestro medio, la principal característica de estos materiales, es que con ellos se elaboran bloques huecos de forma artesanal. Al analizar esta problemática se identificó que una de las causas es la inexistencia de un procedimiento normado para la fabricación de bloques y al mismo tiempo un desconocimiento en las propiedades físico-mecánicas de los mencionados materiales que conforman el mampuesto.

Al no existir un método de dosificación, la industria actual los fabrica empíricamente. En parte esto explica por qué los bloques que se elaboran en nuestro país no alcanzan las resistencias mínimas establecidas en las normativas. Un análisis sobre una base de datos de 600 ensayos realizados en el laboratorio LEMSUR-EPN (Ver Gráfica 1), muestra que en ningún caso se logra, al menos, el requisito de 4Mpa que según la norma técnica ecuatoriana INEN 3066 clasifica a un mampuesto como no estructural, por lo tanto, estos mampuestos califican como tipo C, es decir, alivianamiento para losas (Ver apartado 2.4.3.1).

GRÁFICA 1. HISTORIAL DE ENSAYOS A COMPRESIÓN EN BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN DESDE EL AÑO 2003



FUENTE: LEMSUR. Escuela Politécnica Nacional, 2017.

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

Otro punto que permite entender la problemática alrededor de la fabricación de estos mampuestos es el material con que se elaboran. Generalmente se componen de 3 agregados livianos; Chasqui grueso, chasqui fino y polvo, que son distintos de los convencionales para elaborar hormigón como la arena y el ripio. Esta clase de agregados influyen directamente en las propiedades del mampuesto generando unidades de baja densidad, alta resistencia al fuego, buen aislamiento térmico y sonoro, pero a la vez alto grado de absorción y capacidad de soportar cargas limitada, (Beall, 2012).

El intentar que las ventajas que proporciona el agregado ligero se mantengan, al mismo tiempo que se obtiene un mampuesto competente, reveló que no es posible tener exigencias físico-mecánicas similares a las del hormigón estructural liviano. Es decir, hay condiciones de trabajabilidad y resistencia que no se logran en el bloque, tanto en estado fresco como endurecido. Por ejemplo: una de las limitaciones que se encontró para definir la dosificación, fue la consistencia necesaria de la mezcla para poder sacar los bloques del molde inmediatamente terminado el vibrado. Dicha consistencia, que forma adecuadamente el bloque al desmoldarlo, depende de una cantidad de agua específica. Debido al vibrado de la

máquina, apenas un 5% en exceso de agua genera una gran segregación dejando escapar la pasta por debajo del molde. Esto dio paso a un bloque áspero que se fisura al desmoldarse. Cabe recalcar que incluso se dio al haber medido un asentamiento de cero en el cono de Abrams, es decir con una consistencia seca (Ver Fotografía 1). De igual, manera una carencia de humedad en la mezcla imposibilitó la cohesión necesaria y consecuentemente también se fisura al iniciar el secado.

FOTOGRAFÍA 1. CONSISTENCIA QUE PRODUCE SEGREGACIÓN CON EL ALTO VIBRADO DE LA MÁQUINA. ASENTAMIENTO: 0CM.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

Las limitaciones encontradas en la calidad del material, la maquinaria y el proceso de fabricación del mampuesto, justifican que la determinación de las dosificaciones óptimas de este trabajo no se haya apegado estrictamente a los métodos de dosificación de hormigón convencional. Sin embargo, el estudio de todas estas variables permitió, no solo encontrar las proporciones adecuadas de los materiales, sino que además plantea una optimización a todo el proceso de elaboración.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Encontrar las proporciones adecuadas de los materiales usados en la fabricación del bloque hueco de hormigón, en peso y volumen, para obtener las resistencias netas mínimas a la compresión establecidas en la normativa INEN 3066, tomando en cuenta que el Chasqui y Polvo son agregados de características distintas a los

que tradicionalmente se usan en el diseño de mezclas de hormigón estructural convencional mediante la metodología ACI 211.1, orientando el análisis a la obtención de hormigón estructural ligero para elaborar bloques huecos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se emplean en la fabricación artesanal de los bloques de hormigón, mediante ensayos de laboratorio, para incorporar dicho material como agregado en una mezcla para bloques.
- Adaptar la metodología de diseño de mezclas del ACI 211.2, para evaluar en qué porcentajes se debe emplear el chasqui y polvo al fabricar los diferentes mampuestos detallados en la normativa INEN 3066 para hallar la correcta relación agua cemento necesaria.
- Validar la calidad del mampuesto encontrado, mediante ensayos de resistencia a la compresión, absorción y densidad, realizados en laboratorio, que permitan evidenciar su calidad y cumplir las exigencias de esos parámetros.
- Evaluar la factibilidad de fabricar un bloque que cumpla la normativa INEN 3066, mediante un análisis COSTO-BENEFICIO entre los bloques obtenidos en este trabajo y los que actualmente se elaboran de manera artesanal.

1.3 ALCANCE

Este estudio comprende la elaboración de bloques huecos de hormigón que puedan cumplir la actual normativa INEN 3066, empleando material tradicionalmente usado en las bloqueras artesanales del Ecuador como son el chasqui grueso, chasqui fino y polvo (arena de la zona). Las dosificaciones desarrolladas se basan en dichos agregados de peso ligero obtenidos en canteras del Chasqui y Latacunga en la provincia de Cotopaxi. El lugar donde se estudió el proceso de elaboración y se fabricó los bloques pertenece también a Cotopaxi y se localiza en el sector de Tanicuchí. Además, para limitar el número de variables que puedan afectar los resultados del estudio, se decidió utilizar la misma maquinaria para todas las pruebas.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las dosificaciones empíricas que usa la industria informal para la elaboración de bloques, e incluso las que se basan en la metodología ACI 211.2, no toman en cuenta las características físicas del chasqui y el polvo como la granulometría, densidades aparentes, peso específico, absorción, contenido orgánico y módulo de finura. En tal virtud, las dosificaciones que este trabajo aporta se fundamentan en las propiedades de estos materiales usados comúnmente para la elaboración del bloque artesanal.

Es importante mencionar que la formación académica orienta al estudiante en el manejo de la Metodología ACI 211.1 que se desarrolló para los materiales convencionales del hormigón, mediante rangos establecidos, (Luna, 2014). Por lo tanto, establecer una alternativa para dosificar con materiales de propiedades distintas representa, más allá de un aporte teórico, una forma de complementar el conocimiento y a la vez una base para quienes se interesen en aplicar esta metodología en el futuro.

Respecto del aporte metodológico; es conocido que no existe un método de diseño de mezclas para la elaboración de bloques, por lo que generalmente se usan los criterios del ACI 211.1. Esta práctica no considera que tal metodología fue determinada en base a ripio, arena, cemento y agua, que cumplen con normativa, pero son materiales diferentes a los que se emplean para elaborar bloques huecos de hormigón en el Ecuador, (Arce, 1997)¹. Este hecho explica que la generalidad de los mampuestos resulte con bajas resistencias y bajas densidades. En ese sentido, el evaluar las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales ligeros no convencionales, permitió desarrollar las dosificaciones que logran obtener mampuestos competentes de una manera técnica y no empírica.

En la práctica, tras los eventos sísmicos registrados, se evidenció que la mampostería es de muy mala calidad y por lo tanto es vital importancia reformular su forma de dosificación. Esto es consistente con el incremento de las exigencias planteadas en la última actualización de la normativa técnica para bloques INEN

¹ Citado por (Valdez & Suárez, 2010)

3066 del año 2016. Para el caso de los bloques, el mínimo valor que deben cumplir para ser usados en mampostería estructural es ahora 13.8 Mpa, para mampostería no estructural 4 Mpa y para aliviamiento en losas 1.7 Mpa. Sin embargo, información obtenida de ensayos de laboratorio demuestran que la resistencia alcanzada es en promedio de 2.1 Mpa². De acuerdo a lo señalado se revela que el sector artesanal no satisface los requerimientos de la normativa y, por lo tanto, contar con dosificaciones que permitan obtener mampuestos competentes no solo elevará el estándar de calidad a esta industria, sino que brindará mayor seguridad a los profesionales de la construcción para que pueden optar por una alternativa anteriormente inexistente.

² Estadística en base a datos de 600 ensayos de compresión realizados en el Laboratorio de ensayo de materiales, mecánica de suelos y rocas. LEMSUR. Escuela Politécnica Nacional, 2017.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN-GENERALIDADES

2.1.1 Historia de la mampostería.

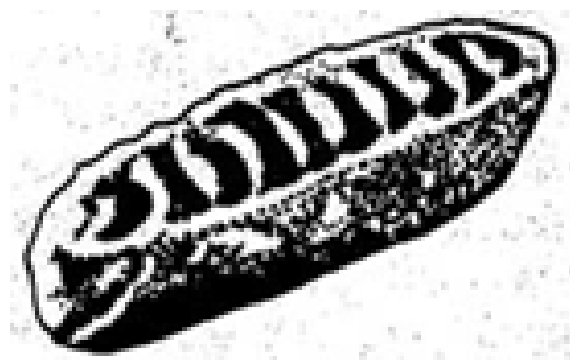
La bibliografía existente es amplia respecto del desarrollo de la mampostería a lo largo de la historia, sin embargo, abordan el tema con un enfoque apegado a la arquitectura. Esto es razonable tomando en cuenta que, el registro no escrito de la civilización pudo seguirse, en gran parte, por los restos arquitectónicos conservados a través del tiempo, (Beall, 2012). A continuación, se resumen los aspectos más relevantes, pero enfocados dentro de un contexto ingenieril.

La búsqueda de un refugio que pudiera resguardar al hombre de los animales salvajes y las desfavorables condiciones climáticas constituyó, probablemente, un primer intento de mampostería. Esto le puede ser atribuido a uno de nuestros antepasados nómada y recolector de alimentos, quien durante el final del periodo paleolítico e inicio de la edad de piedra, aproximadamente 15 000 años atrás, empezó a usar las rocas para conformar un espacio que le diera seguridad. (Tarradell, 1979).

Luego, ante la necesidad de fijar con mayor facilidad dichas rocas, en lugar de simplemente apilarlas, debió haberse desarrollado un mortero elaborado con barro, consiguiendo así mejor protección con las condiciones climáticas. Todo esto sería uno de los primeros pasos para la conformación de las primeras poblaciones, en las cuales el hombre descubrió los principios del cultivo de tierras y la cría de animales para su consumo, (Nistal Cordero, Retana Maquena, & Ruiz, 2012). Como prueba de esto se han encontrado indicios prehistóricos de poblados levantados a base de rocas asentadas con mortero de barro, desde las Islas Aran situadas en Irlanda o las desarrolladas por los Incas de Ollantaytambo en el valle de Urubamba cerca al Cusco, (Navarrete, 1976).

El descubrimiento de la primera unidad de albañilería elaborada por el hombre a base de barro secado al sol, nace como intento de remplazar a las rocas naturales, y fue encontrado por medio de excavaciones arqueológicas en Jericó en el Medio Oriente correspondiente al Neolítico Temprano (7500 – 4000 a.C). Esta unidad de barro tiene la forma de un gran pan con un peso aproximado de 15 kilogramos, fue elaborada a mano y secado al sol, (Gallegos, 2005).

IMAGEN 1. UNIDAD DE ALBAÑILERÍA HECHA CON BARRO

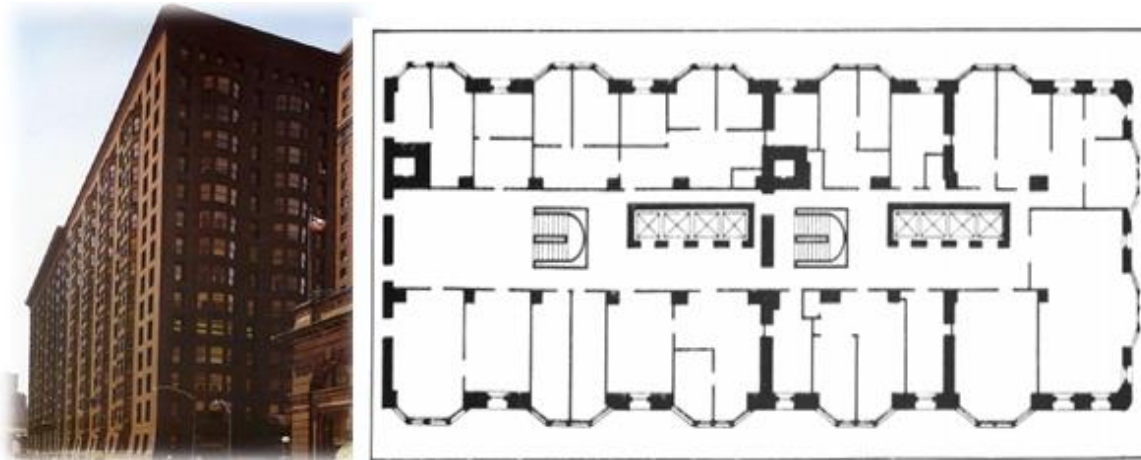


FUENTE: (Beall, 2004).

Posteriormente, las unidades de albañilería fueron adaptando su composición a materiales y formas distintas. Sin embargo, aún con la arquitectura renacentista, el desarrollo de la mampostería no vivió innovaciones significativas como otros sistemas estructurales. Por otro lado, al llegar la revolución industrial, el énfasis se centró en materiales como acero, hierro y hormigón, dejando relegado el uso de mampostería a un uso secundario como: revestimientos, rellenos, paredes no portantes, etc. (Beall, 2004)

Al iniciar la última década del siglo XIX se construyó en Chicago el Monadnock, citado generalmente como el último edificio de gran altura construido con muros portantes de mampostería simple exterior. Tiene 16 pisos de alto y paredes de 1.8m de espesor que tan solo permitían un área ocupacional del 25 % del área total, (Strike, 2004). Obviamente, tal deficiencia en el sistema estructural pudo haberse reducido con mayor conocimiento ingenieril que posibilite un mejor análisis y el correcto dimensionamiento, lo cual no estaba disponible para entonces.

IMAGEN 2. EDIFICIO MONADNOK. DISTRIBUCIÓN DE PAREDES.



FUENTE: (La Escuela de Chicago Arquitectura vs Estructura., 1983).

Luego de la segunda guerra mundial, Suecia inició la fabricación de bloques de concreto con densidad reducida, formados con encofrados uniformes y precisos o cortados al tamaño exacto. En Zúrich 1954, se culminó el primer edificio de muros portantes diseñados con métodos racionales, obteniendo una altura de 20 pisos en base a muros de mampostería simple de 32cm de espesor los cuales se requirieron principalmente por condiciones de aislamiento térmico. Este edificio impulsó el auge de la mampostería portante debido a que reduce la cantidad de material estructural, costo y espacio ocupado, (Strike, 2004). En regiones sísmicas es común y bien aceptado la construcción de edificaciones de varios niveles a base de muros portantes de mampostería, pero reforzada con acero. Estos son competitivos en términos económicos con otros tipos y materiales estructurales, (Bonett Díaz, 2003).

2.1.2 Unidades huecas de concreto para mampostería.

Según la Normativa NTE INEN-3066, un bloque se define como una pieza prefabricada con forma de paralelepípedo, con o sin perforaciones en su interior, elaborada con hormigón simple, conformado por áridos inertes tanto gruesos como finos, cemento hidráulico, y agua, con o sin aditivos. Estas unidades de albañilería son el componente esencial para la construcción de la mampostería. Pueden elaborarse también a base de arcilla, mezclas de sílice y cal (Beall, 2001). Además, son producidas en condiciones totalmente heterogéneas; desde refinadas fábricas

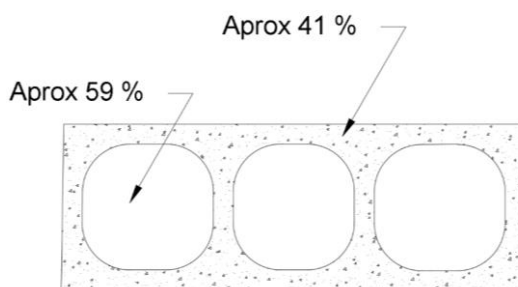
con rigurosos controles industriales, hasta limitados terrenos improvisados sin ningún control de calidad.

2.1.2.1 Tipología

La tipología de un mampuesto no se refiere al tamaño o la materia prima con la que fue elaborado. Esta característica se basa en el porcentaje de área que las cavidades ocupan respecto del área total del mampuesto. El bloque estudiado en este trabajo corresponde a una unidad hueca.

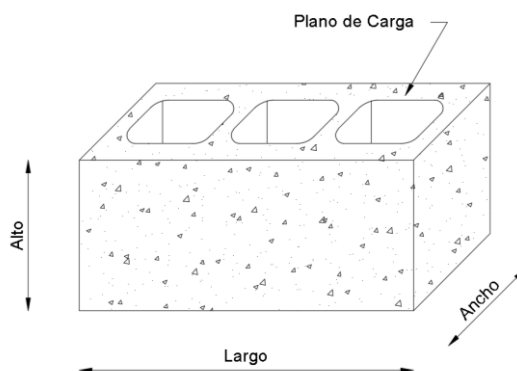
Unidades Huecas: En estas el área hueca es superior al 25% del área bruta, siendo lo suficientemente grandes para permitir que sean rellenos con concreto líquido. El área de cálculo para esfuerzos es igual al área neta, a menos que las cavidades sean rellenas con concreto líquido, (NTE INEN 3066, 2016). Los bloques de este trabajo son huecos, ya que aproximadamente el 41 % del área bruta corresponde a área neta.

IMAGEN 3. UNIDAD HUECA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

IMAGEN 4. BLOQUE HUECO



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.1.2.2 Formado o moldeo

El tipo de industria que elabora las unidades de mampostería influye de manera directa en el acabado y textura que se obtengan. Dichas características variarán en función del método escogido para su formado o moldeo, y también dependerá del material con que se fabrique al mampuesto. A continuación, se muestra diferentes métodos, recomendados por la bibliografía, para obtener un correcto terminado.

TABLA 1. MÉTODOS DE FORMADO SEGÚN LA MATERIA PRIMA

Métodos de formado para diversas materias primas						
	Corte	Moldeo				
		Sin Presión	Con Presión	Vibración	Vibro-Compresión	Extrusión
Arcilla		x	x			x
Concreto		x		x	x	
Sílice-Cal			x			
Piedra	x					
Suelo-Cemento		x	x			

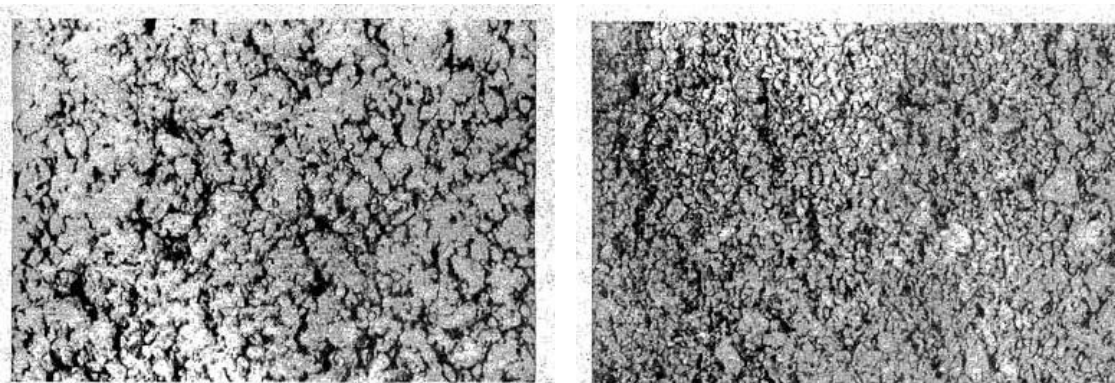
FUENTE: (Albañilería Estructural, 2005).

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.1.2.3 Textura en la mezcla

Para mampuestos es deseado tener una textura abierta que permita al mortero adherirse de mejor manera y lograr la unidad entre bloques. Al mismo tiempo, la ventaja de esta estructura radica en que resta capilaridad al acabado lo cual dificulta la absorción de la humedad por este medio.

FOTOGRAFÍA 2. CONCRETO DE TEXTURA ABIERTA / CERRADA.



FUENTE: (Albañilería Estructural, 2005).

Cuando la vibración concluye, la pasta debe permitir que el bloque sea desmoldado y resista la manipulación de las siguientes etapas de su fabricación. Para lograr lo antes expuesto, es necesario emplear graduaciones correctas de agregado, caso contrario la única forma de incrementar la resistencia del bloque será aumentando la compactación y la densidad, generando un concreto de textura cerrada similar al concreto convencional, (Beall, 2004). A continuación, se presenta una tabla con granulometrías sugeridas para obtener las diferentes texturas.

TABLA 2. GRANULOMETRÍAS EN FUNCIÓN DE LA TEXTURA REQUERIDA.

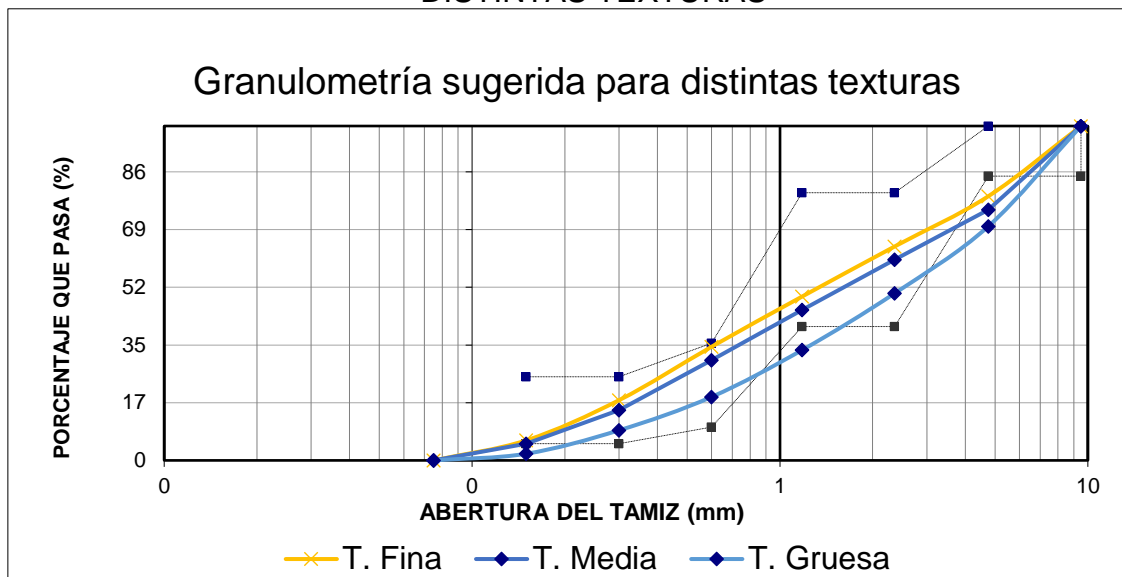
Tamiz	Textura fina	Textura Media	Textura Gruesa
#	% que pasa		
3/8	100	100	100
4	79	75	70
8	64	60	50
16	49	45	33
30	34	30	19
50	18	15	9
100	6	5	2
Módulo de finura	3,5	3,7	4,2

FUENTE: (Albañilería Estructural, 2005).

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Al contrastar estos valores dentro de los límites que establece la norma ASTM C330, la cual define los parámetros para agregado ligero, se verifica que dichos valores sí cumplen la normativa, al menos en esta propiedad, (ver Gráfica 2).

GRÁFICA 2. GRANULOMETRÍAS DE AGREGADOS SUGERIDAS PARA DISTINTAS TEXTURAS



Nota: Los límites granulométricos de todas las curvas presentadas en este trabajo corresponden a los establecidos en la tabla 1 de la norma ASTM C 330.

2.1.2.4 Densidad de las unidades de mampostería

Este tipo de prefabricados se desarrollaron para manipularse fácilmente con las dos manos por lo que su peso generalmente no sobrepasa de 15 kg. Siendo el agregado fino el componente que mayor volumen ocupa en la mezcla, entre el 40-60 %³, la densidad de este definirá el peso de la unidad, (Ver tabla 3). Por esto los agregados que generalmente se usan son de peso liviano. La eficiencia al producir unidades de concreto consiste en obtener la mínima densidad que logre la mayor resistencia empleando el menor contenido de cemento, lo cual reducirá el costo de cada unidad.

³ (ACI 211.2, 1998)

TABLA 3. DENSIDAD DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA SEGÚN EL AGREGADO EMPLEADO.

Densidad de bloques en función del tipo de agregado	
Agregados	Densidad (kg/m³)
Arena y Piedra	2000-2350
Escorias	1600-2200
Arcillas Expandidas	1200-1500
Piedra pómez	950-1350
Concreto celular	400-700

FUENTE: (Albañilería Estructural, 2005).

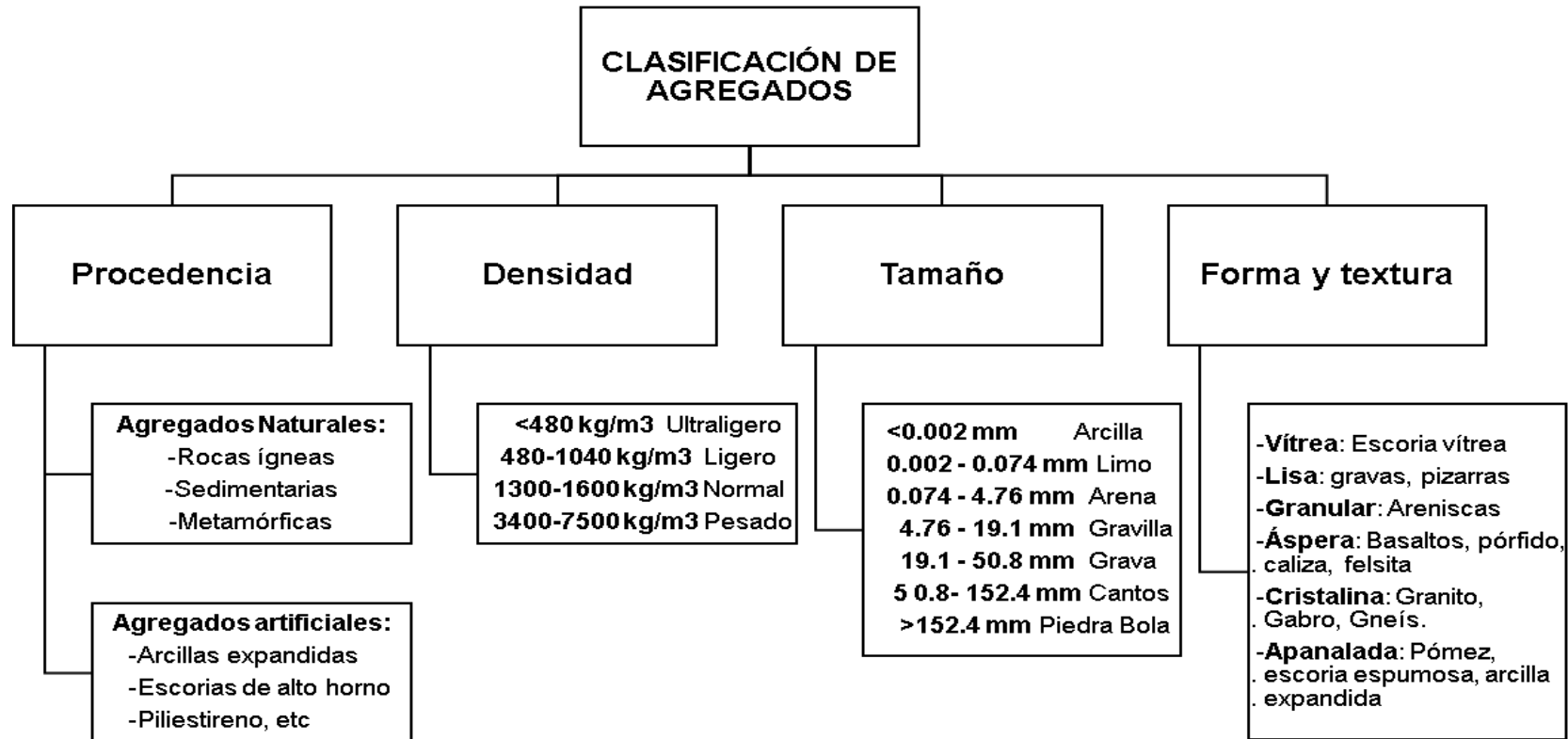
ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.1.2.5 Materia Prima

Los bloques huecos de hormigón, como ya se ha mencionado, generalmente se fabrican con cemento portland, agua y agregados de peso ligero o normal. El poco uso de hormigón ligero en nuestro medio y consecuentemente el tipo de agregado no convencional que se necesita para tal aplicación, justifica la poca información existente respecto de las características de los materiales de peso liviano. En cuanto al agua y cemento sus propiedades son muy conocidas por lo que este apartado principalmente tratará sobre el agregado de peso liviano.

La gran variedad de materiales que pueden usarse como agregado ligero son: arcillas expandidas, escoria de altos hornos, cenizas volantes, piedra pómez, diatomita, perlita, vermiculita, esquistos, pizarra, poliestireno, viruta de madera y cascarilla de arroz. Todos estos, por su baja densidad, tienen la ventaja de contar con buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico, sin embargo, permiten altos grados de absorción y no todos presentan la aptitud para ser usados hormigones. Por esto, a varios de ellos se destina su mayor uso en prefabricados sin fin estructural, (Valdez & Suárez, 2010).

GRÁFICA 3. CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS



Fuente: (Concreto Simple, 2010).

Elaboración: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

En general los agregados de peso liviano provienen de procesos industriales. Las arcillas, esquistos y pizarras son los materiales más abundantes para fabricar agregados ligeros. Todos estos se han formado por la descomposición de rocas de sílice cuyos residuos al ser transportados, ya sea por el agua o viento, han alterado su composición con una variedad de minerales, (Valdez & Suárez, 2010).

El método más común para obtener agregados ligeros a partir de estos materiales es el horno rotatorio. También, más común en Europa y Estados Unidos, se realiza producción por sinterización utilizando combustible. Dependiendo del tamaño de agregado que se obtenga en esos procesos, las densidades los clasifican como ligeros y pueden llegar a ser ultraligeros, (ver GRÁFICA 3). Generalmente mientras más grueso es el agregado obtenido, menor es la densidad y también mayor es la absorción, llegando a 20% en estos casos. Las piezas de mampostería con este tipo de agregados logran resistencias de 100 a 200 kg/cm² y contenidos de cemento de hasta 316kg/m³. Los agregados ligeros de escoria de altos hornos, se define como producto no metálico que consiste, esencialmente, en silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, desarrollados en estado fundido simultáneamente con el hierro, en un alto horno. Dependiendo de la velocidad de enfriamiento de la materia fundida existen varios tipos de escorias. La escoria granulada, así como las expandidas o esponjas, son las que se usan como agregados ligeros. Las unidades de mampostería con este tipo de agregado tienen un peso de 11 a 15 kg en unidades huecas de 20x20x40 y resistencias de hasta 85kg/cm², (Wilson, 1981)⁴.

Otro tipo de agregado liviano, pero de origen natural, es la piedra pómez. Este proviene de rocas ígneas las cuales forman gran parte de la corteza terrestre. También se las llama rocas originales por proceder directamente del magma solidificado. De acuerdo a la velocidad de enfriamiento del magma se obtiene la textura de la roca: a alta velocidades los granos son pequeños, a baja velocidad

⁴ Publicado en revista IMCYC, Vol. 19.

suelen ser grandes y si el enfriamiento es instantáneo las partículas serán porosas, (Clarke, 1993)⁵.

IMAGEN 5. PIEDRA PÓMEZ



FUENTE: Concreto simple, 2005.

Los agregados empleados en la elaboración de concretos ligeros no deben generar reacciones perjudiciales con la pasta de cemento ni la armadura. Existen agregados que presentan actividad en función de sus propiedades hidráulicas apoyando al desarrollo de resistencia mecánica, estos pueden ser los materiales volcánicos que poseen sílice activa y varios de los artificiales que se mencionaron anteriormente. Otros sí son perjudiciales afligiendo la durabilidad y estructura interna del hormigón como algunas pizarras o los que poseen elementos sulfurados, (Rivera López, 2010).

2.2 MATERIALES QUE SE EMPLEAN PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUE HUECO EN EL ECUADOR

La zona de estudio de este trabajo contempla a los materiales y el proceso de fabricación de bloques en la provincia de Cotopaxi. Durante la fase de trabajo de campo y levantamiento de información, se determinó que son 3 agregados livianos los que se utilizan para la fabricación de bloques: Chasqui grueso, chasqui fino y polvo. Sin embargo, existen sectores que a veces reemplazan alguno de ellos por arena de peso normal o incluso llegan a utilizar tierra para aumentar el rendimiento

⁵ Citado por (Arce, 1997). Tesis pregrado.

del material. El agua utilizada es potable y el cemento que se adquiere tiene alta resistencia inicial lo cual es ideal para este tipo de prefabricados. A continuación, se detalla la información más relevante encontrada sobre los componentes del bloque artesanal fabricado en Cotopaxi.

FOTOGRAFÍA 3. MATERIALES PÉTREOS EN BLOQUERA ARTESANAL.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

2.2.1 Agregados pétreos

2.2.1.1 Chasqui grueso

La piedra pómez utilizada toma el nombre de “chasqui” por la zona donde se lo obtiene y por su tamaño se le adiciona el término “grueso”. Esta es una roca de origen volcánico generalmente de color blanco amarillento. En su origen, la lava que se proyecta al aire sufre una gran descompresión dejando escapar gases lo que le genera una textura rugosa con pequeñas celdas interconectadas, (Arce, 1997). Por tal formación adquiere gran porosidad, lo cual le otorga gran capacidad de absorción. En estado natural el tamaño de los granos puede variar desde una pulgada hasta similares a la arena.

La piedra pómez se extrae generalmente de minas que cuentan con permiso ambiental ubicadas en el sector El Chasqui al lado oeste del volcán Cotopaxi. Este material se encuentra a manera de estratos, (ver fotografía 4). Por esto para su explotación es necesario primero remover las capas de estrato superiores. Estos se componen de restos de polvo volcánico, arcillas, esquistos, arenas y también

otro tipo de chasqui denominado fino, de color oscuro. Debido a la forma en que se presenta este material en la naturaleza, el material más limpio será aquel que menos restos de los estratos adyacentes contenga. Esto influye además en el costo del material que puede variar desde los 20 dólares, cuando se mezcla con tierra para aumentar el rendimiento del material, hasta 100 dólares, si el material se adquiere bastante limpio o sí en otras minas hay escasez de este agregado. Este precio es referencial a una volqueta llena con 10m³ de capacidad.

FOTOGRAFÍA 4. CHASQUI GRUESO Y FINO EN LA NATURALEZA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

2.2.1.2 Chasqui fino

El chasqui fino proviene también de la piedra pómez, sin embargo, tiene un tamaño máximo de 3/8". Se extrae de las minas ubicadas en el mismo sector que el Chasqui grueso pues su origen también es volcánico.

En la naturaleza también se presenta en forma de estratos, pero existe de manera abundante, ocupando casi la totalidad de la mina, (ver fotografía 5), por esto es común que para su extracción baste remover con una pala desde el suelo y cargar los materiales a las volquetas. El costo siempre es menor al chasqui grueso justamente porque su extracción es más fácil y a diferencia de este, siempre hay disponibilidad.

FOTOGRAFÍA 5. EXPLOTACIÓN DE CHASQUI FINO EN MINA.

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

2.2.1.3 Polvo (Arena de la zona)

Este material denominado “polvo” por su color blanco, textura delgada y liviana, es el agregado más fino de los tres que se utiliza para fabricar bloques. A diferencia del chasqui grueso y fino que, por su naturaleza, se obtienen en la cercanía al volcán Cotopaxi, se puede encontrar este agregado dentro de zonas pobladas especialmente desde Latacunga hasta Pujilí. Las minas donde se explota este material son grandes montañas de las que fácilmente se puede extraer el polvo.

FOTOGRAFÍA 6. MINA DE POLVO

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

FOTOGRAFÍA 7. EXTRACCIÓN DE POLVO



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

Para su obtención se necesita únicamente una gallineta que pueda perfilar la montaña, dejando caer el material al suelo para luego ser cargado en volquetas y posteriormente transportado. Es tal la existencia de este agregado en la zona de Latacunga que hay varios sitios donde la propia bloquera está sobre una mina, de manera que basta con realizar un raspado y llevarlo con carretilla.

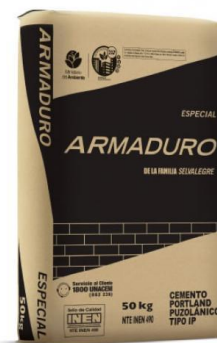
De lo encontrado en la experimentación este material no aporta ninguna propiedad mecánica relevante al bloque, sino que más bien por su finura ayuda a darle el acabado cerrado a la unidad.

2.2.2 Cemento.

Este componente es un material de construcción pulverizado que contiene óxido de calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro. Al entrar en contacto con el agua es capaz de formar una pasta conglomerante que puede endurecer, tanto en el agua como en el aire. El cemento Portland, se obtiene como el producto de la pulverización del Clinker Portland con la añadidura de una o más formas de sulfato de calcio u otros productos que no afecten a las propiedades finales del cemento. Las adiciones realizadas deben ser pulverizadas simultáneamente con el Clinker, (Rivera López, 2010).

Para este trabajo se empleó el mismo cemento que usa la industria artesanal estudiada. EL cemento puzolánico tipo IP ARMADURO, elaborado por UNACEM, es recomendado debido a que se necesitan altas resistencias iniciales en el prefabricado, con lo cual el bloque puede manipularse en las demás fases de transporte y colocación. Este cumple con la normativa NTE INEN 490 y ASTM C 595, de acuerdo a lo indicado en su ficha técnica (Ver Anexo 1).

IMAGEN 6. CEMENTO ARMADURO DE UNACEM



FUENTE: UNACEM

Los ensayos realizados en el cemento tienen como finalidad encontrar las propiedades necesarias para el cálculo de las proporciones en las mezclas de prueba, estos son: Densidad real y densidad aparente.

FOTOGRAFÍA 8. ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO



FUENTE: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz.

2.2.3 Agua

Este componente influye directamente sobre las propiedades físicas y mecánicas del hormigón. En estado fresco, la trabajabilidad se logra con cierta cantidad de agua que cumple una función lubricante entre las partículas. Esto da lugar a una mezcla homogénea que va compactándose de manera correcta. En estado endurecido, la resistencia se alcanza porque el cemento pudo desarrollar su capacidad ligante al reaccionar químicamente con el agua en un proceso llamado “Hidratación”, (Luna, 2014).

La cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación es aproximadamente el 30 % de la masa de cemento empleada. Todo exceso que permanezca sin aportar ninguna función adicional como la trabajabilidad, se evaporará dejando vacíos, los cuales le restarán resistencia y durabilidad al hormigón. En ese sentido, siempre se debe tratar de adicionar la mínima cantidad de agua que otorgue buena trabajabilidad para no perder resistencia o en su defecto optar por el uso de algún aditivo, (Rivera López, 2010).

El agua apta para el amasado es el agua potable. En caso de no disponer de agua verificada como potable se debe someter a un estudio bajo los parámetros establecidos en la normativa ASTM C 1602-12 ó NTE INEN 1108.

2.3 FABRICACIÓN DEL BLOQUE ARTESANAL

Las bloqueras encargadas de fabricar los mampuestos varían la proporción de los materiales tradicionales; Chasqui grueso, chasqui fino y polvo, en base a la experiencia obtenida durante años. Sin embargo, desconocen la capacidad real del mampuesto más allá de la percepción que tienen sobre un buen o mal bloque.

La oferta del mampuesto no se realiza en base al tipo de bloque según cómo lo clasifica la norma o la resistencia que tienen, sino que se basa únicamente en el costo y las dimensiones que necesite el cliente. Por esto, generalmente las bloqueras artesanales emplean una única dosificación sin distinguir la aplicación posterior del mampuesto y de ser necesario solo se aumenta el contenido de cemento para poder ofrecer un mejor bloque. Esta práctica limita a la industria de

tal forma que imposibilita optimizar recursos a la vez que puedan ofertar un bloque competente con algún fin estructural. Adicionalmente, el cuidado en cada etapa es vital para la obtención de un mampuesto adecuado. Por todo esto, se detalla a continuación cuál es el proceso de fabricación actual con comentarios que recomiendan la optimización en cada fase según la experiencia de este trabajo.

2.3.1 Proceso de fabricación artesanal.

2.3.1.1 Dosificación.

En la fabricación de bloques artesanales se prepara la mezcla únicamente en volumen.

FOTOGRAFÍA 9. CHASQUI GRUESO, CHASQUI FINO Y POLVO EN LA BLOQUERA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

La manera en que se controlan las cantidades a emplear, es mediante carretillas para medir los agregados y baldes plásticos para el agua. La dosificación artesanal mostrada a continuación es una aproximación de la que generalmente se emplea: 2 carretillas de polvo, 1 1/2 de chasqui fino y 1 de grueso.

TABLA 4. DOSIFICACIÓN ARTESANAL EN VOLUMEN

Material	Volumen(dm3)	Dosificación en volumen
Chasqui Grueso	93,67	11,2
Chasqui fino	140,50	16,8
Polvo	187,34	22,4
Agua	54,64	6,5
Cemento	8,36	1,0
Factor de cemento: 59.3 kg por m3 de agregados.		

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Esta forma de dosificar los agregados limitó a que este estudio encuentre la dosis óptima en esos mismos parámetros de volumen, de otra forma establecer un valor de fino y grueso no sería práctico pues de los 3 materiales que se usan habría que tamizar, separar las fracciones gruesas de las finas y finalmente mezclar de nuevo en las proporciones recomendadas en este trabajo. Esto además de ineficiente reduciría el rendimiento en la producción por el tiempo empleado.

2.3.1.2 Mezcla de materiales

Los agregados pétreos (Chasqui fino, grueso y polvo), en estado húmedo, se colocan en la máquina mezcladora, dejándolos combinar durante 5 minutos aproximadamente.

FOTOGRAFÍA 10. MEZCLADORA DE MATERIALES

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

La máquina tiene una capacidad de aproximadamente medio metro cúbico. Cuenta con tres paletas que giran rotatoriamente a distancias distintas del centro lo cual genera un mezclado adecuado; se adiciona agua para hidratar los áridos y evitar que se genere polvo. Una vez mezclados, se vierte el cemento y el agua restante. La mezcla se debe prolongar alrededor de 5 minutos más.

FOTOGRAFÍA 11. MEZCLADORA CON ÁRIDOS Y CEMENTO



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

El agua utilizada siempre se limitó a la cantidad adecuada para evitar que se segregue la pasta con la vibración (Ver FOTOGRAFÍA 13) y, por otro lado, a la necesaria para que se forme el bloque sin fisurarse por falta de humedad en la mezcla (Ver FOTOGRAFÍA 12). Esto al inicio era algo muy subjetivo sin embargo se determinó que debía formarse una masa muy homogénea sin humedad considerablemente visible (brillo en el agregado). Ese era el primer indicativo de que la mezcla estaba lista para iniciar el formado.

FOTOGRAFÍA 12. FORMADO INADECUADO DEL BLOQUE POR FALTA DE HUMEDAD



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

FOTOGRAFÍA 13. FORMADO INADECUADO DEL BLOQUE POR EXCESO DE HUMEDAD



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- La cantidad de agua suficiente permite a la mezcla juntarse y que se forme una masa luego de cerrarla en el puño.

FOTOGRAFÍA 14. MEZCLA PARA BLOQUES CON HUMEDAD ADECUADA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Una vez lista la mezcla, se abre la compuerta de descarga permitiendo que la totalidad del material salga de la máquina.

FOTOGRAFÍA 15. SALIDA DE MATERIAL DE LA MEZCLADORA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.3.1.3 Moldeo de bloques.

- La maquinaria de vibro-compactación posee un molde con las dimensiones establecidas del bloque a elaborar. Esta debe estar encendida durante el proceso de llenado del molde. Se recomienda un lapso de vibrado de aproximadamente 5 minutos, tiempo en el cual el molde debe ser llenado con cierto exceso que le permita al apisonador llenar la totalidad del molde.

FOTOGRAFÍA 16. LLENADO DE LA MÁQUINA DE VIBRO-COMPACTACIÓN



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Luego se desmoldan los bloques sobre un tablero de madera colocado en la parte inferior de la máquina, el mismo que permitirá el traslado de los bloques hasta el sitio de secado y curado.

- Los tableros de madera generalmente se cubren con una lona, esto le da un acabado muy irregular en la base lo cual dificulta el ensayo de compresión. Para este trabajo se utilizaron tableros de folio de 5mm que ayudaron a tener una base más regular evitando incluso el refrentado en la parte inferior.

FOTOGRAFÍA 17. DESMOLDE DE BLOQUES EN LA VIBRO-COMPACTADORA.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.3.1.4 Secado de bloques

- Los bloques se disponen a la intemperie para ser secados sobre los tableros de madera. Debe cuidarse la interacción de las piezas frescas con la lluvia durante las primeras tres horas para impedir que el agua modifique la estructura del bloque.
- La calidad del bloque depende en gran medida del secado inicial ya que, al exponerlo al sol en exceso, el agua se evapora y por contracción el bloque se fisura. Para evitar este problema algunas bloqueras artesanales optan por trabajar en la noche o madrugada.

FOTOGRAFÍA 18. SECADO DE BLOQUES



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.3.1.5 Curado de bloques

- Se debe curar los bloques de manera uniforme en todo el lote. Se emplea aspersores para distribuir el agua en forma de rocío suave, este proceso se lo realiza durante los tres días iniciales después del día de fabricación.

FOTOGRAFÍA 19. CURADO DE BLOQUES



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

El tipo de curado más óptimo se realiza a través de vapor a baja presión. Esto se realiza en una industria mucho más tecnificada, sin embargo, para nuestro medio basta con brindarle constante humedad en los primeros días y sobre todo evitar la exposición al sol en las primeras horas.

2.4 NORMA NTE INEN 3066-16

La actual normativa, publicada oficialmente en noviembre de 2016, reunió en un solo documento las consideraciones de las normas INEN 638, 639, 640, 642 y 643. Estas establecían los requisitos, tanto físicos como mecánicos, que debían cumplir las unidades huecas de hormigón. En abril de ese mismo año, como es de conocimiento general, Ecuador vivió un terremoto de 7.8 Mw según la escala sismológica de Richter⁶ dejando grandes daños en infraestructura, perjuicios económicos, pero sobre todo la irremediable pérdida de vidas humanas. Este hecho nos recordó la importancia de contar con un alto nivel de calidad en nuestros materiales y sistemas constructivos. Es así que las exigencias de las propiedades mecánicas para las unidades de mampostería se pusieron a la altura del estándar que demandan las normas ASTM en Estados Unidos y que son referencia para la mayoría de controles de calidad en la construcción. Sin embargo, la actualización de la norma a tales parámetros de calidad, no considero el proceso productivo de la industria local. Por ejemplo: en la mayor parte de Estados Unidos, los bloques se producen con curado a vapor de baja presión, lo cual aumenta la resistencia a compresión, controla la contracción y ayuda a cuidar la apariencia del mampuesto, (Beall, 2004). En nuestro medio en cambio, se dejan secar al sol y se cubren con un plástico luego de ser rociados con una manguera.

A continuación, se presentan varias consideraciones de la norma actual NTE INEN 3066 con varios comentarios a sus parámetros desde la experiencia obtenida en este trabajo.

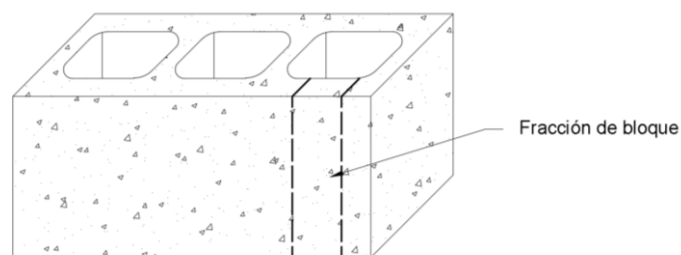
2.4.1 Definiciones

Las normas técnicas deben ser lo suficientemente explícitas para evitar que haya mala interpretación por parte del usuario. Toda ambigüedad podría dar paso a tergiversación de resultados o realización de ensayos erróneos. En ese sentido primero se presenta varia terminología que debe ser aclarada para el entendimiento de la norma.

⁶ Informe sísmico especial N°7 -2016, Instituto Geofísico del Ecuador

Fracción de bloque: Parte cualquiera de las secciones transversales, obtenida con la finalidad de ensayarla y cuyas propiedades son las correspondientes al bloque entero, (NTE INEN 3066, 2016). Generalmente se recurre a cortar las unidades cuando se busca ensayar la unidad con mayor regularidad o cuando la capacidad de las máquinas de ensayo demanda que el espécimen sea de menor tamaño.

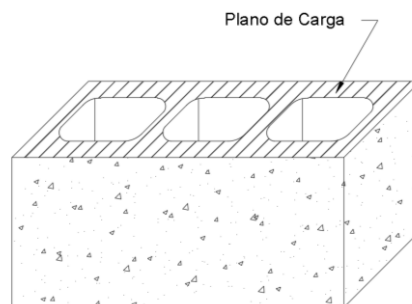
IMAGEN 7. FRACCIÓN DE BLOQUE



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Plano de carga: Superficie perpendicular a la dirección de aplicación de la carga en el ensayo de compresión simple, (NTE INEN 3066, 2016).

IMAGEN 8. PLANO DE CARGA

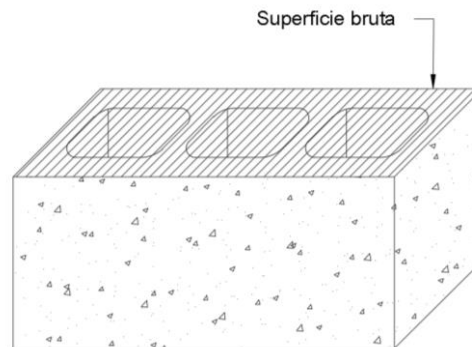


ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Resistencia a la compresión bruta: Razón entre la carga de rotura a compresión simple y su superficie bruta, (NTE INEN 3066, 2016). Este parámetro definía el esfuerzo al que estaba sometido un bloque al aplicarle una carga, sin embargo, no es real y subestima el valor real de dicho esfuerzo puesto que el área que efectivamente soporta la carga es menor a la superficie utilizada para el cálculo.

Superficie bruta: Superficie paralela al plano de carga del bloque, conformada por el área total de la sección incluidas las áreas dentro de las celdas y los espacios entre las salientes. Se la obtiene como el producto del largo por el ancho de la pieza, (NTE INEN 3066, 2016).

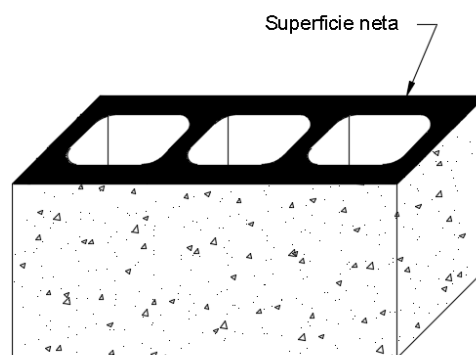
IMAGEN 9. SUPERFICIE BRUTA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Superficie neta: Superficie paralela al plano de carga, que efectivamente soporta la carga aplicada y siempre es menor al área bruta, (NTE INEN 3066, 2016). Se obtiene al dividir el volumen neto, obtenido como indica el anexo E de la INEN 3066 o basado en las pruebas descritas en ASTM C140, para el alto del bloque.

IMAGEN 10. SUPERFICIE NETA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Con este valor y la carga máxima aplicada se debe calcular el esfuerzo a compresión del mampuesto. La resistencia a compresión del área bruta se sigue usando en varios métodos de mampostería empíricamente diseñada, (International Building Code, 2006).

Volumen neto: Se describe su cálculo en el anexo E de la norma, (NTE INEN 3066, 2016). Este valor no corresponde al volumen obtenido únicamente por las medidas del espécimen. Junto con la masa puede obtenerse el valor de densidad del mampuesto.

2.4.2 Requisitos para los bloques

Para poder clasificar al bloque según esta norma, es importante que cumplan con tres aspectos básicos que influyen en mayor grado sobre el rendimiento general del mampuesto:

- Dimensiones.
- Absorción.
- Resistencia a la compresión simple.

2.4.2.1 Dimensiones mínimas de tabiques y paredes

Los estándares más referenciados sobre unidades de mampostería en Estados Unidos son publicados por la ASTM. Sus normas contienen los requisitos mínimos que, según su continua revisión e investigación experimental, aseguran la calidad en el comportamiento de estas unidades de hormigón.

Antes de la última revisión de la norma ASTM C-90, cuyo equivalente en cuanto a bloques soportantes en nuestro país es la INEN 3066, existían varios espesores mínimos de tabique regulados en función del ancho de la unidad. Además, el espesor equivalente de tabiques (una medida del ancho de tabiques por pie de longitud de la pared) se usó para determinar si había suficiente continuidad para transferir las cargas de corte, (NCMA, 2012)⁷. Luego de dicha revisión se determinó que pueden darse varias configuraciones de espesor, siempre y cuando el área de la sección transversal que une los tabiques con las paredes cumpla un mínimo de

⁷ NCMA TEK NOTES son una serie de publicaciones proporcionadas por la autoridad nacional de albañilería de concreto en Estados Unidos.

45140mm²/m², esto independientemente del ancho que tenga la unidad. Dicha área mínima sería el reemplazo del espesor equivalente antes mencionado. Adicionalmente debe cumplirse un único espesor mínimo de 19mm en el tabique excepto en los casos en que los huecos estén destinados a rellenarse con concreto, (ASTM-C90, 2016).

Los bloques con una configuración de tabiques delgados, hasta cierto límite, no alteran otras propiedades en el bloque y es por eso que la National Concrete Masonry Association, en una de sus publicaciones (Concrete Masonry Designs, 2012), hace énfasis en las ventajas que trae la actualización de la ASTM C-90 en el 2011: “La reducción en la sección de tabiques tiene el potencial de aumentar de manera sustancial la eficiencia energética de la mampostería al reducir los puentes térmicos que resultan entre las paredes del bloque a causa de la unión de estos con los tabiques. Esto permite que los valores de R (Resistencia al flujo de calor) puedan aumentar de 2 a 3 veces sin reducir el rendimiento estructural”⁸.

En nuestro país las recomendaciones en cuanto a dimensiones mínimas son las siguientes: Para bloques Clase B y C, el espesor mínimo tanto para paredes como tabiques es 13 mm. Para bloques Clase A, se debe cumplir con la tabla mostrada a continuación, siempre y cuando los huecos no sean rellenados con concreto líquido, (NTE INEN 3066, 2016).

⁸ Revista publicada por NCMA. Página 23.

TABLA 5. ESPESORES MÍNIMOS DE PAREDES Y TABIQUES PARA BLOQUES TIPO A

Ancho modular del bloque (mm)	Espesores mínimos de paredes y tabiques (mm)		Área mínima normalizada de tabiques (mm ² /m ²)
	Paredes	Tabiques	
<100	19	19	45140
101-150	25	19	45140
>150	32	19	45140

FUENTE: NTE INEN 3066

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

La tabla anterior es la misma que también exige la norma ASTM C-90 para mampuestos soportantes.

2.4.2.2 Absorción

Este parámetro tiene mucha mayor influencia en otros países cuyos climas son tan extremos que, tras ciclos de congelación – descongelación, generan esfuerzos dentro de los poros debido a presencia de humedad, (Beall, 2004). En nuestro medio limitar estos valores de absorción, aún sin tales extremos, constituyen un control de calidad que evita las contracciones durante el secado y también la succión que afecta el enlace entre el mortero y la unidad.

Para poder clasificar a un mampuesto como clase A, se debe cumplir el siguiente requisito:

TABLA 6. ABSORCIÓN EN BLOQUES TIPO A

Tipo	Densidad (kg/m³)	Absorción máxima Promedio (kg/m³)	Absorción máxima por unidad (kg/m³)
Liviano	<1680	288	320
Medio	1680 - 2000	240	272
Normal	>2000	208	240

FUENTE: NTE INEN 3066

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

En referencia a esta propiedad la norma no establece ningún límite para poder clasificar como bloque Tipo B o Tipo C. Estos requisitos también son los mismos que demanda la norma ASTM C90.

2.4.2.3 Resistencia a la compresión simple.

Esta característica depende fundamentalmente de la calidad de los agregados utilizados. La resistencia a compresión obtenida también varía con el grado de compactación logrado al momento del moldeo lo cual asegura una unidad más compacta para resistir cargas. El ensayo se realiza conforme lo que explica la norma en su anexo E.

TABLA 7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Número de Bloques	Resistencia neta mínima a la compresión simple (kg/cm²)		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 unidades	140,76	40,8	17,34
1 unidad	126,48	35,7	14,28

FUENTE: NTE INEN 3066

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Anteriormente la normativa en Ecuador (NTE INEN 643), establecía un máximo de 6Mpa (61.2 kg/cm²) para paredes soportantes y 4Mpa (40.8 kg/cm²) para paredes no soportantes. Ahora el valor mínimo para poder usarse en mampostería estructural se incrementó en más del doble, demandando un estándar muy alto para

los materiales y la industria disponibles. Por esto las dosificaciones planteadas en este trabajo vienen acompañadas de recomendaciones a todo el proceso que lleva la industria informal.

2.4.3 Clasificación

2.4.3.1 Clasificación de acuerdo a su uso

TABLA 8. CLASIFICACIÓN POR USO

Clasificación por uso	
Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamiento en losas

FUENTE: NTE INEN 3066

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

2.4.3.2 Clasificación de acuerdo a su densidad.

TABLA 9. CLASIFICACIÓN POR DENSIDAD

Clasificación por densidad		
Tipo	Densidad del Hormigón (kg/m³)	Densidad del Hormigón (g/cm³)
Liviano	<1680	<1,68
Mediano	1680 - 2000	1,68-2
Normal	>2000	>2

FUENTE: NTE INEN 3066

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL BLOQUE

La normativa NTE INEN 3066, que establece los requisitos para bloques, hace referencia a la norma INEN 872 para definir las características del agregado, sin embargo, no se describen las propiedades que debe cumplir el agregado ligero y por esto dicha norma hace referencia a la norma ASTM C331 la cual sí especifica características que deben cumplir estos agregados, para ser usados en unidades huecas de mampostería. Tales exigencias son muy similares a las del agregado de peso normal con ciertas diferencias en los límites granulométricos y ensayos adicionales que evalúan la durabilidad al congelamiento y deshielo de las unidades de mampostería. También se hace referencia a un ensayo que limita la presencia de hierro el cual puede dar paso a cierta coloración en el bloque. Estos parámetros no fueron tomados en cuenta debido a que el país no está expuesto a tales cambios extremos de temperatura y durante la experimentación la unidad no presentó coloración que pudiera dar indicios de algún mineral que sea perjudicial para la unidad.

3.1.1 Terminología

A continuación, se presenta terminología importante que no es usual encontrar y que puede ser importante para entender los ensayos.

Módulo de finura: Factor empírico que permite apreciar que tan fino es cualquier material, sin embargo, se recomienda conocer este valor para el agregado y así poderlo clasificar de la siguiente manera:

TABLA 10. CLASIFICACIÓN POR MÓDULO DE FINURA

Módulo de Finura	Agregado Fino
<2	Muy fino o extra fino
2-2.3	Fino
2.3-2.6	Ligeramente fino
2.6-2.9	Medianamente fino
2.9-3.2	Ligeramente Grueso
3.2-3.5	Grueso
>3.5	Muy Grueso

FUENTE: Concreto simple, 2010

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Tamaño máximo: Abertura del tamiz más pequeña que faculta el paso de la totalidad de agregado, (Rivera López, 2010).

Tamaño máximo nominal: Abertura más grande del tamiz en la cual se admite la retención de agregado, (Rivera López, 2010).

Densidad Real: Masa promedio de una unidad de volumen, sin tomar en cuenta los poros permeables y los no permeables, (NTE INEN 856, 2010).

Densidad Nominal: Masa promedio de una unidad de volumen, sin tomar en cuenta únicamente los poros permeables o saturables, (NTE INEN 856, 2010).

Densidad Aparente: Masa promedio de una unidad de volumen, tomando en cuenta tanto los poros permeables como los impermeables o no saturables, (NTE INEN 856, 2010).

Absorción: Porcentaje de agua requerido para llegar a saturar los agregados, expresado respecto a la masa de los materiales secos, (NTE INEN 856, 2010).

Densidad relativa o gravedad específica: Valor adimensional, producto de relacionar la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una cierta temperatura, (NTE INEN 856, 2010).

Densidad relativa aparente o gravedad específica aparente: Valor adimensional, producto de relacionar la densidad aparente de un material y la densidad del agua destilada a una cierta temperatura, (NTE INEN 856, 2010).

Coefficiente de uniformidad: Revela información concerniente al desgaste del árido. De forma general se conoce que un material con un coeficiente de uniformidad superior al 20 por ciento no asegurará una dureza uniforme, (Luna, 2014).

3.1.2 Ensayos en la fracción fina

Con la finalidad de encontrar las dosificaciones para elaborar los bloques es necesario conocer las propiedades de los agregados que se emplearán. A continuación, se precisa las pruebas requeridas y los respectivos procedimientos a ejecutar en el agregado fino.

3.1.2.1 Peso Específico en la fracción fina

Se detalla el método para obtener la gravedad específica conforme con las normativas NTE INEN 856 – ASTM C 128.

- **Preparación de la muestra de ensayo:** Se lava una muestra representativa de la fracción fina, empleando el tamiz #200 (0,075 mm) con la finalidad de eliminar partículas de polvo, limos, arcillas o partículas orgánicas. Esto se lo realiza pues se ha encontrado que la densidad relativa determinada en áridos finos, en los cuales se ha eliminado antes del ensayo el material más fino que 0.075 mm, revela con mayor precisión la densidad relativa de dicho material.

Una vez lavada la muestra, esta se sumerge durante 24 horas. Es importante tener en cuenta que partículas las livianas al entrar en contacto con el agua flotarán y no llegarán a saturarse completamente. Por esto, con la ayuda de una malla ubicada sobre el recipiente que contiene la muestra, se evitará que floten las partículas logrando que queden totalmente sumergidas.

- **Condición S.S.S.**
- De la muestra saturada tomar una cantidad superior a 500 gramos, eliminando en lo posible el exceso de agua.

- Colocar la muestra en una bandeja esparciéndola sobre toda la superficie para lograr un secado uniforme e introducirla al horno para acelerar el secado, o searla a temperatura ambiente.
- Para constatar que se ha alcanzado la condición de superficie saturada seca (S.S.S), se coloca la muestra de forma suelta en el molde de cono truncado, compactándola de forma que, al finalizar el llenado del molde, se hayan dado 25 golpes ligeros del compactador. Este debe caer desde aproximadamente 5 mm sobre la superficie del árido.
- Enrasar el molde y limpiar el material que ha caído en la periferia de este. Se verifica que se ha alcanzado la condición S.S.S, cuando al retirar el molde verticalmente la arena se desmorona ligeramente.
- Si la humedad superficial aún está presente, el árido conservara la forma intacta del molde y por lo tanto requiere un mayor tiempo de secado. Si por el contrario el tiempo de secado ha sido excesivo se debe repetir el ensayo.

FOTOGRAFÍA 20. CONDICIÓN S.S.S EN LA FRACCIÓN FINA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Valores a determinar por el procedimiento gravimétrico:

- Registrar el peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca de aforo.
- Pesar X gramos del árido en condición S.S.S.
- Introducir en el picnómetro los X gramos de árido en condición S.S.S y se agrega agua hasta aproximadamente el 90% de la capacidad.

- Agitar el picnómetro conectándolo a una bomba de vacíos con la finalidad de extraer el aire atrapado.

FOTOGRAFÍA 21. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA FRACCIÓN FINA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Llenar la capacidad restante del picnómetro con agua, evitando en lo posible introducir aire.
- Pesar el picnómetro con la muestra de árido y agua.
- Verter cuidadosamente el contenido del picnómetro en un recipiente previamente pesado, evitando la pérdida de material; introducir en un horno de secado durante 24 horas.
- Encontrar el peso seco del árido.
- Realizar los cálculos empleando las expresiones mostradas a continuación.

$$\text{Gravedad Específica: } \frac{A}{B + X - C}$$

$$\text{Densidad Relativa (S.S.S): } \frac{X}{B + S - C}$$

$$\text{Gravedad Específica Aparante: } \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción, \%: } \frac{X - A}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso del Material Seco, en gramos.

B: Peso del Picnómetro con agua, en gramos.

C: Peso del picnómetro con agua y muestra, en gramos.

X: Peso de la muestra en condición SSS tomado aire, en gramos.

3.1.2.2 Densidad aparente en la fracción fina.

Se detalla el método para obtener la densidad aparente conforme a las normativas NTE INEN 858 – ASTM C 29-09.

Procedimiento:

- Secar material suficiente en el horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Determinar el tamaño máximo nominal de árido para poder elegir la capacidad nominal del molde, en este caso específico se define al material fino como todo lo que ha pasado el tamiz #4, por lo tanto, se empleará el molde de 2.8 litros.

FOTOGRAFÍA 22. DENSIDAD APARENTE DE LA FRACCIÓN FINA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 11. TAMAÑO DEL MOLDE PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad nominal del molde (litros)
12,50	2,80
25,00	9,30
37,50	14,00
75,00	28,00
100,00	70,00
125,00	100,00

FUENTE: NTE INEN 858

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Determinar el volumen del molde cilíndrico metálico.
- Determinar el peso del molde vacío.
- Para determinar la densidad suelta se coloca el agregado de forma suelta hasta llenar el molde, después se enrasa y se pesa.
- Para determinar la densidad compactada se debe colocar el agregado en tres capas, cada una se compacta con 25 golpes empleando una varilla de punta semiesférica de 16 mm de diámetro. Al completar la tercera capa se enrasa y pesa.
- Realizar los cálculos empleando las expresiones mostradas a continuación.

$$\delta_{APARENTE} = \frac{W1 - W2}{V}$$

Donde:

$\delta_{APARENTE}$: Densidad aparente suelta o compactada, en gr/cm³.

W1: Peso del recipiente, en gramos.

W2: Peso del recipiente con material suelto o compactado, en gramos.

V: Volumen del molde, en centímetros cúbicos.

3.1.2.3 Granulometría

Se detalla el método para determinar la gradación de las partículas conforme a las normativas NTE INEN 696 – ASTM C 136.

Procedimiento:

- Secar en el horno una muestra representativa a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas o hasta que la masa se mantenga constante.
- Cuartear la muestra y tomar una cantidad representativa de esta, se debe tener en cuenta la masa mínima de la muestra a ensayar.

TABLA 12. MASA MÍNIMA DE MUESTRA A ENSAYAR

Densidad aparente suelta del agregado	Masa de la muestra
kg/m³	gr
80-240	50
240-400	100
400-560	150
560-720	200
720-880	250
880-1040	300
1040-1120	350

FUENTE: ASTM C 330

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Ordenar los tamices de la serie de módulo de finura de Duff Abrams en forma descendente, es decir No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y bandeja.
- Verter el árido en los tamices ordenados y colocar la serie en la tamizadora.
- El tiempo de tamizado es el necesario para que no más del 1% en masa de material retenido en cualquier tamiz individual, pase el mismo durante 1 minuto de tamizado manual continuo.

FOTOGRAFÍA 23. TAMIZADORA PARA FRACCIÓN FINA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Pesar el contenido retenido en cada tamiz.
- El módulo de finura se calcula empleando la expresión mostrada a continuación:

$$M_F: \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados en los tamices de la serie de Módulo de finura}}{100}$$

3.1.2.4 Contenido Orgánico

Se detalla el método para determinar si la fracción fina contiene partículas orgánicas en cantidades inapropiadas conforme a las normativas NTE INEN 855 - ASTM C 40.

La presencia inapropiada de impurezas orgánicas puede disminuir la resistencia y durabilidad del hormigón, interfiriendo en las reacciones químicas de hidratación del cemento postergando su fraguado.

Procedimiento:

- Preparar la solución de hidróxido de sodio al 3% de concentración, por lo tanto, en 97 partes de agua en masa disolver 3 partes de hidróxido de sodio.
- Colocar la fracción fina en un frasco de vidrio graduado hasta los 130 ml.
- Adicionar en el recipiente la solución de hidróxido de sodio hasta completar un volumen total de 200 ml.

- Tapar y agitar el recipiente con la finalidad de que todo el material tenga contacto con la solución y dejarlo reposar durante 24 horas.
- Comparar el color del líquido con la placa de Gardner y asignar una numeración.

FOTOGRAFÍA 24. PLACA DE GARDNER – COMPARADOR DE COLOR



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

TABLA 13. ESCALA DE GADNER

Color normalizado escala Gardner No.	Orden en la placa del comparador	Observación
5	1	Uso permitido
8	2	
11	3	Normalizado de referencia
14	4	Uso no permitido
16	5	

FUENTE: NTE INEN 855

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Los tres valores iniciales indican valores aceptables para poder emplear el árido fino en la mezcla de hormigón.

3.1.3 Ensayos en la fracción Gruesa

A continuación, se precisa las pruebas requeridas y los respectivos procedimientos a ejecutar para determinar las propiedades en el agregado grueso.

3.1.3.1 Peso específico en la fracción gruesa

Se detalla el método para obtener la gravedad específica conforme con las normativas NTE INEN 857 – ASTM C 127 y ACI 211.2-98.

- **Preparación de la muestra de ensayo:**

Lavar una muestra representativa de esta fracción para eliminar el posible material fino adherido. Sumergir la muestra lavada durante 24 horas. Es importante tener en cuenta que las partículas livianas al entrar en contacto con el agua flotarán y no llegarán a saturarse completamente. Por esto, con la ayuda de una malla ubicada sobre el recipiente que contiene la muestra, se evitará que floten las partículas logrando que queden totalmente sumergidas.

Procedimiento:

- De la Muestra saturada tomar la cantidad necesaria de agregado y llevarlo a condición S.S.S al secar su superficie por medio de una toalla, con la finalidad de eliminar el brillo que genera el exceso de agua.

TABLA 14. MASA MÍNIMA DE ENSAYO

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima para ejecutar el ensayo (kg)
12,5	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8

FUENTE: NTE INEN 857

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Pesar la muestra de agregado grueso en condición S.S.S en aire.
- Pesar la canasta y su respectiva tapa sumergidas en agua de acuerdo a como lo especifica el apéndice A, del ACI 211.2-98 para determinar la gravedad específica de agregados livianos.⁹

⁹ La tapa evita que el agregado ligero salga de la canasta debido a que por su densidad tiende a flotar. El ensayo con tapa no es necesario en agregado grueso de peso normal, (ACI 211.2, 1998).

- Colocar en la canasta el agregado, tapanla y registrar el peso con la muestra sumergida.

FOTOGRAFÍA 25. AGREGADO GRUESO EN CONDICIÓN S.S.S.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

FOTOGRAFÍA 26. AGREGADO GRUESO EN CONDICIÓN S.S.S COLOCADO EN LA CANASTA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Colocar cuidadosamente la muestra en recipiente y dejar secar en un horno de temperatura constante por 24 horas, una vez transcurrido este tiempo registrar el peso seco de la muestra.

El cálculo del peso específico se obtiene al aplicar las siguientes expresiones:

$$\text{Gravedad Específica: } \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Densidad Relativa (S.S.S): } \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Gravedad Específica Aparante: } \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Absorción, \%: } \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso del Material Seco, en gramos.

B: Peso del material en superficie saturada seca en aire, en gramos.

C: Peso del material sumergido, en gramos.

3.1.3.2 Densidad aparente en la fracción gruesa

Se detalla el método para obtener densidades relativas de la fracción gruesa conforme las normativas NTE INEN 858 – ASTM C 29.

Procedimiento:

- Determinar el volumen interno del molde a emplear, según el tamaño máximo nominal del árido.

TABLA 15. CAPACIDAD DEL MOLDE

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad nominal del molde (litros)
12,50	2,80
25,00	9,30
37,50	14,00
75,00	28,00
100,00	70,00
125,00	100,00

FUENTE: NTE INEN 858

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Pesar el molde vacío.
- Llenar el molde con el agregado de forma suelta, enrasar y pesar.

- Para determinar la densidad compactada, se debe llenar el cilindro en tres capas, en cada capa se debe dar 25 golpes con la varilla de compactación, enrasar y pesar.

El cálculo de la densidad aparente se obtiene al aplicar la siguiente expresión:

$$\delta_{APARENTE} = \frac{W1 - W2}{V}$$

Donde:

$\delta_{APARENTE}$: Densidad aparente suelta o compactada, en gr/cm³.

W1: Peso del recipiente, en gramos.

W2: Peso del recipiente con material suelto o compactado, en gramos.

V: Volumen del molde, en centímetros cúbicos.

3.1.3.3 Granulometría

Se la determina al separar una muestra de agregado en fracciones de partículas de similar tamaño. Es útil realizar un análisis granulométrico con la finalidad de conocer la uniformidad de la muestra y los tamaños de las partículas que la conforman.

Se detalla el método para obtener la granulometría conforme con las normativas NTE INEN 696 – ASTM C 136.

Procedimiento.

- Escoger el tamaño máximo nominal para determinar los tamices que se emplearan de acuerdo a la siguiente tabla.

TABLA 16. GRADACIÓN PARA AGREGADOS DE PESO LIGERO

Tamaño Nominal (mm)	Porcentaje pasante en masa									
	25.0 (mm)	19.0 (mm)	15.2 (mm)	9.5 (mm)	4.75 (mm)	2.36 (mm)	1.18 (mm)	300 (µm)	150 (µm)	75 (µm)
	(1 in)	(3/4 in)	(1/2 in)	(3/8in)	(No. 4)	(No. 8)	(No. 16)	(No. 50)	(No. 100)	(No. 200)
Agregado Fino										
4.75-0	---	---	---	100	85-100	---	40-80	10-35	5-25	---
Agregado grueso										
25-4.75	95-100	---	25-60	---	0-10	---	---	---	---	0-10
19-4.75	100	90-100	---	10-50	0-15	---	---	---	---	0-10
12.5-4.75	---	100	90-100	40-80	0-20	0-10	---	---	---	0-10
9.5-2.36	---	---	100	80-100	5-40	0-20	0-10	---	---	0-10
Agregado grueso y fino combinado										
12.5-0	---	100	95-100	---	50-80	---	---	5-20	2-15	0-10
9.5-0	---	---	100	90-100	65-90	35-65	---	10-25	5-15	0-10

FUENTE: ASTM C 330

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Colocar las mallas en la tamizadora, de forma que queden ordenados de mayor a menor abertura.
- A diferencia del agregado de peso normal en el cual existe una solicitud en peso para realizar el análisis granulométrico en función del tamaño nominal máximo del agregado, en la normativa ASTM C 330, se establece que, para agregados gruesos ligeros, se debe emplear como muestra de ensayo 2830 cm³ o una cantidad superior a la empleada para determinar la densidad aparente.

FOTOGRAFÍA 27. FRACCIÓN GRUESA

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- El tamizado se lo debe realizar por un periodo de 5 minutos.

- Retirar el material de los tamices y registrar el peso por tamiz.

FOTOGRAFÍA 28. TAMIZADORA PARA AGREGADO GRUESO



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- El módulo de finura se calcula en base a los porcentajes de peso retenidos acumulados en los tamices pertenecientes a la serie gruesa de módulo de finura, es decir 3", 1 1/2", 3/4 ", 3/8", No.4.

$$M_F: \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados en los tamices de la serie de Módulo de finura}}{100}$$

3.1.3.4 Abrasión

El ensayo de abrasión se desarrolla sobre áridos gruesos, que pretenden ser empleados en la fabricación de hormigón.

El principio de este ensayo es producir desgaste en la superficie de las partículas de árido, al aplicar una carga abrasiva mediante esferas de acero, y someter a rotación al emplear la máquina de los ángeles, (Luna, 2014).

Se detalla el método para obtener la abrasión de partículas inferiores a 37.5 mm conforme con las normativas NTE INEN 860 – ASTM C 131.

Procedimiento.

- Elegir la gradación a emplearse de acuerdo a la granulometría del árido conforme a la siguiente tabla.

TABLA 17. GRADACIONES

Tamices (mm)		Masa (gr)			
Pasante	Retenido	Gradación			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250±25	---		
1	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	No. 4			2500±10	
No. 4	No. 8				5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

FUENTE: NTE INEN 860

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Seleccionar la carga abrasiva de acuerdo a la gradación.

TABLA 18. CARGA ABRASIVA

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

FUENTE: NTE INEN 860

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Colocar la muestra y la carga abrasiva en la máquina de los ángeles y hacerla rotar a una velocidad de 33 revoluciones por minuto.

FOTOGRAFÍA 29. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

- Al completar las 100 primeras revoluciones sacar el material de la máquina y luego pasarla por el tamiz No.12 (1 mm), pesar el material retenido.
- Colocar tanto el material retenido como el pasante en la máquina de los ángeles con la carga abrasiva y hacerla rotar 400 revoluciones, para completar las 500 revoluciones que establece el ensayo.
- Pesar el material retenido en el tamiz No. 12.
- Calcular el coeficiente de uniformidad y el porcentaje de abrasión con las siguientes expresiones:

$$V = \frac{A - B}{0.01 * A}$$

Donde:

V: Abrasión, en porcentaje.

A: Peso inicial de la muestra, en gramos.

B: Peso retenido en el tamiz No.12.

C.U: coeficiente de uniformidad, adimensional.

$$C.U = \frac{\text{Porcentaje de pérdida luego de 100 revoluciones}}{\text{Porcentaje de pérdida luego de 500 revoluciones}}$$

3.1.4 Resumen de propiedades determinadas en los ensayos sobre la fracción fina y gruesa, a partir de materiales obtenidos de 6 fuentes distintas.

Primero, para verificar si el material varía en sus propiedades, se consiguió material de 6 sitios diferentes: Muestra 1: Lasso, Muestra 2: San Felipe-Latacunga, Muestra 3: La Victoria-Pujilí, Muestra 4: Salcedo, Muestra 5: La laguna-Latacunga, Muestra 6: Tanicuchí.

Luego, se obtuvieron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados muestreados, tal como se menciona en los procedimientos descritos anteriormente. Para esto debió separarse la fracción fina y gruesa de los tres materiales tradicionales, usando la proporción 1:0.75:0.5 (Polvo: Ch. Fino: Ch. Grueso)¹⁰, que es usada en la bloquera escogida para realizar la fase experimental del trabajo.

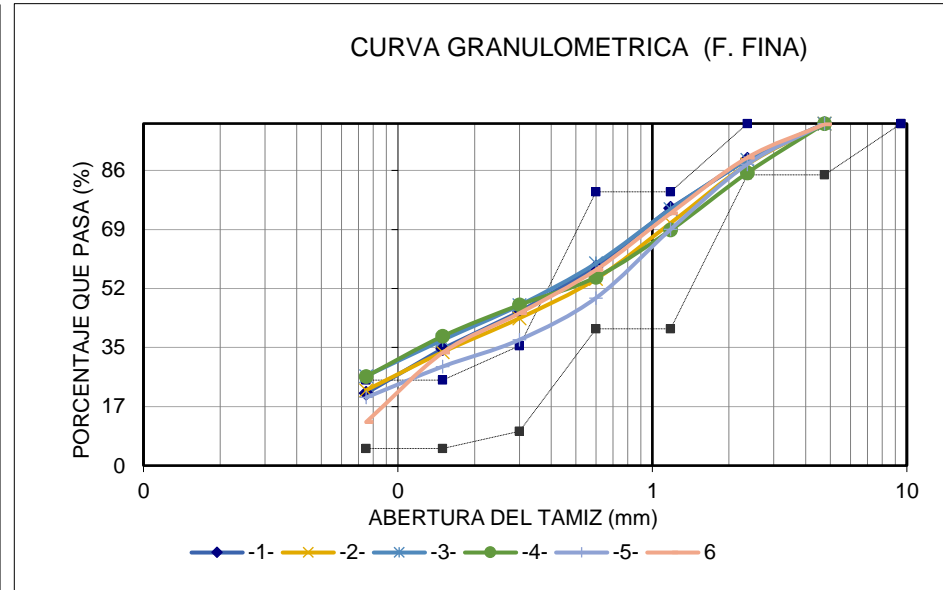
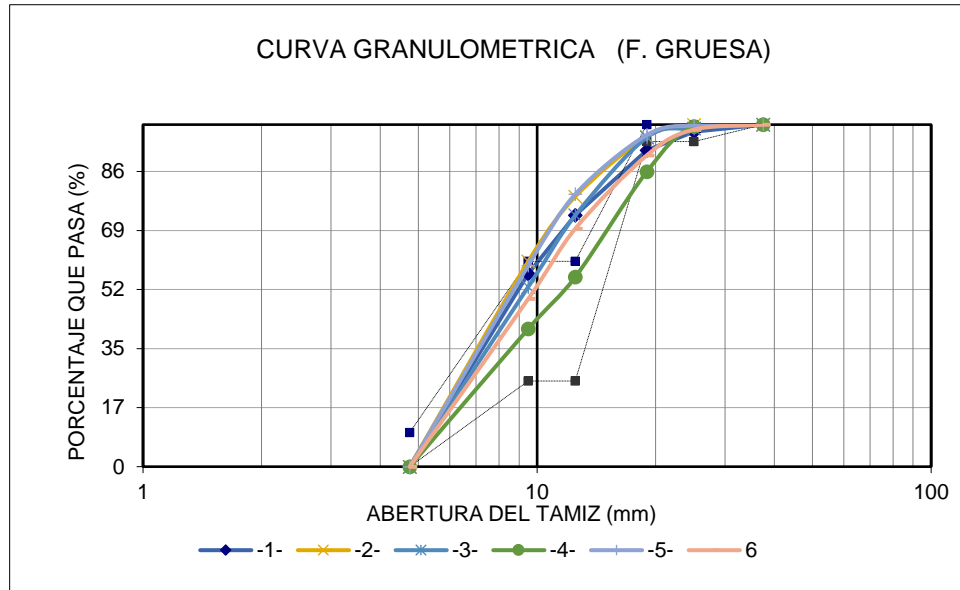
La tabla siguiente muestra un resumen de los resultados en los ensayos realizados sobre las 6 muestras. Los respectivos informes de laboratorio corresponden a los anexos 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Es claro que las propiedades varían en un rango muy pequeño, lo cual concluye que el material es bastante homogéneo independientemente de donde se lo obtenga.

¹⁰ En adelante se empleará la abreviatura Ch. para identificar la palabra Chasqui. Las proporciones mostradas están referidas al Polvo.

TABLA 19. RESUMEN DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE 6 FUENTES DISTINTAS.

Muestra	Módulo de finura del fino	Módulo de finura del grueso	Densidad aparente suelta del fino	Densidad aparente compactada del fino	Densidad aparente suelta del grueso	Densidad aparente compactada del grueso	Porcentaje de pérdida 500 rev:	Coefficiente de uniformidad	Peso específico del fino	Peso específico del grueso	Peso específico aparente del fino	Peso específico aparente del grueso	Absorción de agua del fino	Absorción de agua del grueso	Densidad S.S.S del fino	Densidad S.S.S del grueso
	---	---	g/cm3	g/cm3	g/cm3	g/cm3	%	---	g/cm3	g/cm3	g/cm3	g/cm3	%	%	g/cm3	g/cm3
1	1.98	6.51	1.05	1.15	0.40	0.43	44.72	0.36	1.46	0.74	2.36	1.17	26.02	50.56	1.84	1.11
2	2.10	6.44	1.07	1.19	0.47	0.51	38.03	0.38	1.71	0.84	2.29	1.25	14.91	39.45	1.96	1.17
3	1.93	6.51	1.15	1.29	0.48	0.52	41.36	0.26	1.53	0.82	2.29	1.22	21.62	39.63	1.86	1.15
4	2.06	6.73	0.97	1.09	0.38	0.42	44.48	0.37	1.52	0.71	2.14	1.13	18.83	52.94	1.81	1.08
5	2.28	6.44	1.12	1.22	0.41	0.44	41.61	0.32	1.54	0.80	2.28	1.26	21.30	45.59	1.86	1.16
6	2.01	6.60	1.13	1.24	0.47	0.51	31.11	0.30	1.37	0.88	2.32	1.32	30.07	37.66	1.78	1.22



Nota: Los límites granulométricos se tomaron según lo establecido en la tabla 1 de la normativa ASTM C 330.

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

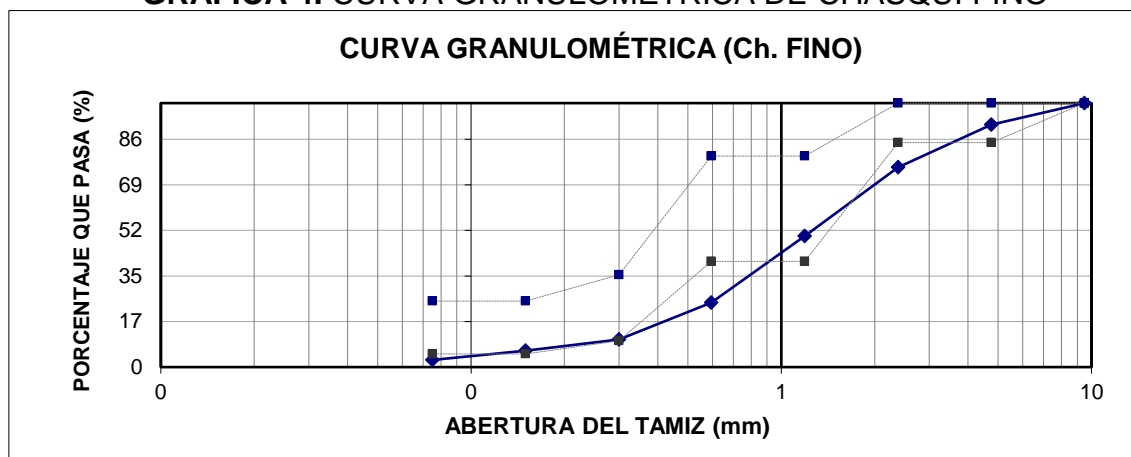
Una vez demostrado que el material es homogéneo, se empleó los tres materiales base (Chasqui fino, Chasqui Grueso y Polvo) de la fuente 6 para tener disponibilidad de agregado durante toda la fase experimental. El informe de laboratorio se adjunta como anexo 8.

TABLA 20. PROPIEDADES DEL MATERIAL BASE PARA TODA LA FASE DE EXPERIMENTACIÓN

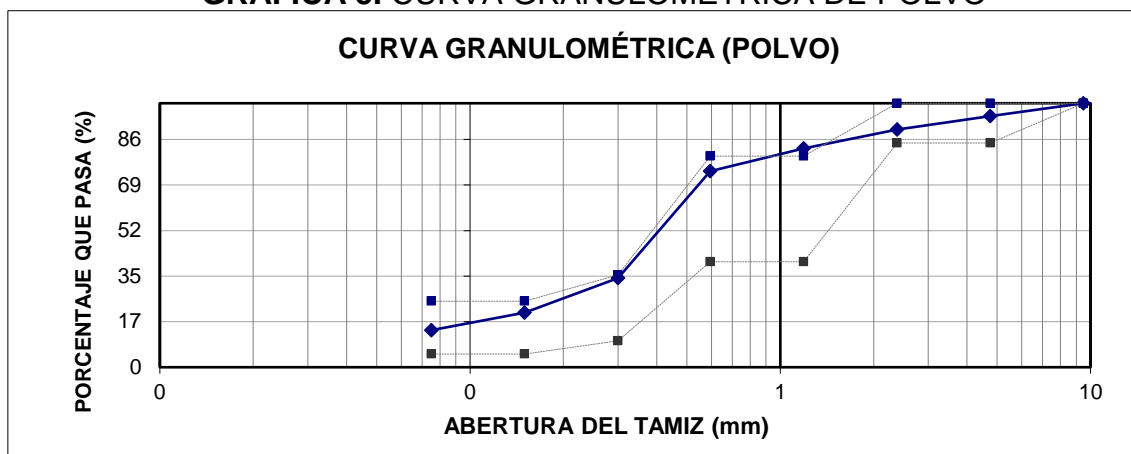
Agregado	Módulo de finura	Densidad aparente suelta	Densidad aparente compactada	Porcentaje de pérdida 500 rev:	Coefficiente de uniformidad	Peso específico	Peso específico aparente	Absorción de agua	Densidad S.S.S
	---	g/cm ³	g/cm ³	%	---	g/cm ³	g/cm ³	%	g/cm ³
Polvo	2.03	0.83	0.95	---	---	1.51	2.27	22.26	1.84
Chasqui fino	3.42	0.92	0.99	---	---	1.88	2.40	11.51	2.10
Chasqui grueso	6.32	0.50	0.54	51.39	0.35	0.78	1.46	59.29	1.25

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

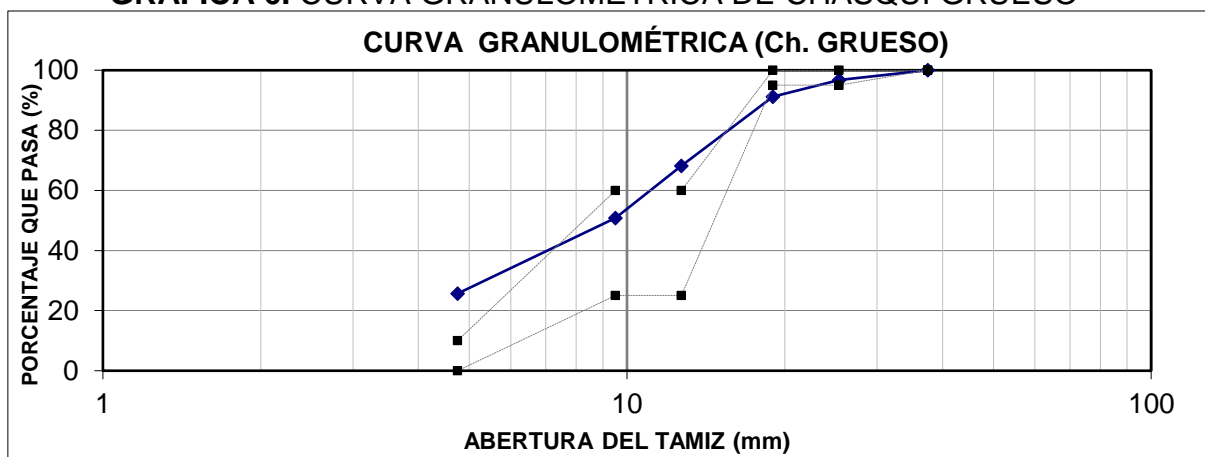
GRÁFICA 4. CURVA GRANULOMÉTRICA DE CHASQUI FINO



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

GRÁFICA 5. CURVA GRANULOMÉTRICA DE POLVO

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

GRÁFICA 6. CURVA GRANULOMÉTRICA DE CHASQUI GRUESO

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Nota: Los límites granulométricos se tomaron según lo establecido en la tabla 1 de la normativa ASTM C 330.

3.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL BLOQUE ARTESANAL DE HORMIGÓN EVALUADAS CON LA NORMATIVA INEN 3066

A continuación, se evaluaron los mampuestos que fabrica artesanalmente la bloquera, según los ensayos que describe la INEN 3066. Estos bloques tienen la dosificación detallada en el apartado 2.3.1. Los materiales corresponden a las propiedades detalladas anteriormente.

3.2.1 Descripción de ensayos sobre bloques huecos de hormigón de acuerdo a la norma INEN 3066.

Para los ensayos descritos a continuación se requirieron tres unidades enteras.

3.2.1.1 Preparación de las muestras y toma de datos.

Saturación: Sumergir en agua las unidades enteras durante al menos 3 días, a una temperatura comprendida entre 16 y 27 °C.

FOTOGRAFÍA 30. BLOQUES SUMERGIDOS EN TANQUE PARA LUEGO SER USADOS EN ENSAYO DE ABSORCIÓN.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Masa sumergida: Dentro de un tanque y con la ayuda de un alambre, determinar la masa sumergida de la unidad y registrar el peso como *M_i*.

FOTOGRAFÍA 31. BLOQUE SUSPENDIDO EN AGUA PARA OBTENER LA MASA SUMERGIDA.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Retirar las unidades, dejarlas escurrir por 1 minuto y eliminar la humedad visible con la ayuda de un paño. Determinar su masa y conservar este valor. Repetir este procedimiento cada 24 horas hasta obtener una variación de la masa inferior al 0.2%. Registrar el ultimo valor como M_s .

Secado: Una vez determinada la masa saturada, secar las unidades en horno ventilado a temperatura constante entre 100 y 115 °C. Pesarse las unidades cada 24 horas hasta obtener una diferencia en la masa menor a 0.2%, registrar el valor final que corresponde a la masa de la muestra seca al horno, M_d .

3.2.1.2 Absorción.

Expresión de cálculo.

$$Abs \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} * 1000$$

$$Abs (\%) = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100$$

Donde:

M_s : Masa Saturada, Kg.

M_i : Masa sumergida, Kg.

M_d : Masa seca al horno, Kg.

3.2.1.3 Contenido de humedad.

Expresión de cálculo:

$$w (\%) = \frac{M_r - M_d}{M_s - M_d} * 100$$

Donde:

M_r : Masa de la unidad tal como se recibe, Kg.

M_s : Masa saturada, Kg.

M_d : Masa seca al horno, Kg.

3.2.1.4 Densidad.

La densidad calculada a continuación se refiere a la densidad seca al horno.

Expresión de cálculo.

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \frac{M_d}{M_s - M_i} * 1000$$

Donde:

M_i: Masa sumergida, Kg.

M_s: Masa saturada, Kg.

M_d: Masa seca al horno, Kg.

3.2.1.5 Área neta promedio.

Expresión de cálculo.

$$Vn \text{ (mm}^3\text{)} = \frac{M_d}{D} = (M_s - M_i) * 10^6$$

$$An \text{ (mm}^2\text{)} = \frac{Vn}{h}$$

Donde:

Vn: Volumen neto, mm³.

An: Área neta promedio, mm².

D: Densidad seca al horno, kg/m³.

h: Altura promedio de la unidad, mm.

M_i: Masa sumergida, Kg.

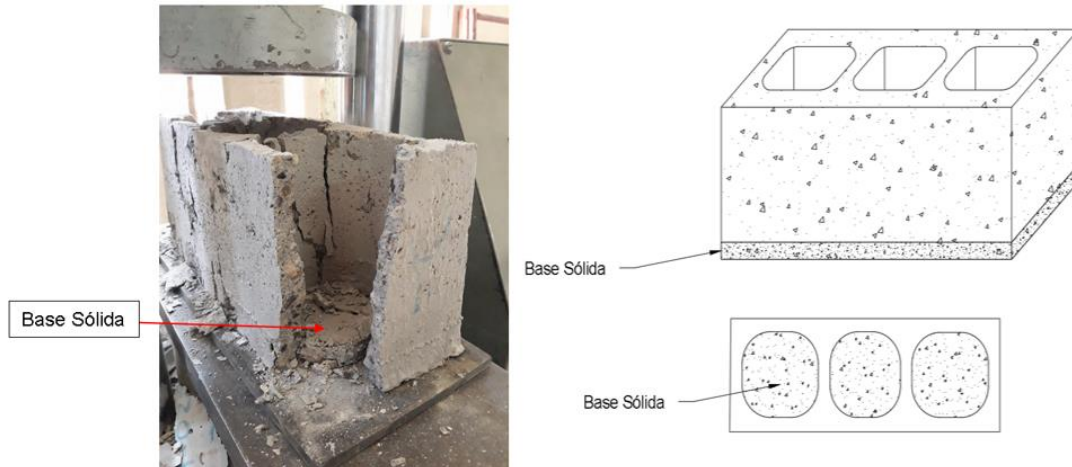
M_s: Masa saturada, Kg.

M_d: Masa seca al horno, Kg.

El valor de área neta calculada con esta expresión, arroja un valor mayor al área neta medida sobre la cara que efectivamente soporta la carga durante el ensayo. Esta diferencia es mayor cuando el bloque es más pesado, pues el peso seco de

la fórmula está relacionado directamente con su volumen neto. En conclusión, al calcular el área neta como recomienda la norma, a medida que se obtenga un bloque más pesado, se estaría subestimando su verdadera capacidad de resistir esfuerzos de compresión. Además, en el cálculo se toma en cuenta parte sólida perteneciente a la base que no aporta para resistir cargas, pero si aporta peso.

FOTOGRAFÍA 32. BASE SÓLIDA DEL BLOQUE.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Por todo lo anteriormente mencionado, en este trabajo se calculó el área neta como el área medida sobre la superficie que soporta la carga y esta es similar para cualquier tipo de bloque independientemente de su peso. Con esto se elimina una variable en el análisis de los resultados obtenidos en el ensayo a compresión.

Debido a que los huecos no son totalmente rectangulares y los tabiques se unen a las paredes ensanchándose, el área se obtuvo midiendo con bastante precisión estas esquinas curvas, además del promedio de varias mediciones realizadas en los tabiques y paredes.

FOTOGRAFÍA 33. MEDIDA DE LAS ESQUINAS CURVAS QUE UNEN LOS TABIQUES A LAS PAREDES DEL BLOQUE.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

3.2.1.6 Determinación de la resistencia a compresión simple.

➤ **Tamaño de la unidad.**

Las unidades deben ensayarse enteras en caso de que no se presenten las siguientes condiciones:

- **N° 1:** Extensiones no compatibles que tengan un largo mucho mayor que su espesor.

FOTOGRAFÍA 34. IRREGULARIDAD ELIMINADA DEL BLOQUE PARA REALIZAR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.

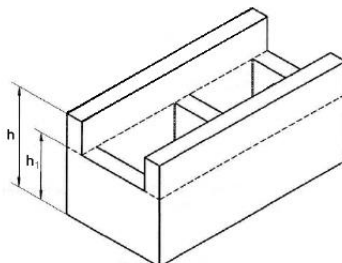


ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Con la finalidad de obtener una superficie de soporte total y homogénea, sobre la sección transversal neta de la unidad, las caras de extensión deben eliminarse por aserrado. Si por dicho aserrado la altura final de la unidad se ha reducido en más

de un tercio de la altura original, debe ensayarse solamente una fracción de acuerdo a la condición N°2.

IMAGEN 11. IRREGULARIDAD EN BLOQUE QUE DEBE SER CORREGIDA PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- **N°2:** Unidades de ensayo demasiado grandes.

Cuando las unidades enteras a ensayar son demasiado grandes para las placas de carga, o se encuentra fuera de la capacidad de carga de la maquinaria; se debe cortar las unidades enteras hasta un tamaño adecuado que se adapte a la máquina de ensayo, de forma que las unidades cortadas no tengan extensiones de cara ni tabiques irregulares, conformadas ya sea por una o varias celdas. Se debe tener en cuenta que la resistencia a la compresión de la unidad cortada es la misma de la unidad entera.

➤ **Posición de la unidad.**

Se debe ensayar las unidades de tal manera que el centroide de su superficie de carga este alineado verticalmente con el centro de aplicación del elemento de acero de soporte esférico en la máquina de ensayo. Todas las unidades deben ser ensayadas con sus celdas en posición vertical.

FOTOGRAFÍA 35. POSICIÓN DEL BLOQUE PARA REALIZAR ENSAYO DE COMPRESIÓN.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

➤ **Humedad de la muestra.**

Al momento del ensayo las unidades no deben presentar humedad visible.

➤ **Velocidad de ensayo.**

Aplicar la carga a cualquier velocidad conveniente, hasta la mitad de la carga máxima esperada. A continuación, proporcionar una velocidad uniforme de desplazamiento del cabezal móvil, de manera que la carga restante se aplique en un intervalo de 1 a 2 minutos.

➤ **Cálculos.**

$$\text{Resistencia a compresión del área bruta (Mpa)} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_g}$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$: carga máxima a compresión, N.

A_g : Área bruta de la unidad, mm².

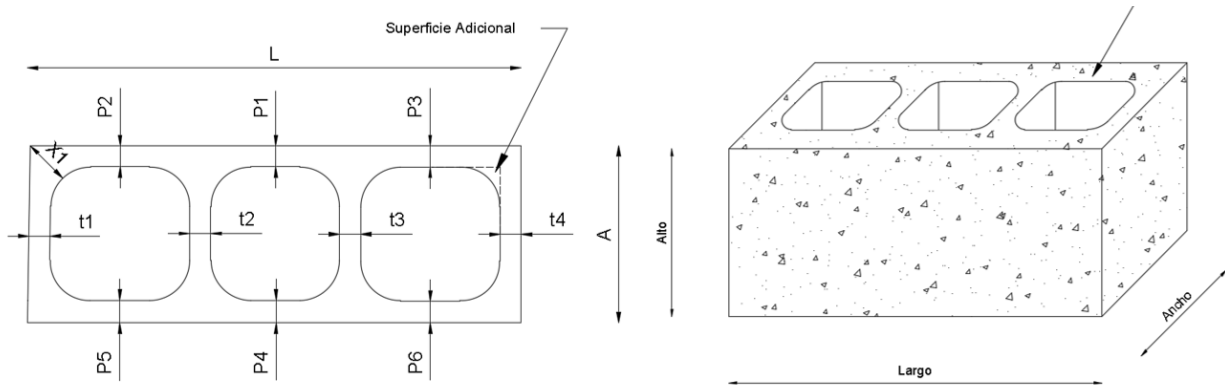
$$\text{Resistencia a compresión del área neta (Mpa)} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_n}$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$: carga máxima a compresión, N.

A_n : Área neta de la unidad, mm².

IMAGEN 12. MEDIDAS DEL BLOQUE

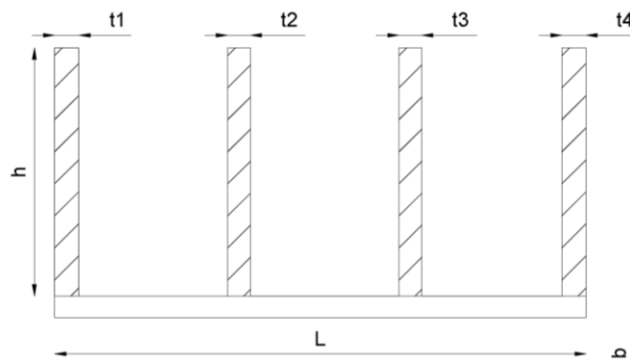


ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

3.2.1.7 Determinación del área normalizada de tabiques.

El área sombreada de la siguiente figura es un corte transversal vertical sobre los cuatro tabiques en la parte media la unidad. Sin contar el área de la base en cada tabique, este representa el área normalizada de tabiques.

IMAGEN 13. ÁREA NORMALIZADA DE TABIQUES



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Cálculo de área mínima de tabiques de acuerdo a la expresión:

$$A_{tn} = \frac{Att}{h * l} * 10^6$$

Donde:

A_{tn}: área de tabiques normalizada, mm²/m².

A_{tt}: área total mínima de tabiques, mm².

L: Longitud del espécimen, mm.

h: Alto del espécimen sin contar la base, mm.

3.2.2 Resumen de resultados obtenidos del bloque artesanal.

TABLA 21. RESULTADOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES FABRICADOS DE MANERA ARTESANAL POR LA BLOQUERA ESCOGIDA.

Ensayo de Compresión a los 28 días			
Dosificación	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm ²)	Promedio kg/cm ² (Mpa)
Bloquera estudiada (Cemento: 59.3 kg/m³)	N1	34.38	33.44 (3.28)
	N2	33.49	
	N3	32.46	

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 22. RESULTADOS PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN, DENSIDAD Y ÁREA NETA EN BLOQUES FABRICADOS DE MANERA ARTESANAL POR LA BLOQUERA ESCOGIDA.

Determinación de absorción, densidad y área neta				
Identificación del espécimen:	B11	B12	B13	Promedio
Absorción (kg/m³)	291.01	282.54	323.61	299.1
Absorción (%)	20.99	20.25	23.98	21.7
Densidad (kg/m³)	1386.49	1394.97	1349.34	1376.9
Área Bruta (mm²)	50444.16	50307.99	50180.89	50311
Volumen neto (mm³)	5.59E+06	5.15E+06	5.57E+06	5.44E+0.6
Área neta Promedio (mm²)	30301.65	27821.34	30701.08	29608.0

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a esta sección se presentan como los anexos 9 y 10.

Según la norma INEN 3066, este bloque no llega a la resistencia mínima de 4Mpa para poder ser usado en paredes no estructurales, lo cual lo clasifica como tipo C. Además, sobrepasa el valor máximo de absorción establecido para el promedio de tres bloques livianos (densidad < 1680 kg/m³), que es 288 kg/m³.

3.3 DOSIFICACION UTILIZANDO LA METODOLOGÍA ACI 211.2

Inicialmente se evaluaron 25 bloques obtenidos a partir de 5 diferentes proporciones de los tres agregados con un mismo factor de cemento. Una vez determinada la más óptima y con las propiedades de la fracción fina y gruesa de dicha proporción, se prosiguió a utilizar la metodología ACI 211.2 que describe los pasos para dosificar hormigones livianos según 2 procedimientos:

- a) Cuando el agregado grueso es liviano y el agregado fino tiene peso normal.
- b) Si los dos agregados o solo el agregado fino tienen peso normal.

En nuestro caso los 3 agregados son ligeros por lo que debimos usar solo la metodología B, sin embargo, optamos por probar las dos metodologías y evaluar la predicción de resistencias en los 2 métodos.

3.3.1 Optimización en la proporción de agregados para determinar las propiedades de las fracciones fina y gruesa a ser usados en la metodología ACI 211.2.

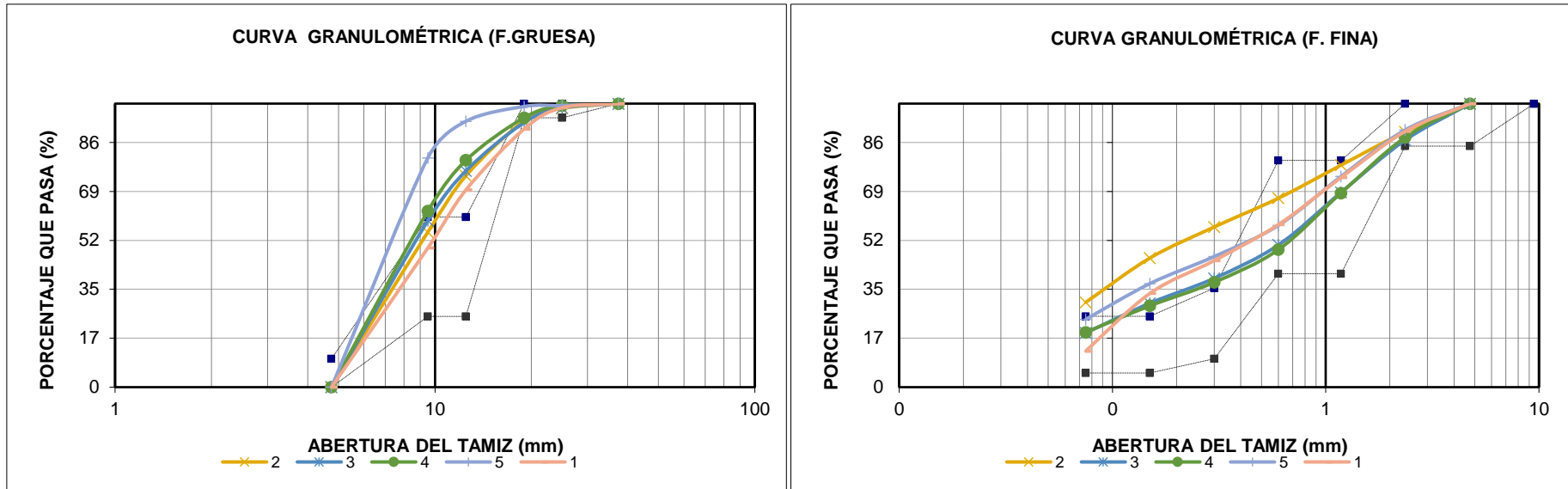
El evaluar 5 distintas proporciones, no solo permitió identificar la más óptima en términos de resistencia, sino que además pudimos evaluar cómo influye cada componente en el conjunto de agregados.

- Proporción #1, Chasqui fino:0.75, Chasqui grueso: 0.5, Polvo: 1.
- Proporción #2, Chasqui fino:0.5, Chasqui grueso: 0.5, Polvo: 1.
- Proporción #3, Chasqui fino:1, Chasqui grueso: 0.5, Polvo: 1.
- Proporción #4, Chasqui fino:1, Chasqui grueso: 1, Polvo: 1.
- Proporción #5, Chasqui fino:0.75, Chasqui grueso: 0, Polvo: 1.

Nota: los informes de laboratorio correspondientes a los resultados mostrados a continuación se adjuntan desde el anexo 11 al 15.

TABLA 23. PROPIEDADES DE LA FRACCIÓN GRUESA Y FINA DE LOS MATERIALES, EVALUADOS EN 5 PROPORCIONES DISTINTAS.

Proporción	Módulo de finura del fino	Módulo de finura del grueso	Densidad aparente suelta del fino	Densidad aparente compactada del fino	Densidad aparente suelta del grueso	Densidad aparente compactada del grueso	Porcentaje de pérdida 500 rev:	Coefficiente de uniformidad	Peso específico del fino	Peso específico del grueso	Peso específico aparente del fino	Peso específico aparente del grueso	Absorción de agua del fino	Absorción de agua del grueso	Densidad S.S.S del fino	Densidad S.S.S del grueso
	---	---	g/cm3	g/cm3	g/cm3	g/cm3	%	---	g/cm3	g/cm3	g/cm3	g/cm3	%	%	g/cm3	g/cm3
1	2.01	6.60	1.13	1.24	0.47	0.51	41.61	0.30	1.37	0.88	2.32	1.32	30.07	37.66	1.78	1.22
2	1.63	6.51	1.09	1.22	0.52	0.58	34.28	0.31	1.43	1.00	2.23	1.44	25.08	30.12	1.79	1.31
3	2.26	6.48	1.12	1.26	0.49	0.54	31.89	0.30	1.59	0.87	2.26	1.32	18.71	39.15	1.89	1.21
4	2.29	6.43	1.18	1.25	0.58	0.63	32.53	0.30	1.82	1.09	2.44	1.55	13.93	26.93	2.07	1.39
5	1.95	6.20	1.18	1.34	0.55	0.61	34.31	0.34	1.93	0.99	2.40	1.41	9.97	29.90	2.13	1.29



Nota: Los límites granulométricos se tomaron según lo establecido en la tabla 1 de la normativa ASTM C 330.

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

En la tabla anterior se observa que la proporción #3 presenta menor valor de abrasión, con densidades promedio (no es la más pesada ni la más liviana) y presenta menor absorción en la fracción fina. Además, en los ensayos de compresión esta proporción obtuvo la mayor resistencia (Ver tabla 24). El factor de cemento en todas las mezclas fue 59.3 kg por metro cúbico de agregados¹¹ y el agua total de mezcla fue alrededor de 200 litros por metro cúbico de agregado. Los agregados fueron medidos y secados en laboratorio.

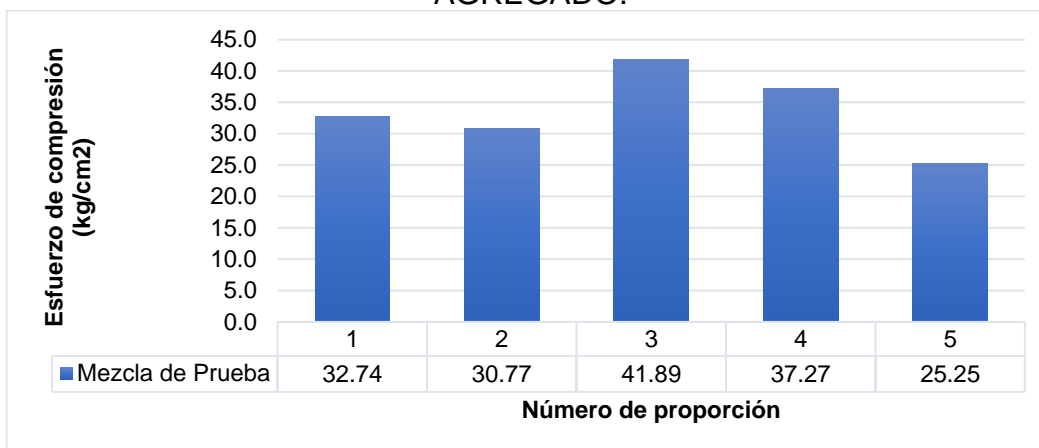
TABLA 24. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN BLOQUES OBTENIDOS CON 5 PROPORCIONES DISTINTAS

Cemento: 59.31 kg/m ³	Ensayo de Compresión a los 7 días	
Proporción: Polvo: Ch. grueso: Ch. fino.	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm ²)
Prueba para proporción #1 1:0.5:0.75	121	33.31
	122	33.77
	123	32.65
	124	32.27
	125	31.72
Prueba para proporción #2 1:0.5:0.5	21	32.76
	2c1	32.77
	2c2	32.08
	22c1	31.37
	22c2	24.85
Prueba para proporción #3 1:0.5:1	31	36.56
	32	41.92
	33	47.78
	34	40.96
	35	42.24
Prueba para proporción #4 1:1:1	41	36.89
	42	41.95
	43	34.05
	44	37.18
	45	36.28
Prueba para proporción #5 1:0:0.75	51	31.26
	52c	18.82
	53	25.66
	54	25.74
	55	24.79

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

¹¹ Este factor de cemento es el que usa la bloquera artesanal estudiada y se mantuvo constante al inicio de la fase de experimentación con el objetivo de que sea el último recurso a incrementar.

GRÁFICA 7. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN BLOQUES OBTENIDOS A PARTIR DE CINCO PROPORCIONES DIFERENTES DE AGREGADO.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

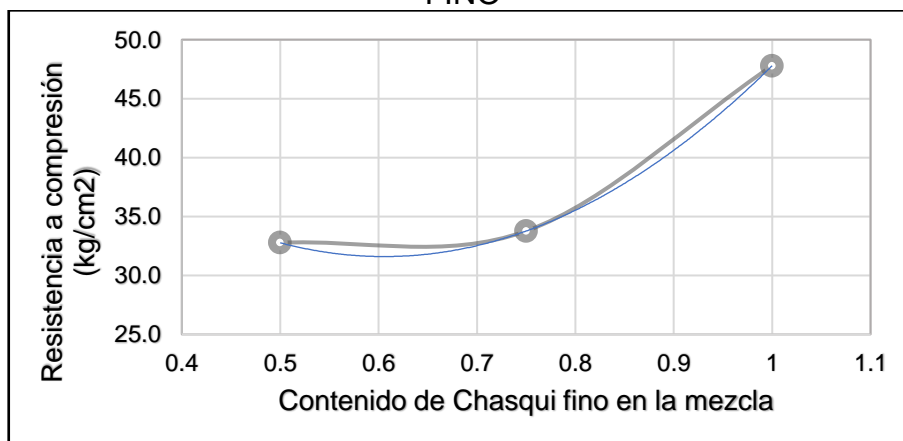
Con las pruebas #2, #1 y #3, se puede evaluar cómo varía la resistencia al aumentar el chasqui fino.

TABLA 25. ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE CHASQUI FINO EN LA MEZCLA

VARIACIÓN DE RESISTENCIA AL AUMENTAR CHASQUI FINO		
# Prueba	Contenido de Ch. Fino	Esfuerzo Neto Máximo (kg/cm ²)
3	1	47.78
1	0.75	33.77
2	0.5	32.77

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

GRÁFICA 8. VARIACIÓN DE RESISTENCIA AL INCREMENTAR EL CHASQUI FINO



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

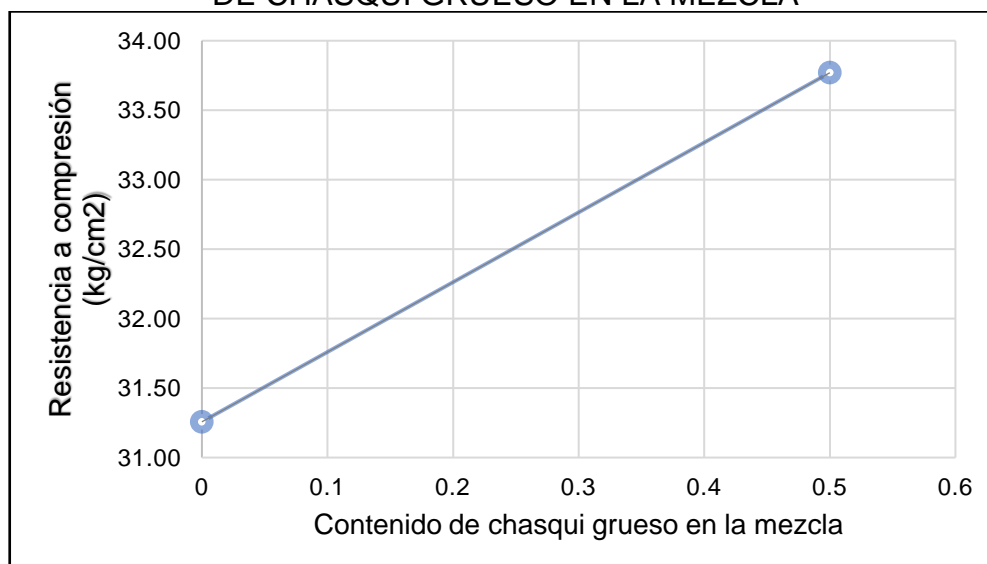
Con las pruebas #5 y #1, se puede evaluar cómo varía la resistencia con la presencia de chasqui grueso:

TABLA 26. VARIACIÓN DE RESISTENCIA CON LA PRESENCIA DE CHASQUI GRUESO.

VARIACIÓN DE RESISTENCIA CON LA PRESENCIA DE CHASQUI GRUESO		
# Prueba	Contenido de Ch. Grueso	Esfuerzo Neto Máximo (kg/cm ²)
5	0	31.26
1	0.5	33.77

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

GRÁFICA 9. VARIACIÓN DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL INCREMENTO DE CHASQUI GRUESO EN LA MEZCLA



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

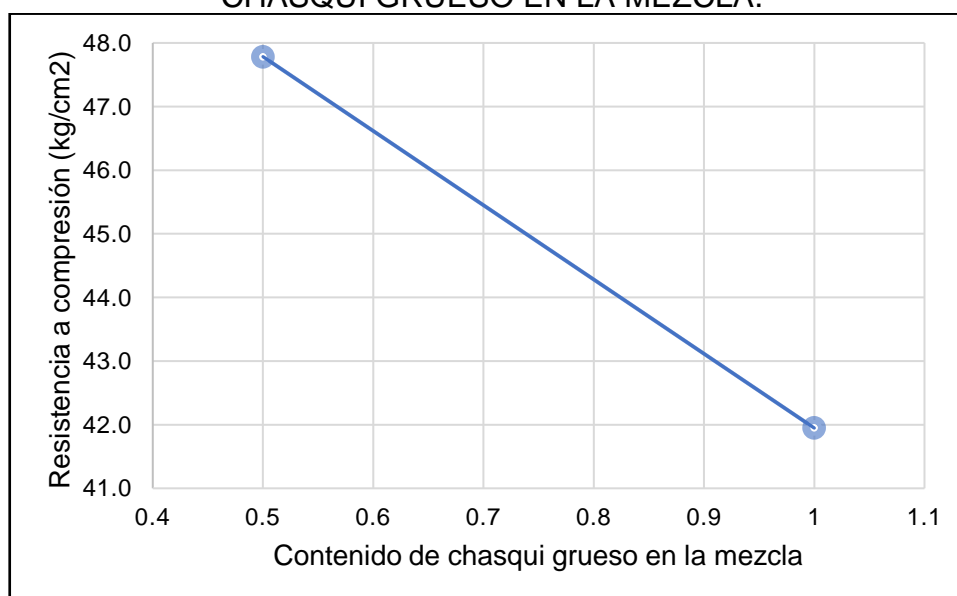
Con las pruebas #3 y #4, se puede evaluar cómo varía la resistencia al aumentar el chasqui grueso:

TABLA 27. ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DEL AUMENTO DE CHASQUI GRUESO EN LA MEZCLA.

VARIACIÓN DE RESISTENCIA AL INCREMENTAR EL CHASQUI GRUESO		
# Prueba	Contenido de Ch. Grueso	Esfuerzo Neto Máximo (kg/cm ²)
3	0.5	47.78
4	1	41.95

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

GRÁFICA 10. VARIACIÓN DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL AUMENTO DE CHASQUI GRUESO EN LA MEZCLA.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Como conclusión, hasta este punto de la experimentación, se ha determinado que:

- A mayor cantidad de chasqui fino, siempre se tiene un incremento de resistencia.
- A menor cantidad de chasqui grueso, se incrementa la resistencia, sin embargo, al eliminarlo de la mezcla la resistencia baja, por lo tanto, no se puede prescindir de este agregado.
- El polvo no influye mecánicamente, sin embargo, es el encargado de darle buena textura al mampuesto

En función de todo lo señalado anteriormente, se determina como mejor mezcla la proporción #3. Ahora, con el fin de evaluar hasta qué punto se puede seguir incrementando la resistencia al aumentar el chasqui fino, se realizaron 3 mezclas de prueba adicionales, la #6, #7 y #8.

TABLA 28. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN TRES MEZCLAS ADICIONALES PARA DETERMINAR EL MÁXIMO INCREMENTO POSIBLE DE CHASQUI FINO.

Cemento: 59.3 kg/m ³	RESISTENCIA EN BLOQUES A LOS 7 DÍAS	
Proporción; Polvo: Ch. grueso: Ch. fino.	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm²)
Prueba #6 1:0.5:1,5	1	34.73
	2	34.22
	3	32.54
	4	31.13
	5	32.18
Prueba #7 1:0.5:2	1	24.42
	2	23.84
	3	24.38
	4	24.51
	5	23.15
Prueba #8 1:0.5:2.5	1	33.74
	2	32.51
	3	31.02
	4	31.39
	5	32.51

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de las 8 pruebas de proporciones se adjuntan desde el anexo 16 al 23.

Ninguna de estas pruebas mostró un incremento en la resistencia, y además presentaron un acabado muy pobre en la superficie del mampuesto (Ver FOTOGRAFÍA 36).

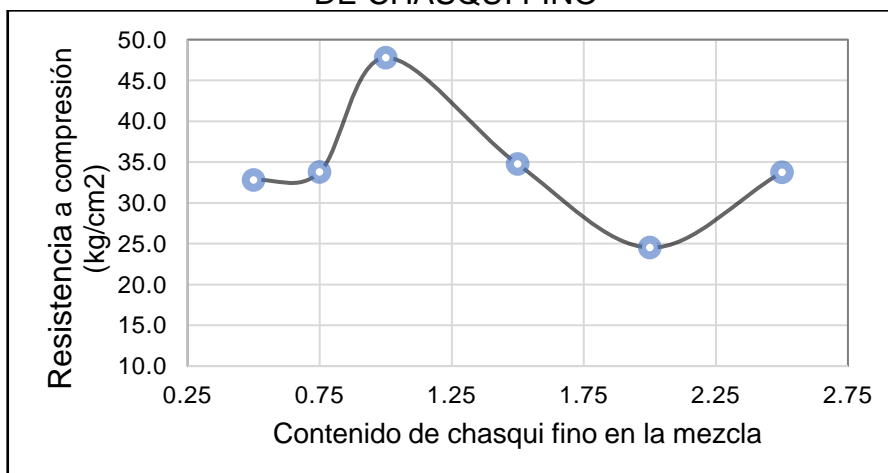
FOTOGRAFÍA 36. BLOQUES DE LA PRUEBA #7

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 29. RESUMEN DE VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CHASQUI FINO EN LA MEZCLA

INFLUENCIA DEL CHASQUI FINO EN LA RESISTENCIA		
# Prueba	Contenido de Ch. Fino	Esfuerzo Neto Máximo (kg/cm²)
2	0.50	32.77
1	0.75	33.77
3	1.00	47.78
6	1.50	34.73
7	2.00	24.51
8	2.50	33.74

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

GRÁFICA 11. VARIACIÓN DE RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CHASQUI FINO

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Con esto se define la mezcla #3 como la más óptima para proceder a aplicar la metodología ACI 211.2.¹²

3.3.2 Dosificación para hormigón estructural ligero

Este apartado describe el método sugerido por el ACI para dosificar hormigón estructural ligero con resistencias superiores a los 175 kg/cm² y con un peso volumétrico inferior a los 1800 kg/m³. Este hormigón es posible fabricarlo empleando únicamente agregados de peso ligero o al combinarlos con agregados de peso normal, (ACI 211.2, 1998).

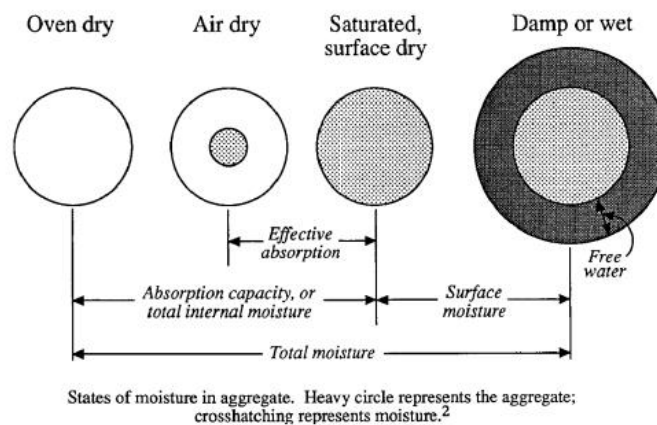
Factores a considerar al emplear agregados de peso ligero.

- A diferencia de los agregados de peso normal, los agregados de peso ligero son bastante porosos, por lo tanto, poseen grandes tasas de absorción.
- Los agregados livianos en condición húmeda son deseables, respecto a los agregados totalmente secos, ya que tienden a absorber menos agua durante el mezclado, esto significa que reducen la posibilidad de perder agua que brindará trabajabilidad a la mezcla.
- Cuando se trabaja con este tipo de agregados que tienen contenidos de humedad iniciales bajos, entre el 8 -10 %, es recomendable mezclar los áridos con la mitad o dos tercios del agua total de mezcla antes de adicionar el cemento.
- El hormigón hecho con agregados livianos saturados, es más vulnerable a los procesos de congelamiento que el concreto elaborado con áridos livianos húmedos o secos.
- Para que las proporciones de mezcla sean prácticas, los agregados se deben informar en una condición de humedad que sea fácilmente alcanzable tanto en campo como en laboratorio, sin embargo, en agregados ligeros es complicado tener en cuenta adecuadamente la verdadera humedad absorbida por estos, así como también los efectos de absorción para una aplicación específica.

¹² La gráfica muestra que luego de seguir incrementando el chasqui fino se vuelve a tener cierto incremento, sin embargo, este no alcanza la resistencia obtenida por la proporción #3 y el acabado es bastante pobre.

Por lo tanto, el principal problema al desarrollar este tipo de hormigón en un grado técnico, está en convertir las proporciones de prueba de laboratorio (agregados secos al horno) en proporciones con condiciones de humedad tal como se encuentra en el sitio de mezclado.

IMAGEN 14. CONDICIÓN DE HUMEDAD DE LAS PARTÍCULAS



FUENTE: (Standar Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete, 1998).

- En agregados de peso normal la gravedad específica para las diferentes fracciones de tamices es muy similares, pero en agregados ligeros las fracciones de menor tamaño poseen mayores valores de gravedad específica.
- Los agregados livianos requieren un mayor porcentaje de material retenido en los tamices más finos, que los agregados de peso normal, para proporcionar una distribución de tamaños igual en volumen.

3.3.2.1 Método 1. Método en Peso.

Este método es aplicable cuando se desee emplear un agregado ligero grueso y agregado fino de peso normal.

Para aplicar este método es fundamental conocer el factor de gravedad específica del agregado grueso liviano, este valor nos permitirá realizar la primera estimación del peso que tendrá el hormigón ligero. Además, para cuantificar la absorción del agregado grueso liviano se puede emplear el método descrito en la ASTM C127 o NTE INEN 857.

La dosificación sigue una secuencia directa de pasos, que ajusta las características de los materiales disponibles en una mezcla de trabajabilidad adecuada.

1. Elección del asentamiento. Se debe emplear la mezcla más consistente que se pueda colocar de forma adecuada, las mezclas con mucha humedad son muy propensas a segregar, originando hormigones demasiado pobres y poco durables, (Luna, 2014).

TABLA 30. ASENTAMIENTOS SUGERIDOS

Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción		
Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Vigas y paredes reforzadas	10.16	2.54
Columnas	10.16	2.54
Losas de piso	7.62	2.54
El asentamiento puede aumentar cuando se utilizan aditivos químicos, siempre que el hormigón tratado con aditivos tenga la misma o menor relación de agua-cemento y no exhiba potencial de segregación o sangrado excesivo. Puede aumentarse 2,54 cm para los métodos de compactación distintos de la vibración.		

FUENTE: ACI 211.2-98

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

2. Elección del tamaño máximo nominal del agregado grueso liviano.
Se debe tratar de emplear el máximo tamaño de agregado permitido, ya que con esto se disminuye la pasta para contribuir a la economía de la obra, sin embargo, es necesario tener presente que el tamaño del agregado debe ser consistente con las dimensiones de la estructura y permitir el correcto colado del hormigón.
El tamaño máximo no debe ser superior que $1/5$ de la menor dimensión a fundirse, ni mayor que 0.75 del menor espaciamiento entre las barras del refuerzo de un elemento, (Luna, 2014).
3. Estimación del agua de mezcla y contenido de aire.

La cantidad de agua por unidad de volumen de un hormigón, necesaria para originar un asentamiento requerido, está en función del tamaño máximo nominal del agregado, la forma de las partículas, la cantidad de aire atrapado y el uso de aditivos, sin embargo, los valores mostrados a continuación, se dice que son bastante acertados.

TABLA 31. AGUA DE MEZCLADO

Cantidad de agua de mezclado (kg/m³) requerida en función del tamaño máximo nominal del agregado para diferentes asentamientos				
Asentamiento (cm)		Tamaño máximo nominal del agregado (cm)		
Mínimo	Máximo	0.95	1.27	1.91
Hormigón con inclusión de aire				
2.54	5.08	180.95	175.02	166.12
7.62	10.16	201.71	192.81	180.95
12.7	15.24	210.61	198.75	186.88
Promedio recomendado de contenido de aire total según el nivel de exposición, %				
Leve		4.5	4	4
Moderada		6	5.5	5
Extrema		7.5	7	6
Hormigón sin inclusión de aire				
2.54	5.08	207.65	198.75	186.88
7.62	10.16	228.41	216.55	201.71
12.7	15.24	237.31	222.48	207.65
Cantidad aproximada de aire atrapado, %		3	2.5	2

FUENTE: ACI 211.2-98

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

4. Selección de la relación Agua-Cemento.

La relación Agua-Cemento no solo determina el requisito de resistencia, también está relacionado con factores de durabilidad y calidad del acabado. Debido a que los distintos materiales y cementos producen diversas resistencias para la misma relación a/c, lo más recomendado es realizar

ensayos que permitan determinar la relación agua cemento para cierta resistencia empleando los materiales que en verdad serán usados, de no ser posible esto, los valores mostrados en la tabla pueden originar resistencias bastante similares a los 28 días.

TABLA 32. RELACIÓN AGUA CEMENTO

Relación Agua cemento para diferentes resistencias a compresión.		
Esfuerzo a compresión a los 28 días, Kg/cm²	Sin inclusión de aire	Con inclusión sobre aire
438.42	0.41	---
365.35	0.48	0.4
292.28	0.57	0.48
219.21	0.68	0.59
146.14	0.82	0.74

FUENTE: ACI 211.2-98

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

5. Cálculo del contenido de cemento.

La cantidad de cemento se fija mediante las elecciones realizadas en los pasos 3 y 4, se obtiene al dividir el agua de mezclado para la relación agua cemento.

Se debe tener en cuenta que en esta especificación existe un límite mínimo, y que las proporciones del hormigón deben regirse a las condiciones de durabilidad, resistencia o factor de cemento impuestas, que conduzca a la mayor cantidad de cemento, (Luna, 2014).

6. Estimación del contenido de agregados gruesos livianos.

Para agregados gruesos que poseen gradaciones y formas semejantes, es decir dentro de los límites convencionales de las normativas, se generará hormigones con una trabajabilidad muy similar al emplear el mismo volumen de agregado grueso, en base seca y suelta, por unidad de volumen de hormigón.

Para obtener una trabajabilidad apropiada de la mezcla de hormigón, y cuantificar el volumen de agregado grueso liviano, se debe tener en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino de peso normal. La tabla a continuación muestra valores apropiados de volumen para el agregado grueso ligero.

TABLA 33. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen en el concreto				
Tamaño máximo de agregado, cm	Módulo de finura del agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3
0.95	0.58	0.56	0.54	0.52
1.27	0.67	0.65	0.63	0.61
1.91	0.74	0.72	0.7	0.68

FUENTE: ACI 211.2-98

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

En agregados gruesos distintos, se puede variar la exigencia de pasta requerida para una buena trabajabilidad, sin embargo, la diferencia de gradación y forma de las partículas se equilibra automáticamente por las diferencias del peso unitario seco de los agregados.

7. Estimación del contenido de agregado fino.

El peso necesario de agregado fino a adicionar, se puede cuantificar como la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso de los demás componentes. A menudo, el peso unitario del hormigón es conocido a partir de experiencias previas al emplear esos materiales, en ausencia de este tipo de información se tiene una buena primera estimación al emplear los valores de la tabla presentada a continuación, la misma que se basa en el factor de gravedad específica y el contenido de aire en el hormigón.

TABLA 34. PESO DEL CONCRETO SEGÚN EL FACTOR DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Primera estimación del peso del concreto ligero (kg/m³)			
Factor de gravedad específica	Aire contenido en el concreto		
	4%	6%	8%
1	1595.9	1560.3	1518.8
1.2	1679.0	1643.4	1607.8
1.4	1768.0	1726.4	1690.8
1.6	1851.0	1809.5	1773.9
1.8	1934.1	1898.5	1857.0
2	2023.1	1981.5	1940.0

FUENTE: ACI 211.2-98

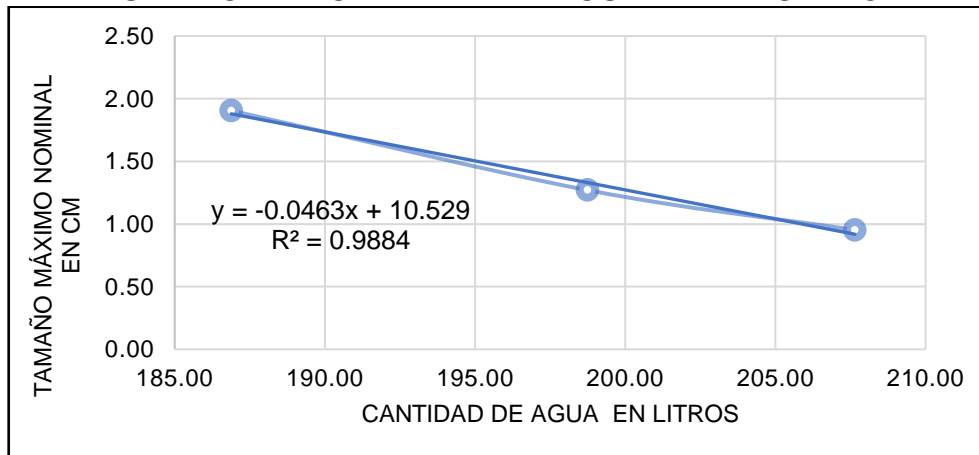
ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

8. Corrección por humedad

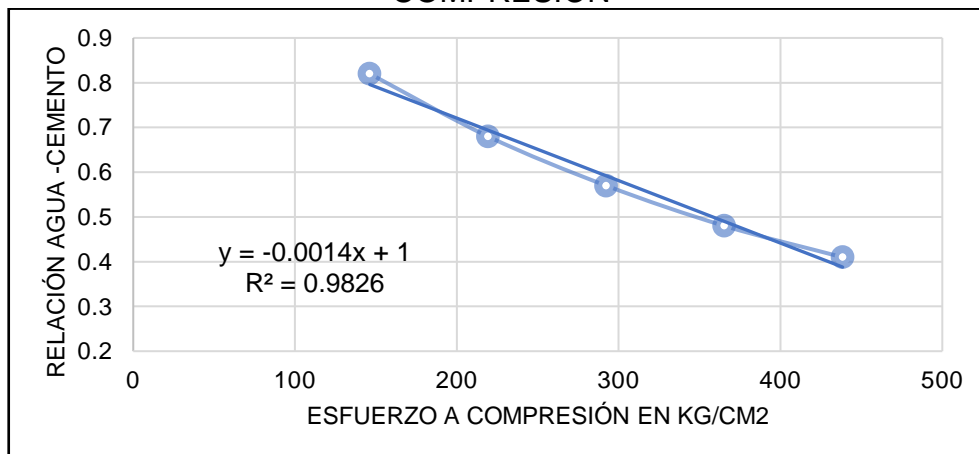
Generalmente los agregados estarán húmedos y por lo tanto sus pesos secos se ven incrementados por el agua tanto absorbida como superficial que poseen. Por lo tanto, el agua adicionada a la mezcla debe reducirse en una cantidad igual a la humedad libre, es decir humedad menos absorción.

3.3.2.2 Resultados obtenidos usando el método 1.

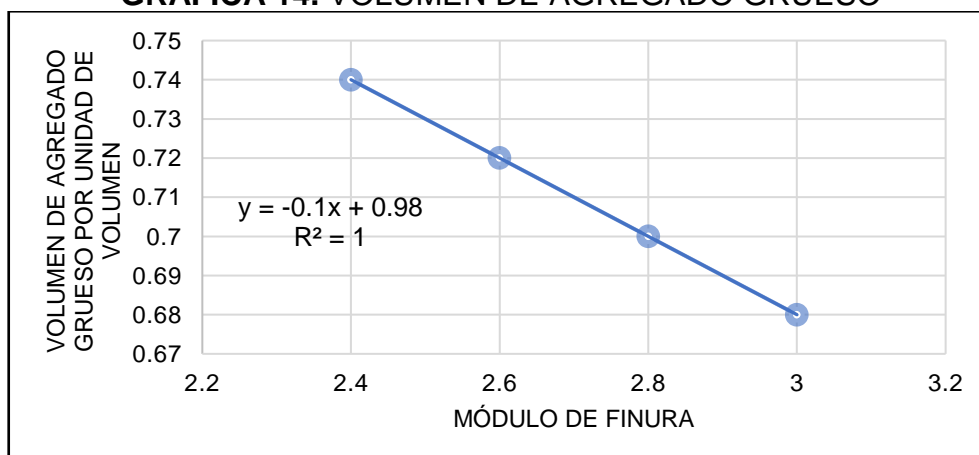
Debido a que las tablas del método 1 poseen valores para materiales de características distintas a los nuestros, fue necesario extrapolar los valores. Las curvas ajustadas a partir de las tablas ACI 211.2 para un hormigón sin inclusión de aire son:

GRÁFICA 12. CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO

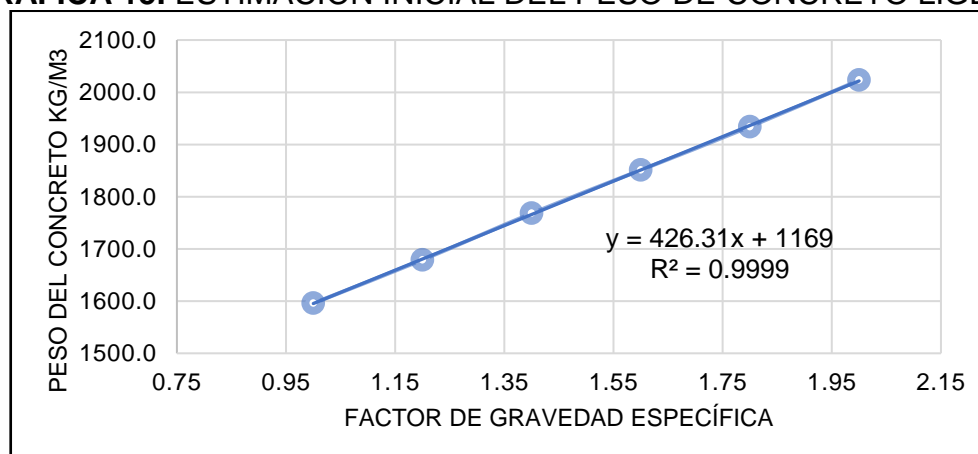
ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

GRÁFICA 13. RELACIÓN A/C EN FUNCIÓN DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

GRÁFICA 14. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

GRÁFICA 15. ESTIMACIÓN INICIAL DEL PESO DE CONCRETO LIGERO

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

A partir de los agregados base (material de la fuente 6, Tanicuchi), se empleó sus propiedades, para estimar 3 dosificaciones de distintas resistencias usando este apartado del ACI 211.2.

TABLA 35. DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE PRUEBA CON ACI 211.2 MÉTODO 1.

Densidad real del cemento (gr/cm³)		2.99	
Densidad aparente compactada del cemento (gr/cm³)		1.21	
Densidad suelta del cemento (gr/cm³)		0.92	
Parámetros de los agregados	Unidad	Fracción Gruesa	Fracción Fina
Densidad S.S. S	Kg/dm ³	1.216	1.776
Absorción	%	37.66	30.07
Densidad aparente compactada	Kg/dm ³	0.51	1.24
Densidad aparente suelta	Kg/dm ³	0.47	1.13
Humedad natural	%	0.50	0.50
Módulo de finura	---	6.6	2.02

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

DOSIFICACIÓN PARA "210 Kg/cm²"

Asentamiento (cm)	0.00
Tamaño máximo del agregado (mm)	38.10
Cantidad de agua (l/m³)	145.11
Porcentaje de aire atrapado (%)	4.00
Relación Agua Cemento	0.71
Volumen aparente del agregado grueso (m³)	0.78
Esfuerzo a compresión deseado (kg/cm²)	210.00
Peso estimado del concreto (kg/m³)	1684.83

Dosificación en peso (kg/m³)			
Componente	Unidad	Cantidad	Cantidad relativa
Agua	kg	567.6	2.8
Cemento	kg	205.5	1.0
F. Gruesa	kg	396.8	1.9
F. Fina	kg	937.4	4.6
Total		2107.4	

DOSIFICACIÓN PARA “180 Kg/cm²”

Asentamiento (cm)	0.00
Tamaño máximo del agregado (mm)	38.10
Cantidad de agua (l/m³)	145.11
Porcentaje de aire atrapado (%)	4.00
Relación Agua Cemento	0.75
Volumen aparente del agregado grueso (m³)	0.78
Esfuerzo a compresión deseado (kg/cm²)	180.00
Peso estimado del concreto (kg/m³)	1684.83

Dosificación en peso (kg/m³)			
Componente	Unidad	Cantidad	Cantidad relativa
Agua	kg	571.0	2.9
Cemento	kg	194.0	1
F. Gruesa	kg	396.8	2.0
F. Fina	kg	948.9	4.9
Total		2110.7	

DOSIFICACIÓN PARA “140 Kg/cm²”

Asentamiento (cm)	0.00
Tamaño máximo del agregado (mm)	38.10
Cantidad de agua (l/m³)	145.11
Porcentaje de aire atrapado (%)	4.00
Relación Agua Cemento	0.80
Volumen aparente del agregado grueso (m³)	0.78
Esfuerzo a compresión deseado (kg/cm²)	140.00
Peso estimado del concreto (kg/m³)	1684.83

Dosificación en peso (kg/m³)			
Componente	Unidad	Cantidad	Cantidad relativa
Agua	kg	575.0	3.2
Cemento	kg	180.5	1.0
F. Gruesa	kg	396.8	2.2
F. Gruesa	kg	962.5	5.3
Total		2114.7	

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

TABLA 36. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN BLOQUES OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO 1 ACI 211.2

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28 DÍAS			
Dosificación	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
ACI 140 kg/cm² (Se colocó 80% del agua calculada)	1	46.07	45.80
	2	46.30	
	3	45.03	
ACI 180 kg/cm² (Se colocó 70% del agua calculada)	1	49.07	52.25
	2	51.85	
	3	55.83	
ACI 210 kg/cm² Se colocó (60% del agua calculada)	1	41.45	41.81
	2	42.68	
	3	41.31	

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio para las dosificaciones ACI 211.2 empleando el método 1, se adjuntan como los anexos 24, 25 y 26.

El agua calculada con este método era bastante alta, tanto que daba una consistencia bastante húmeda y por esto se pudo formar cilindros, lo cual en lo posterior fue imposible debido a que la optimización del agua generaba mezclas bastante secas que no permitieron la toma de cilindros aún con la vibración de la propia máquina.

TABLA 37. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN CILINDROS OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO 1 ACI 211.2

ENSAYO DE COMPRESIÓN EN CILINDROS A LOS 28 DÍAS				
Dosificación	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Factor de resistencia cilindro/bloque
ACI 140 kg/cm ² (se colocó 80% del agua calculada)	1	34.40	40.66	0.89
	2	47.71		
	3	39.88		
ACI 180 kg/cm (se colocó 70% del agua calculada)	1	48.69	49.45	0.95
	2	48.84		
	3	50.82		
ACI 210 kg/cm ² (se colocó 60% del agua calculada)	1	43.62	46.98	1.12
	2	49.21		
	3	48.10		

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

De las 2 tablas anteriores se puede concluir que no se puede predecir ni estimar la resistencia de los bloques a partir de este método de dosificación. En parte esto era esperado debido a que el agregado fino empleado es liviano y para aplicar este procedimiento debía ser de peso normal. Es importante recalcar que esto se hizo con el objetivo de estimar si es aplicable o no esta metodología para nuestros agregados. El error entre la estimación teórica y lo obtenido en los ensayos, en todos los casos, fue mayor del 300%.

3.3.2.3 Método 2. Método volumétrico (humedad, volumen suelto).

Este método se aplica cuando el agregado fino y grueso son ligeros, o cuando se desea combinar agregados livianos con agregados de peso normal.

Los productores de agregados ligeros recomiendan proporciones para elaborar mezclas de prueba con volúmenes sueltos de agregados húmedos. El volumen total de agregados requeridos es medido como la sumatoria de todos los volúmenes sueltos húmedos no combinados, generalmente este volumen total esta entre 1.04 y 1.26 metros cúbicos por cada metro cúbico de hormigón, de esta cantidad aproximadamente entre 40 y 60 % del volumen suelto total corresponde a agregado fino. Tanto el volumen suelto total de agregado requerido, como las proporciones de agregados finos y gruesos dependen de varios factores que se relacionan con la naturaleza de los agregados y con las propiedades del concreto que se va a producir.

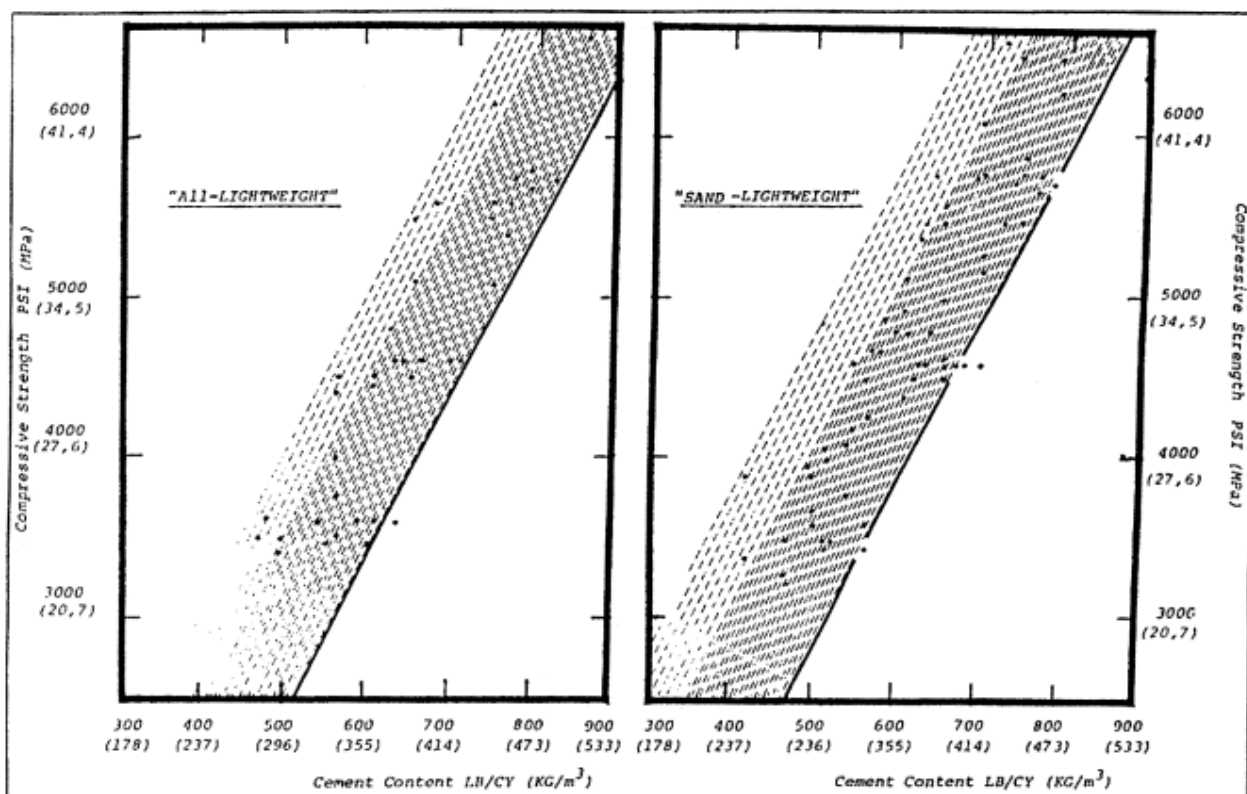
La estimación de los pesos para fabricar el hormigón liviano implica estimar el contenido de cemento para llegar a una resistencia a la compresión requerida. Es recomendable consultar al productor acerca del contenido de cemento y las proporciones de los agregados a emplear para obtener la resistencia y el peso unitario deseados del hormigón que se fabricará.

En muchas ocasiones esta información no está disponible, o sencillamente no existe, dejando como única alternativa elaborar una cantidad representativa de mezclas de prueba con diferentes contenidos de cemento para lograr un rango de resistencias a la compresión que incluya la resistencia a la compresión anhelada, (ACI 211.2, 1998).

1. Estimación del contenido de cemento

La relación de contenido de cemento es similar para una fuente dada de agregado liviano, pero varía ampliamente entre las fuentes. Ante la ausencia de información se puede emplear como primera aproximación los datos de la figura mostrada a continuación.

IMAGEN 15. CONTENIDO DE CEMENTO RECOMENDADO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS



FUENTE: (ACI 211.2, 1998).

La aplicación de este apartado se presenta a continuación como el diseño de mezclas finales.

3.4 DISEÑO DE MEZCLAS PARA LOS BLOQUES TIPO A, B, y C.

Antecedentes de los trabajos realizados:

- 1.- Se determinó la homogeneidad del material obteniendo las propiedades físico-mecánicas de los 3 agregados provenientes de 6 fuentes distintas (Sección 3.1.4, tabla 21).

2.- Se evaluaron 8 proporciones diferentes de los 3 agregados ligeros para determinar el grado de influencia de cada uno y definir qué proporción puede generar la mayor resistencia en el bloque. Se identificó que la proporción en volumen más óptima de Polvo, Chasqui Fino y Chasqui grueso es 1:0.5:1 (Prueba #3, Sección 3.3.1).

3.- Con dicha proporción de los 3 agregados ligeros se separó la fracción fina y gruesa de modo que se pueda aplicar el método 1 del ACI 211.2. Esta dosificación arrojó valores muy bajos respecto de los diseñados, por lo cual se demuestra que no es posible emplear tal metodología.

La aplicación del método 2 consiste en realizar mezclas de prueba a partir de contenidos de cemento escogidos en la imagen 18. Debido a que los contenidos menores a 150kg/cm² no son apreciables en dicha imagen, se debe establecer una curva propia para nuestros materiales y contenidos de cemento.

Es importante mencionar que hasta este punto no se podía optimizar aún la cantidad de agua necesaria. Cuando se perfeccionó la proporción de los 3 materiales, las cantidades de cemento y agregados fueron pesados en el laboratorio. En cambio, el agua de mezclado siempre estuvo a juicio del operador de la mezcladora en la bloquera. Esto debido a que él estimaba la “cantidad adecuada” para formar el bloque solo al tocar la mezcla con la mano. De esta manera, su experiencia le permitía conseguir que el bloque se forme adecuadamente y evitar repetir el vibrado si el bloque no se obtenía correctamente.

Esta forma de evaluar la humedad en la mezcla no se usó cuando se aplicó la metodología 1 del ACI 211.2 pues esta salía del cálculo de la dosificación. Sin embargo, dicho cálculo determinó una cantidad excesiva de agua, que generaba una mezcla demasiado fluida y que, además de segregarse con el vibrado, formó bloques sin regularidad alguna en sus paredes, (Ver fotografía 37).

FOTOGRAFÍA 37. BLOQUES IRREGULARES OBTENIDOS POR MEDIO DEL MÉTODO 1- ACI 211.2.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Esto a pesar de no haber colocado el 100% del agua calculada, pues apenas iniciado el vibrado pudimos evidenciar que era demasiada la humedad de la pasta. Este hecho justifica que, al aplicar dicha dosificación de prueba, haya sido el único caso en que se pudo obtener cilindros. Posteriormente, cuando se logró optimizar el agua, la baja humedad imposibilitó formar cilindros para ser ensayados en laboratorio.

FOTOGRAFÍA 38. CONSISTENCIA ADECUADA DE LA MEZCLA, PERO IMPOSIBLE PARA FORMAR CILINDROS.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

A continuación, tal como recomienda el apartado 2 de la metodología ACI 211.2, si las 2 fracciones, fina y gruesa, provienen de agregados ligeros, se debe hacer mezclas de prueba con diferentes contenidos de cemento. Estos permitirán tener una aproximación de la resistencia esperada en función del cemento utilizado.

3.4.1 Optimización final: Aplicación de la Metodología 2 del ACI 211.2

La parte final de la fase experimental consistió en realizar 6 mezclas de prueba con diferentes contenidos de cemento y evaluar las resistencias obtenidas. Luego de encontrada la ecuación que relaciona esas dos variables, se estimaron 3 contenidos de cemento para lograr obtener la resistencia del bloque tipo A, B y C. Las ecuaciones obtenidas volvieron a ser ajustados a medida que se obtuvieron los resultados de las primeras estimaciones.

TABLA 38. EVALUACIÓN DE 6 CONTENIDOS DE CEMENTO DIFERENTES PARA OBTENER RESISTENCIAS DE PRUEBA.

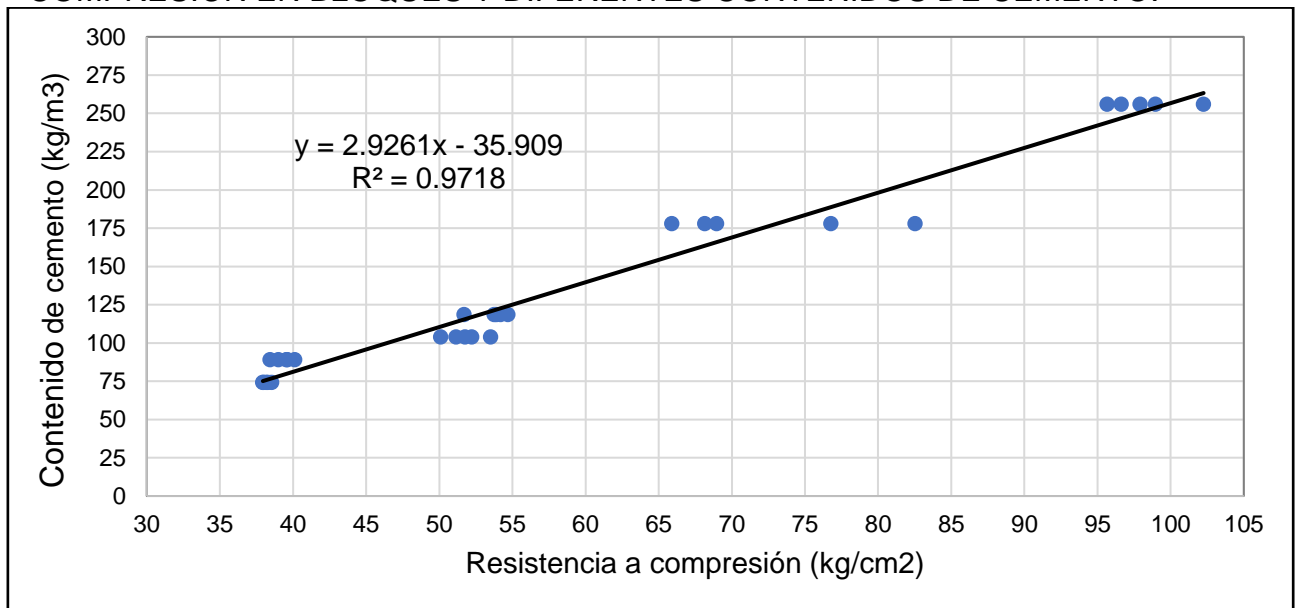
Contenido de cemento (kg/m ³)	Identificación	Esfuerzo Neto a los 7 días (kg/cm ²)	Esfuerzo Neto promedio 7 días (kg/cm ²)	Agua total (l/m ³)	Relación a/c estimada
74.13	1	38.54	38.18	259.62	1.65
	2	38.27			
	3	38.00			
	4	38.17			
	5	37.94			
88.96	1	40.11	39.34	259.62	1.37
	2	39.55			
	3	39.01			
	4	38.44			
	5	39.61			
103.79	1	53.52	51.75	259.62	1.18
	2	51.16			
	3	52.22			
	4	50.09			
	5	51.77			
118.62	1	53.91	53.67	259.62	1.03
	2	53.76			
	3	54.20			
	4	54.69			
	5	51.70			
177.93	1	76.77	69.17	259.62	0.69
	2	68.96			
	3	65.90			
	4	82.52			
	5	68.15			
256.00	1	102.25	92.33	259.62	0.48
	2	96.62			
	3	95.65			
	4	98.96			
	5	97.92			

ELABORADO POR: Erik Velastegú Y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos contenidos de cemento se adjuntan desde el anexo 27 al 32.

En base a los resultados de la tabla anterior, se realiza la primera correlación entre el contenido de cemento por metro cúbico de agregado y la resistencia a compresión del mampuesto.

GRÁFICA 16. PRIMERA CORRELACIÓN ENTRE RESULTADOS A COMPRESIÓN EN BLOQUES Y DIFERENTES CONTENIDOS DE CEMENTO.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Ecuación de ajuste1:

$$\text{Contenido de cemento}(\text{kg}/\text{m}^3) = 2.9261 * R - 35.909$$

Donde:

R: es la resistencia a compresión del mampuesto que se desea fabricar.

Esta primera ecuación a pesar de tener un R^2 mayor a 0.9 no es una función aún confiable en los extremos pues, para el bloque tipo C arroja un valor de contenido de cemento demasiado bajo (4.7 kg/m³). También se pudo determinar que el contenido de cemento de 256 kg/m³ crea una mezcla pegajosa y muy poco trabajable al desmoldar el bloque de la máquina. Esto definió los límites superior e inferior para la curva. La resistencia requerida a los 7 días se asumió como el 80% de la resistencia esperada a los 28 días.

TABLA 39. PRIMERAS 3 ESTIMACIONES A PARTIR DE LA CURVA PARA BLOQUES TIPO A, B Y C.

Tipo de bloque según su uso	Resistencia requerida a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia requerida a los 28 días (kg/cm ²)	Contenido de cemento calculado (kg/m ³)	OBSERVACIÓN
C	13.9	17.3	4.7	Estimación poco coherente: No se aceptó ya que se observó que un contenido de cemento inferior a 30kg/m³ no forma el bloque
B	32.6	40.8	59.6	Estimación aceptada
A	112.6	140.8	293.6	Fuera del límite superior trabajable: No se acepta ya que con este contenido de cemento es muy difícil desmoldar el bloque

ELABORADO POR: Erik Velastegú Y Adrián Santacruz

De la ecuación generada se obtuvo únicamente la estimación para el contenido de cemento del bloque tipo B (59 kg/m³). Los 2 contenidos: 30kg/m³ y 245 kg/m³, fueron escogidos de modo que queden dentro de los límites de trabajabilidad por lo que la estimación de resistencia de estos contenidos es incierta. Con estos 3 datos se procedió a realizar las fundiciones finales que pudieran generar la curva definitiva. Estos serán ensayados a las edades de 7, 14 y 28 días.

TABLA 40. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRIMERA PREDICCIÓN PARA BLOQUES TIPO A, B Y C. A LOS 7 DÍAS.

Contenido de cemento (kg/m³)	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm²)	Esfuerzo Neto promedio 7 días (kg/cm²)	Agua total (l/m³)	Relación a/c estimada
30kg/m³	1	12.69	14.01	245-260	4.24
	2	15.25			
	3	11.79			
	4	13.17			
	5	14.94			
	6	15.14			
	7	14.48			
	8	15.07			
	9	14.52			
	10	13.92			
59.6kg/m³	1	43.18	45.22	245-260	2.13
	2	46.22			
	3	44.89			
	4	46.10			
	5	45.71			
	6	46.31			
	7	45.30			
	8	44.70			
	9	43.79			
	10	45.95			
245kg/m³	1	98.23	97.13	245-260	0.52
	2	94.43			
	3	92.01			
	4	107.49			
	5	92.60			
	6	100.08			
	7	96.38			
	8	97.68			
	9	95.54			
	10	96.85			

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos resultados se adjuntan desde el anexo 33 al 35.

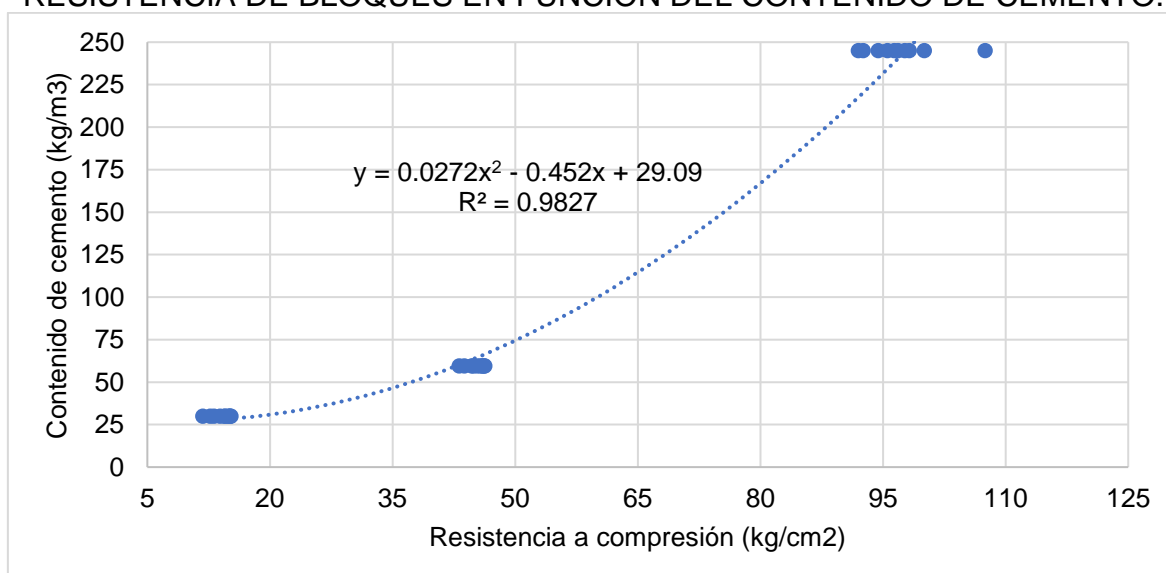
TABLA 41. RESULTADO A LOS 7 DÍAS OBTENIDOS EN LAS PROBETAS VS ESFUERZOS ESPERADOS SEGÚN LA ECUACIÓN DE AJUSTE 1

Tipo	Contenido de cemento (kg/m ³)	Resistencia esperada a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 7 días (kg/cm ²)	Error en 1era estimación
C	30.00	13.9	14.01	+0.78%
B	59.6	32.6	45.22	+27%
A	245	112.6	97.13	-15%

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Ya con los primeros resultados y teniendo más puntos para la curva se ajusta nuevamente la ecuación. Esta ya no es lineal y claramente refleja mejor la estimación de la ecuación respecto de los resultados obtenidos.

GRÁFICA 17. SEGUNDO AJUSTE A CURVA PARA OBTENER LA RESISTENCIA DE BLOQUES EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

Ecuación de ajuste2:

$$\text{Contenido de cemento (kg/m}^3\text{)} = 0.0272 * R^2 - 0.452 * R + 29.09$$

Como una evaluación de los resultados solo hasta la edad de ensayo a los 7 días, se vuelven a calcular los contenidos de cemento con la ecuación de ajuste 2 (ver TABLA 42). Se nota una mejor predicción pues, para el bloque C y B que sobrepasaron la resistencia estimada, el contenido de cemento es menor. En cambio, para el bloque tipo A el contenido de cemento aumenta más allá del límite

trabajable. No obstante, serán los ensayos a los 28 días los que definan la verdadera ecuación que estime los factores de cemento.

TABLA 42. CONTENIDO DE CEMENTO OBTENIDO CON EL 2DO AJUSTE.

Tipo	Resistencia obtenida a los 7 días (kg/cm²)	Resistencia esperada a los 7 días (kg/cm²)	Contenido de cemento obtenido con el 2do ajuste (kg/m³)
C	14.01	13.9	28.1(disminuyó)
B	45.22	32.6	43.3(disminuyó)
A	97.13	112.6	323.1(aumentó)

ELABORADO POR: Erik Velasteguí Y Adrián Santacruz

TABLA 43. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRIMERA PREDICCIÓN PARA BLOQUES TIPO A, B Y C, A LOS 14 DÍAS.

Contenido de cemento (kg/m³)	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm²)	Esfuerzo Neto promedio (kg/cm²)
30kg/m³	1	15.15	17.29
	2	19.44	
	3	20.31	
	4	14.01	
	5	14.94	
	6	18.88	
	7	17.23	
	8	18.33	
	9	17.97	
	10	16.59	
59.6kg/m³	1	50.89	52.98
	2	52.48	
	3	54.55	
	4	55.54	
	5	50.57	
	6	54.08	
	7	51.67	
	8	54.89	
	9	51.47	
	10	53.62	
245kg/m³	1	99.86	106.94
	2	119.39	
	3	99.64	
	4	104.75	
	5	110.72	
	6	99.14	
	7	106.19	
	8	106.25	
	9	110.91	
	10	112.39	

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos resultados se adjuntan desde el anexo 36 al 38.

La cantidad de agua que debe colocarse no estuvo limitada a la necesaria para lograr saturar el agregado y formar la pasta, sino a la adecuada para permitir formar

el bloque sin segregación durante la vibro-compactación y sin fisurarse por falta de humedad al iniciar el secado. A pesar de poder estimar en laboratorio un valor de absorción para el agregado, no se puede comprobar cuánto realmente absorbe en el corto tiempo de mezclado, moldeo y luego durante el secado. Esto dificulta la estimación verdadera de la relación a/c empleada.

TABLA 44. RESULTADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN EN PRIMERA PREDICCIÓN PARA BLOQUES TIPO A, B Y C A LOS 28 DÍAS.

Contenido de cemento (kg/m³)	Identificación	Esfuerzo Neto (kg/cm²)	Esfuerzo Neto promedio (kg/cm²)
30 kg/3	1	17.74	20.09
	2	21.83	
	3	18.75	
	4	21.49	
	5	23.78	
	6	17.05	
	7	19.51	
	8	20.16	
	9	19.36	
	10	18.57	
	11	20.8	
	12	21.02	
	13	19.8	
	14	19.51	
	15	19.72	
	16	19.89	
	17	21.01	
	18	21.31	
	19	21.15	
	20	19.42	
59.6 kg/m ³	1	53.4	56.56
	2	55.14	
	3	56.53	
	4	59.4	
	5	56.88	
	6	54.5	
	7	59.87	
	8	59.3	
	9	53.81	
	10	56.22	

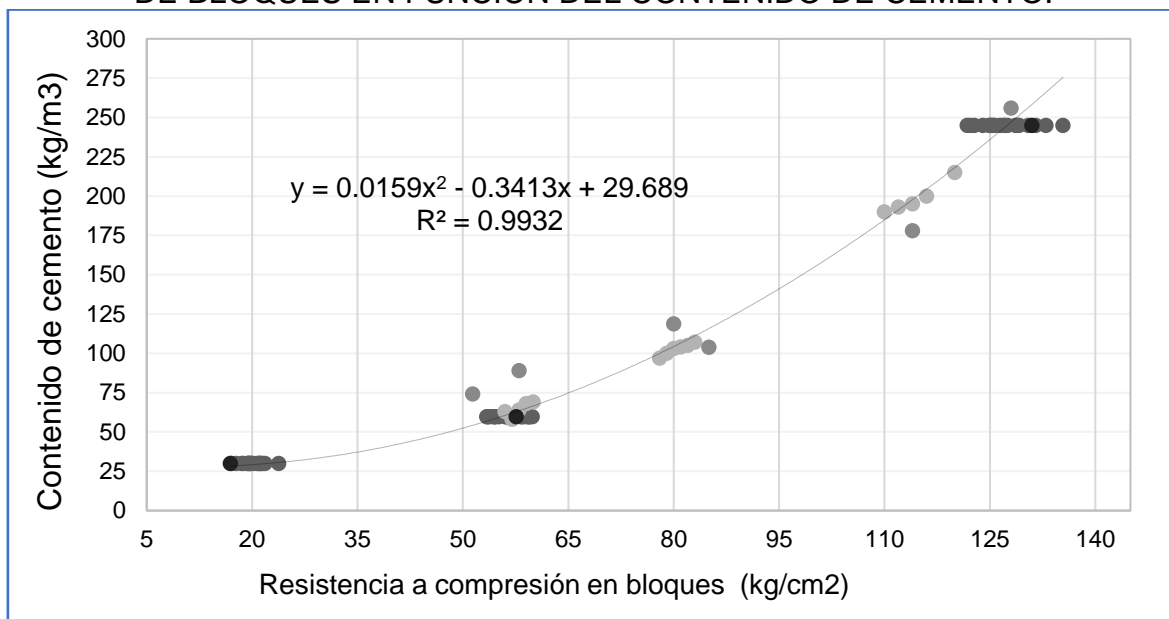
	11	54.42	
	12	56.02	
	13	56.32	
	14	56.32	
	15	54.64	
	16	53.49	
	17	58.79	
	18	58.28	
	19	58.37	
	20	59.47	
245 kg/m ³	1	124.91	127.11
	2	135.41	
	3	126.46	
	4	125.25	
	5	130.5	
	6	129.14	
	7	128.66	
	8	125.06	
	9	125.45	
	10	122.79	
	11	132.99	
	12	121.79	
	13	127.07	
	14	127.01	
	15	131.53	
	16	128.86	
	17	127.5	
	18	124.02	
	19	125.68	
	20	122.19	

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos resultados se adjuntan desde el anexo 39 al 41.

Con estos datos de los ensayos a los 28 días, se ajusta la curva y se determina la función final. La que mejor se adapta a los datos es una ecuación polinómica de segundo grado. La gráfica muestra, además, la resistencia esperada a los 28 días, de los bloques que se ensayaron a los 7 días, lo cual refleja un buen ajuste global, además del valor R^2 que es muy cercano a uno.

GRÁFICA 18. CURVA FINAL AJUSTADA PARA OBTENER LA RESISTENCIA DE BLOQUES EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO.



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Ecuación final:

$$\text{Contenido de cemento}(\text{kg/m}^3) = 0.0159 * R^2 - 0.3413 * R + 29.689$$

Con esto; los contenidos de cemento para hallar los diferentes bloques son:

TABLA 45. CONTENIDOS DE CEMENTO OBTENIDOS A PARTIR DEL AJUSTE FINAL PARA OBTENER BLOQUES TIPO A, B Y C

Tipo de bloque obtenido:	Resistencia requerida a los 28 días. (kg/cm²)	Contenido de cemento (kg/m³)
C - Aliviamiento	17.34	✓ 28.55
B - Pared no estructural	40.80	✓ 42.23
A – Pared estructural	140.76	296.68 Contenido de cemento no trabajable
A – Pared estructural	126.48	✓ 240.88 Solo cumple la resistencia por bloque, mas no el promedio de 3 unidades

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

COMENTARIOS AL AJUSTE FINAL DE LA CURVA

- La forma de la curva interpreta muy bien lo encontrado en la parte experimental. Cualquier contenido de cemento menor a 30kg/m³ forma un bloque débil que no soporta las fases siguientes al vibrado como transporte y colocación. Esto definió a ese valor como el límite trabajable inferior.
- En la parte baja de la curva un pequeño aumento de cemento logra un importante incremento de resistencia. Esto ocurre aproximadamente en contenidos de cemento menores a 125kg/m³. Además, se demuestra una buena interacción del agregado con la pasta en este rango.
- Conforme se avanza en la curva, la pendiente va aumentando con mayor tasa. Es decir, para lograr mayores resistencias necesariamente debe aumentarse considerablemente el cemento. También se identificó un valor máximo al que puede incrementarse el cemento debido a que más de 245 kg/m³, hace demasiado difícil el llenado, la vibración y sobre todo es casi imposible desmoldar el bloque sin dañarlo. Esta parte justifica que el valor máximo de resistencia al que se puede llegar es alrededor de 127kg/cm². Según la norma, para poder clasificarlo como tipo A, el promedio de 3 unidades debe llegar a 140.8 kg/cm², y por bloque, al menos uno debe llegar a 126.5kg/cm². Con esto solo podríamos cumplir la segunda condición. Nuestro contenido de cemento calculado para llegar a cumplir dicho valor de 140.8 kg/cm² cae fuera de la zona trabajable.

3.5 RESULTADO DE PRUEBAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO SOBRE BLOQUES FINALES

Los ensayos muestran que en todos los casos se alcanzan las resistencias mínimas de diseño, el área mínima de tabiques y también el requisito de absorción establecido para el bloque tipo A. La densidad de todos es menor a 1600kg/m³ lo cual los clasifica como livianos.

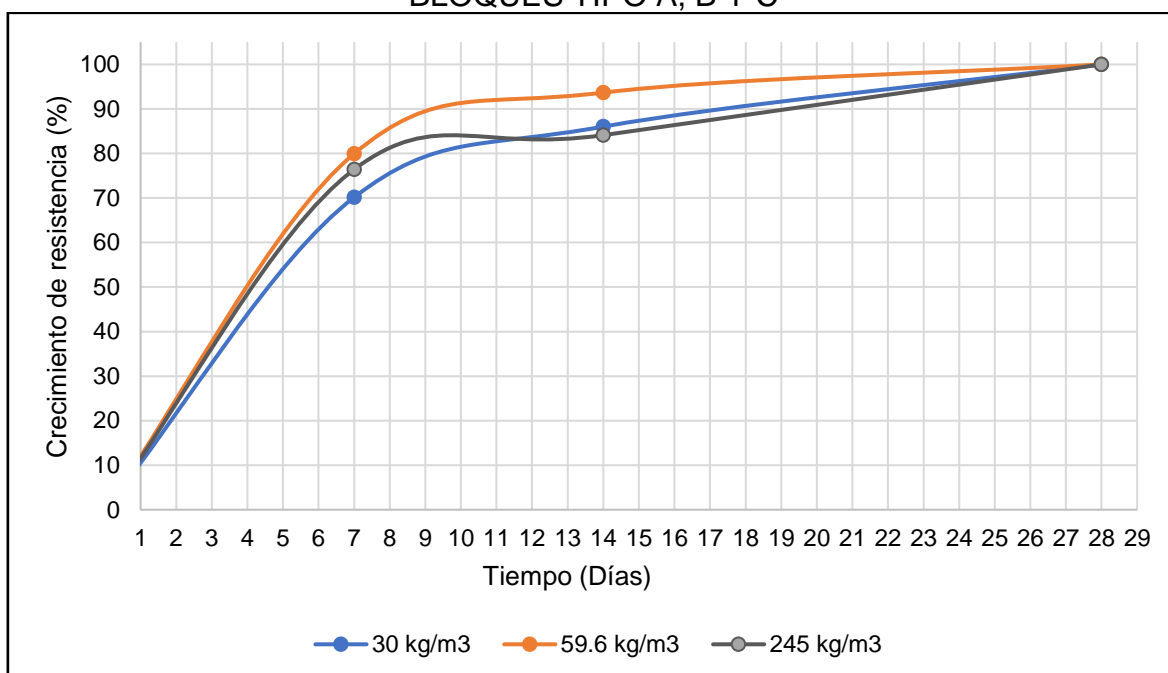
3.5.1 Resistencia a la compresión.

TABLA 46. RESUMEN DE RESISTENCIAS FINALES EN BLOQUES TIPO A, B, C.

Edad (días)	Factor de cemento:		
	30 kg/m ³	59.6 kg/m ³	245 kg/m ³
	Resistencia ensayo de compresión kg/cm ²		
	C	B	A
7	14.1	45.2	97.1
14	17.3	53.0	106.9
28	20.1	56.6	127.1

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

GRÁFICA 19. CRECIMIENTO DE RESISTENCIA HASTA LOS 28 DÍAS DE BLOQUES TIPO A, B Y C



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

3.5.2 Área mínima normalizada de tabiques

TABLA 47. ÁREA MÍNIMA NORMALIZADA DE TABIQUES.

Cálculo del área normalizada de tabiques (Ant mín. = 45150 mm ² /m ²)								
t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)	h (mm)	L (mm)	b3 (mm)	Att (mm ²)	Atn (mm ² /m ²)
17	16	16	17	190	375	15	11550	162105.26

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: El esquema de estas dimensiones corresponde a la Imagen 13, sección 3.2.1.7.

3.5.3 Absorción, densidad, volumen neto, área neta.

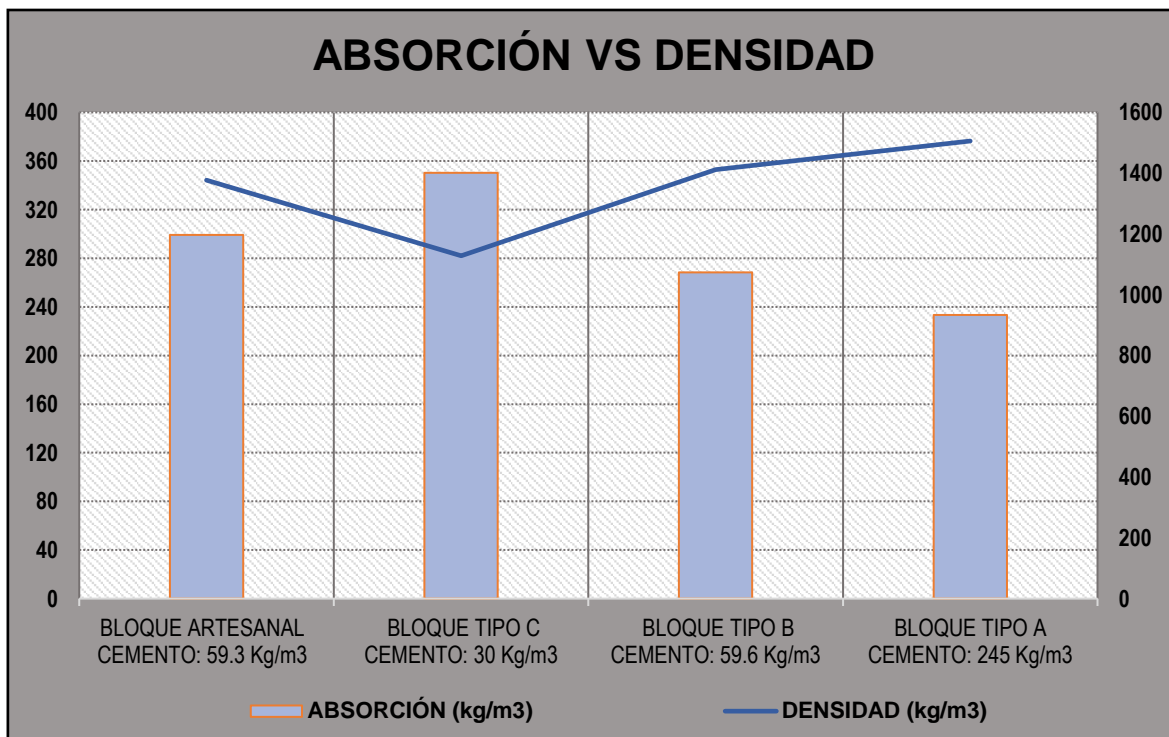
TABLA 48. RESULTADOS DE ABSORCIÓN, DENSIDAD Y ÁREA NETA EN BLOQUES FINALES.

Identificación del espécimen:	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	Promedio
Absorción (kg/m3)	236.70	239.94	230.91	234.45	238.23	229.09	232.02	230.60	230.91	231.02	233.39
Absorción (%)	15.75	15.89	15.29	15.53	15.80	15.32	15.55	15.26	15.29	15.30	15.50
Densidad (kg/m3)	1502.89	1509.53	1510.24	1509.99	1507.67	1495.35	1491.81	1511.14	1510.24	1510.14	1505.90
Área Bruta (mm2)	50818.67	50367.43	50559.96	50446.64	50411.21	50223.04	50395.22	50183.43	50559.96	50116.00	50408.16
Volumen neto (mm3)	4.83E+06	4.67E+06	4.78E+06	4.77E+06	4.81E+06	4.81E+06	4.83E+06	4.83E+06	4.78E+06	4.79E+06	4.79E+06
Área neta Promedio (mm2)	27101.50	26007.05	26410.40	26110.30	25974.10	26917.77	26560.44	26732.84	26410.40	26736.09	26496.09
BLOQUE TIPO B - CONTENIDO DE CEMENTO 59.6 kg/m3											
Identificación del espécimen:	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	Promedio
Absorción (kg/m3)	266.44	269.74	268.81	269.27	268.32	268.51	267.47	268.60	268.64	267.78	268.36
Absorción (%)	18.68	19.16	19.17	19.17	19.00	19.04	18.86	19.01	19.07	18.89	19.01
Densidad (kg/m3)	1426.35	1407.76	1401.90	1404.80	1412.04	1410.59	1418.50	1413.18	1408.53	1417.22	1412.09
Área Bruta (mm2)	50667.42	50375.11	50218.23	50430.45	50534.55	50299.92	50123.67	49688.24	50213.33	49900.07	50245.10
Volumen neto (mm3)	4.78E+06	4.68E+06	4.77E+06	4.73E+06	4.74E+06	4.74E+06	4.76E+06	4.72E+06	4.74E+06	4.75E+06	4.74E+06
Área neta Promedio (mm2)	25891.26	25292.12	26287.73	26019.55	26226.91	26015.68	26256.18	25901.27	26167.04	26073.70	26013.14
BLOQUE TIPO C - CONTENIDO DE CEMENTO 30 kg/m3											
Identificación del espécimen:	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Promedio
Absorción (kg/m3)	352.53	348.05	349.29	350.89	350.30	350.16	349.74	350.86	350.49	350.19	350.25
Absorción (%)	31.74	30.57	30.57	31.14	31.15	30.95	30.87	31.22	31.17	31.00	31.04
Densidad (kg/m3)	1110.75	1138.49	1142.53	1126.81	1124.58	1131.38	1132.78	1123.76	1124.31	1129.70	1128.51
Área Bruta (mm2)	18543.70	18368.96	18031.97	17987.26	18108.12	18125.97	18058.87	18148.53	18062.96	18027.50	18146.38
Volumen neto (mm3)	1.92E+06	1.91E+06	1.97E+06	1.94E+06	1.92E+06	1.94E+06	1.94E+06	1.93E+06	1.92E+06	1.94E+06	1.93E+06
Área neta Promedio (mm2)	12875.98	12514.72	13128.03	12983.32	12772.13	12980.20	12874.67	12918.08	12842.50	12913.68	12880.33

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

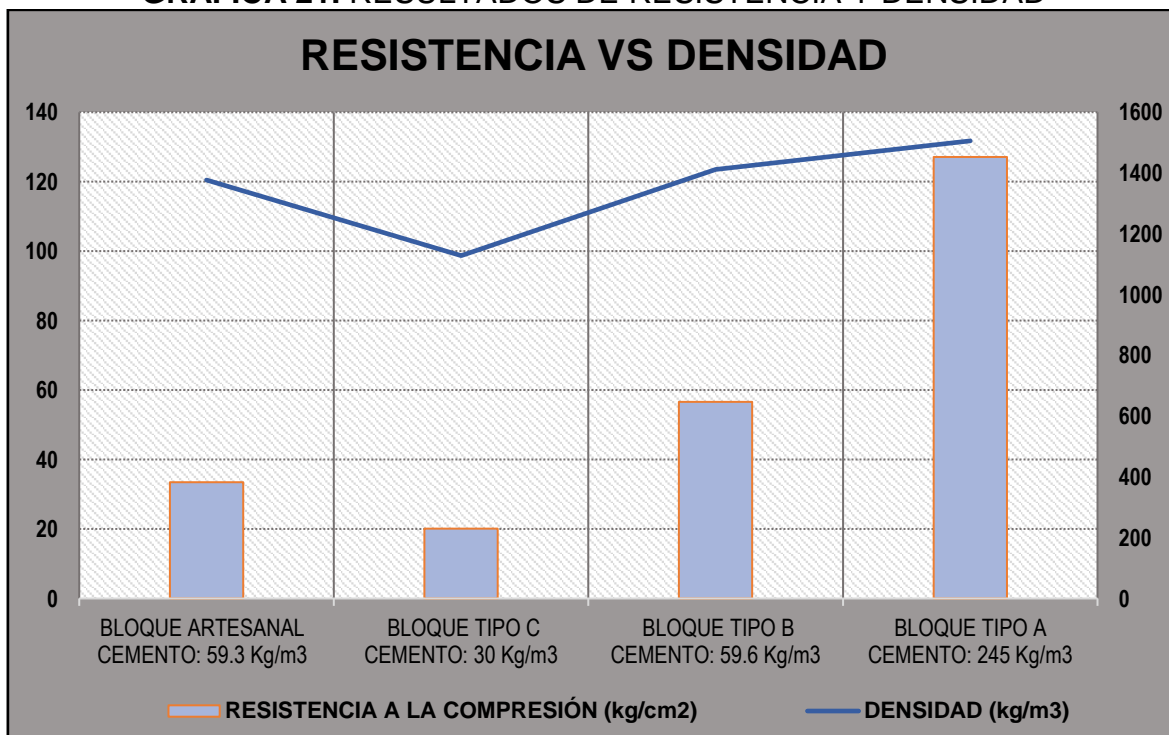
Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos resultados se adjuntan desde el anexo 42 al 44.

GRÁFICA 20. RESULTADOS DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD



ELABORADO POR: Erik Velastegui y Adrián Santacruz

GRÁFICA 21. RESULTADOS DE RESISTENCIA Y DENSIDAD



ELABORADO POR: Erik Velastegui y Adrián Santacruz

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR EL GRADO DE REPRODUCIBILIDAD, REPETIBILIDAD Y LÍMITES DE CONFIANZA EN LOS ENSAYOS EJECUTADOS

Para validar los resultados y la metodología de este trabajo se realiza el siguiente análisis estadístico a los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio. Esta sección hace énfasis en el ensayo de resistencia a la compresión por ser la propiedad que demanda mayor estándar de calidad en un mampuesto.

El grado de precisión de un método, instrumento o proceso, puede evaluarse bajo condiciones de repetibilidad o reproducibilidad. A pesar de no ser muy común que se determine cuantitativamente, pues basta con constatar que las varianzas son muy pequeñas, se puede cuantificar en términos de algún parámetro estadístico como la desviación estándar (Kenett & Shelemyahu, 2000)¹³.

4.2 MUESTREO

La norma INEN 3066 determina que se deben ensayar 3 bloques para evaluar cualquier propiedad en el mampuesto. Según la NTE INEN-ISO 2859, este número de unidades corresponden a un muestreo con nivel de inspección especial S-2 y un nivel de calidad aceptable AQL (número de ítems no conformes) del 10%. (NTE INEN – ISO 2859-1)., siempre que el tamaño del lote sea de hasta 1200 unidades. En nuestro caso se evaluarán más de 10 unidades con el fin de que la muestra sea más representativa en el análisis estadístico.

4.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Debido a la capacidad de la mezcladora que utilizamos, el tamaño del lote en una parada, es decir, el número de unidades producidas con los mismos materiales,

¹³ Citado en Plan de formación en bioestadística. Módulo 8.
<http://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/tstudent.pdf>

diseño de mezcla, proceso de fabricación y curado, corresponde a 120 bloques. Y en una jornada se logran alrededor de 1000 bloques. Para nuestro caso de análisis se fabricaron 50 bloques para cada resistencia de diseño: 13.8 Mpa, 4 Mpa y 1.7 Mpa. De estos, 10u se ensayaron a compresión a la edad de 7 días, 10u a los 14 días y 20u a los 28 días. Para absorción y densidad se ensayaron 10u. En total se fabricaron 150 mampuestos finales.

TABLA 49. MUESTREO PARA ENSAYOS.

PROPIEDAD	CLASE A			CLASE B			CLASE C		
	Edad de ensayo			Edad de ensayo			Edad de ensayo		
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
DENSIDAD Y ABSORCIÓN	-----	-----	10u	-----	-----	10u	-----	-----	10u
REISTENCIA A COMPRESIÓN	10u	10u	20u	10u	10u	20u	10u	10u	20u
Total	50 unidades			50 unidades			50 unidades		

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

4.4 INTERVALOS DE CONFIANZA

Los valores puntuales obtenidos como resultado de una medición no siempre brindan información adicional necesaria respecto de cuan dispersos se encuentran del valor verdadero que representan. Es decir, no toman en cuenta el error implícito inherente al observador, el instrumento o el método. Por esto es importante asociarlo a un nivel de confianza que refleje el rango de valores donde es razonable que se encuentre el valor real de la medición.

Si el muestreo se hace en una población que tiene una distribución de probabilidad desconocida, la distribución de muestreo de la media seguirá siendo aproximadamente normal con media μ y varianza σ^2/n , siempre que el tamaño de la muestra n sea mayor a 30, (Rodríguez, 2007). Este es uno de los teoremas del límite central. Sin embargo, en nuestro caso el n es 20, por lo que no resulta práctico

asumir una distribución normal. La distribución recomendada, por ser muy similar a la distribución normal especialmente cuando n es grande, se la conoce como “t student”.

Por otro lado, para la determinación de los intervalos de confianza, la estimación de la desviación estándar será proporcionada por los mismos datos muestrales obtenidos en los ensayos y también, debido a que la fase experimental nos permitió estar familiarizados con todo el proceso de la industria informal, se asumirá un valor contrastándose con valores existentes en la bibliografía.

TABLA 50. COEFICIENTE DE VARIACIÓN COMO MEDIDA DEL CUIDADO APLICADO EN LA PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN

CALIFICACIÓN	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	MALO
Dispersión total %				
En obra	<10	10 a 15	15 a 20	>20
En laboratorio	<5	5 a 7	7 a 10	>10
Dispersión en unidades %				
En obra	<4	4 a 5	5 a 6	>6
En laboratorio	<3	3 a 4	4 a 6	>5

FUENTE: (Wogrin, 1974)¹⁴

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

¹⁴ Valores similares se pueden encontrar en el ACI214RS-11: “Guía para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto”.

TABLA 51. COEFICIENTES DE VARIACIÓN REPRESENTATIVOS DE MATERIALES DE INGENIERÍA.

Coeficientes en materiales de construcción.		
Material	Observación	Coefficiente de variación (%)
Acero estructural	Referido al material industrial	1
Concreto	Medido en ensayos de testigos	
	a) Obra muy controlada	8
	b) Obra sin control	25
Unidad de albañilería de concreto	Resistencia	
	a) Artesanales	29
	b) Industriales	6
	Dimensiones del largo	
	a) Artesanales	5
	b) Industriales	1
Dimensiones del alto		
a) Artesanales	8	
b) Industriales	3	
Mortero	Adhesión	25
Concreto líquido	Resistencia a compresión	8
Albañilería	Medida en ensayos de compresión en prismas	
	a) Obra muy controlada	15
	b) Obra sin control	30

FUENTE: (Albañilería Estructural, 2005)

La siguiente ecuación expresa que, si \bar{x} y s son la media y desviación estándar de una muestra con n valores procedentes de una población con distribución normal

con media μ y desviación σ , los intervalos de confianza están definidos de la siguiente manera¹⁵:

$$\bar{x} - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde;

$t_{\alpha/2}$: Es la variable aleatoria para la distribución *t Student* con un grado de significancia α , y $n-1$ *grados de libertad*

s : Distribución estándar de la muestra

En nuestro caso, tomamos un grado de significación de 0.05. Es decir, con un 95 % de confianza se puede esperar que, al realizar el ensayo de compresión para cualquier dosificación usando nuestra gráfica, el resultado se encuentre dentro del rango estimado. Esto se realizó para los resultados de los ensayos de compresión sobre los bloques finales a la edad de 28 días de curado. Además, como ya se mencionó, se obtuvo 2 intervalos de confianza:

- 1.-Tomando la desviación estándar muestral a partir de los datos obtenidos (Tabla 52).
- 2.- Asumiendo la desviación estándar como 10% que es el valor estimado para la industria informal donde se realizó la fase experimental (Tabla 53).

¹⁵ En general para evaluar elementos de una industria de producción, independientemente del tamaño de las muestras, la población tiene una distribución normal.

TABLA 52. LÍMITES DE CONFIANZA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN FINALES CALCULADOS CON DESVIACION ESTÁNDAR MUESTRAL.

N°	Cemento 245kg/m3	Cemento 59kg/m3	Cemento 30kg/m3
	Resistencia a la compresión kg/cm2		
1	124.91	53.4	17.74
2	135.41	55.14	21.83
3	126.46	56.53	18.75
4	125.25	59.4	21.49
5	130.5	56.88	23.78
6	129.14	54.5	17.05
7	128.66	59.87	19.51
8	125.06	59.3	20.16
9	125.45	53.81	19.36
10	122.79	56.22	18.57
11	132.99	54.42	20.8
12	121.79	56.02	21.02
13	127.07	56.32	19.8
14	127.01	56.32	19.51
15	131.53	54.64	19.72
16	128.86	53.49	19.89
17	127.5	58.79	21.01
18	124.02	58.28	21.31
19	125.68	58.37	21.15
20	122.19	59.47	19.42
n	20	20	20
media	127.11	56.56	20.09
Desviación muestral s	3.57	2.16	1.53
t student (5%)	2.093	2.093	2.093
Límite superior	128.8	57.6	20.8
Límite inferior	125.4	55.5	19.4

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 53. LÍMITES DE CONFIANZA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN FINALES CALCULADOS CON DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL 10%

N°	Cemento 245kg/m ³	Cemento 59kg/m ³	Cemento 30kg/m ³
	Resistencia a la compresión kg/cm²		
1	124.91	53.4	17.74
2	135.41	55.14	21.83
3	126.46	56.53	18.75
4	125.25	59.4	21.49
5	130.5	56.88	23.78
6	129.14	54.5	17.05
7	128.66	59.87	19.51
8	125.06	59.3	20.16
9	125.45	53.81	19.36
10	122.79	56.22	18.57
11	132.99	54.42	20.8
12	121.79	56.02	21.02
13	127.07	56.32	19.8
14	127.01	56.32	19.51
15	131.53	54.64	19.72
16	128.86	53.49	19.89
17	127.5	58.79	21.01
18	124.02	58.28	21.31
19	125.68	58.37	21.15
20	122.19	59.47	19.42
n	20	20	20
media	127.11	56.56	20.09
Desviación industria. informal (10%)	12.71	5.66	2.01
t student (5%)	2.093	2.093	2.093
Límite superior	133.1	59.2	21.0
Límite inferior	121.2	53.9	19.2

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

4.5 PRUEBAS F (Snedecor), T (Student).¹⁶

Es muy común que en ingeniería se evalúen problemas asociando la probabilidad y estadística con los resultados de las mediciones. Esto permite interpretar de mejor

¹⁶ La guía para realizar los cálculos se encuentra en (Ronald, Walpole, Sharon, & Keying, 2012).

manera la información para posteriormente tomar decisiones. En nuestro caso, la aplicación de estas pruebas, que determinan la diferencia entre varianzas o medias, nos permitirá validar nuestra metodología al ser aplicada bajo las mismas condiciones: productor, procedimiento, observador, instrumento de medición, operador, etc., lo cual definirá el grado de repetibilidad. La reproducibilidad en cambio se definirá al cambiar una de esas condiciones. Para cumplir con el análisis se hará uso de la herramienta estadística conocida como Anova simple o Análisis de varianza de un solo factor.

Prueba F de Snedecor para igualdad de varianzas.

Las dos muestras analizadas para determinar la reproducibilidad provienen de dos fundiciones diferentes, pero utilizando la misma dosificación. La primera fundición la realizamos los autores del trabajo, y la segunda el dueño de la bloquera, a quien se le informó la tabla de dosificación que debía utilizar para fabricar los bloques (ver TABLA 54). Si nuestra propuesta de obtener bloques es reproducible, cualquier otra persona debería poder usarla obteniendo resultados cercanos a los nuestros. Para comprobar esto, las varianzas de las dos fundiciones no deberían diferir considerablemente además de presentar medias dentro de los límites de confianza establecidos.

Hipótesis: $s_1 = s_2$

Condiciones invariables para realizar cada fundición: Dosificación, mezcladora, máquina de vibro-compactación, materiales, tiempo de curado, edad de ensayo.

Condición variable: Persona que interpreta la dosificación y realiza la fundición.

Para calcular el estadístico F:

$$F_{\text{calculado}} = \frac{\text{máx}(s_1^2 : s_2^2)}{\text{mín}(s_1^2 : s_2^2)}$$

Donde, s_1 y s_2 son las desviaciones estándar de la muestra.

El valor F tabulado se encuentra en tablas para la distribución de Snedecor, con n_1-1 y n_2-1 grados de libertad y nivel de significancia α .

TABLA 54. CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO F PARA EVALUAR REPRODUCIBILIDAD

Contenido de cemento: 59.6 kg/m ³	A	B
	Resultados de fundición realizada por los autores de este trabajo	Resultados de fundición realizada por los operarios de la bloquera
1	53.4	49.5
2	55.14	51.3
3	56.53	55.5
4	59.4	58.5
5	56.88	51.3
6	54.5	52.4
7	59.87	51.1
8	59.3	50.5
9	53.81	55.1
10	56.22	62.5
11	54.42	58.3
12	56.02	59.6
13	56.32	55.5
14	56.32	61.3
15	54.64	49.5
16	53.49	52.3
17	58.79	50.3
18	58.28	----
19	58.37	----
20	59.47	----
n	20	17
media	56.56	54.38
Desviación muestral s	2.16	4.28
t student (5%)	2.093	2.11
Límite superior	57.6	56.6
Límite inferior	55.5	52.2
Estadístico F calculado		1.9872
Estadístico F tabulado		2.5907

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos resultados se adjuntan como el anexo 40 y 45.

Debido a que el estadístico F calculado: 1.9872; es menor al valor F tabulado para 19 y 16 grados de libertad, con nivel de significancia de 0.05: 2.5907, se acepta la hipótesis. Por lo tanto, no hay diferencia significativa que permita inferir como no

reproducibile la dosificación planteada. Además, las dos medias caen dentro de los límites de confianza establecidos anteriormente.

Prueba T student para contrastar diferencia de medias.

En este caso se evalúan dos fundiciones donde ninguna variable cambia (ver TABLA 55). Para poder definir qué tipo de prueba T se debe usar, primero hay que determinar mediante una prueba F si las varianzas son iguales o no.

Hipótesis: $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$

Condiciones invariables para realizar cada fundición: Persona que interpreta la dosificación y realiza la fundición, mezcladora, máquina de vibro-compactación, materiales, tiempo de curado, edad de ensayo.

Condición variable: ninguna.

TABLA 55. CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO T PARA EVALUAR REPETIBILIDAD

Contenido de cemento: 59.6 kg/m³	A Resultados de primera fundición realizada por los autores de este trabajo	C Resultados de segunda fundición realizada por los autores de este trabajo
1	53.4	53.22
2	55.14	56.02
3	56.53	58.95
4	59.4	63.50
5	56.88	53.45
6	54.5	59.00
7	59.87	54.90
8	59.3	54.46
9	53.81	62.10
10	56.22	56.36
11	54.42	57.81
12	56.02	55.91
13	56.32	58.81
14	56.32	52.07
15	54.64	52.90
16	53.49	54.55
17	58.79	58.28
18	58.28	58.37
19	58.37	59.47
20	59.47	52.12
n	20	20
media	56.56	56.61
Desviación muestral s	2.16	3.23
t student (5%)	2.093	2.093
Límite superior	57.6	58.1
Límite inferior	55.5	55.1
Estadístico F calculado	1.4970	
Estadístico F tabulado	2.5265	
Estadístico T calculado	0.0743	
Estadístico T tabulado	2.0228	

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

Nota: Los informes de laboratorio correspondientes a estos resultados se adjuntan como el anexo 40 y 46.

Debido a que el estadístico F calculado es menor al tabulado, se puede asumir que las varianzas son iguales. Con esto se procedió a usar la prueba T para inferencia sobre medias cuando las varianzas son iguales.

$$t_{\text{calculado}} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{s^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Donde

S: la desviación estándar agrupada:

$$s = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Luego, debido a que el estadístico T (0.074) es menor al estadístico tabulado con nivel de significancia de 0.05 (2.0228), se puede concluir que no hay diferencias significativas en las medias y por lo tanto la metodología usada es repetible.

4.6 TABLA DE DOSIFICACIONES OBTENIDAS PARA LAS DIFERENTES RESISTENCIAS

A continuación, se resumen las dosificaciones para 4 diferentes tipos de bloque:

TABLA 56. TABLAS DE DOSIFICACIÓN, EN PESO Y VOLUMEN, PARA MEZCLADORAS CON CAPACIDAD DE ½ SACO DE CEMENTO. RENDIMIENTO APROXIMADO: 60-70 BLOQUES

Tabla de dosificaciones para resistencia a los 28 días. Mezcladoras de medio saco				
Módulo de finura para la Fracción Fina			Módulo de finura para la Fracción Gruesa	
1.9 - 2.3			6.4 - 6.8	
Resistencia Promedio	Chasqui fino (1)	Chasqui Grueso (0.5)	Polvo (1)	Cemento
kg/cm2	m3 (kg)	m3 (kg)	m3 (kg)	Kg
20.00	0.18 (165.9)	0.09 (44.6)	0.18 (148.6)	13.50
40.00				18.90
60.00				29.93
127.00				110.25

Tabla de dosificaciones para resistencias a los 28 días. Mezcladoras de medio saco				
Módulo de finura para la Fracción Fina			Módulo de finura para la Fracción Gruesa	
1.9 - 2.3			6.4 - 6.8	
Resistencia Promedio	Chasqui fino (1)	Chasqui Grueso (0.5)	Polvo (1)	Cemento
kg/cm2	carretillas	carretillas	carretillas	Kg
20.00	2	1	2	13.50
40.00				18.90
60.00				29.93
127.00				110.25

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 57. TABLAS DE DOSIFICACIÓN, EN PESO Y VOLUMEN, PARA MEZCLADORAS CON CAPACIDAD DE 1 SACO DE CEMENTO. RENDIMIENTO APROXIMADO: 110-120 BLOQUES

Tabla de dosificaciones para resistencia a los 28 días. Mezcladoras de saco				
Módulo de finura para la Fracción Fina		Módulo de finura para la Fracción Gruesa		
1.9 - 2.3		6.4 - 6.8		
Resistencia Promedio	Chasqui fino (1)	Chasqui Grueso (0.5)	Polvo (1)	Cemento
kg/cm ²	m ³ (kg)	m ³ (kg)	m ³ (kg)	Kg
20.00	0.36 (332)	0.18 (89.2)	0.36 (297.25)	27.00
40.00				37.80
60.00				59.85
127.00				220.50

Tabla de dosificaciones para resistencia a los 28 días. Mezcladoras de saco				
Módulo de finura para la Fracción Fina		Módulo de finura para la Fracción Gruesa		
1.9 - 2.3		6.4 - 6.8		
Resistencia Promedio	Chasqui fino (1)	Chasqui Grueso (0.5)	Polvo (1)	Cemento
kg/cm ²	carretillas	carretillas	carretillas	Kg
20.00	4	2	4	27.00
40.00				37.80
60.00				59.85
127.00				220.50

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

- Dosificación para **127 kg/cm²**: llega al valor mínimo para clasificarse como A, pero no se cumple el promedio que pide la norma. Mayor contenido de cemento no es trabajable.
- Dosificación para **60 kg/cm²**: Se llega a la resistencia para clasificar como B a los 7 días.
- Dosificación para **40 kg/cm²**: Se llega a la resistencia para clasificar como B a los 28 días.

- Dosificación para **20 kg/cm²**: Se llega a la resistencia para clasificar como C a los 28 días. A pesar de cumplir el requisito para ser tipo C es relativamente frágil si no se manipula con cuidado

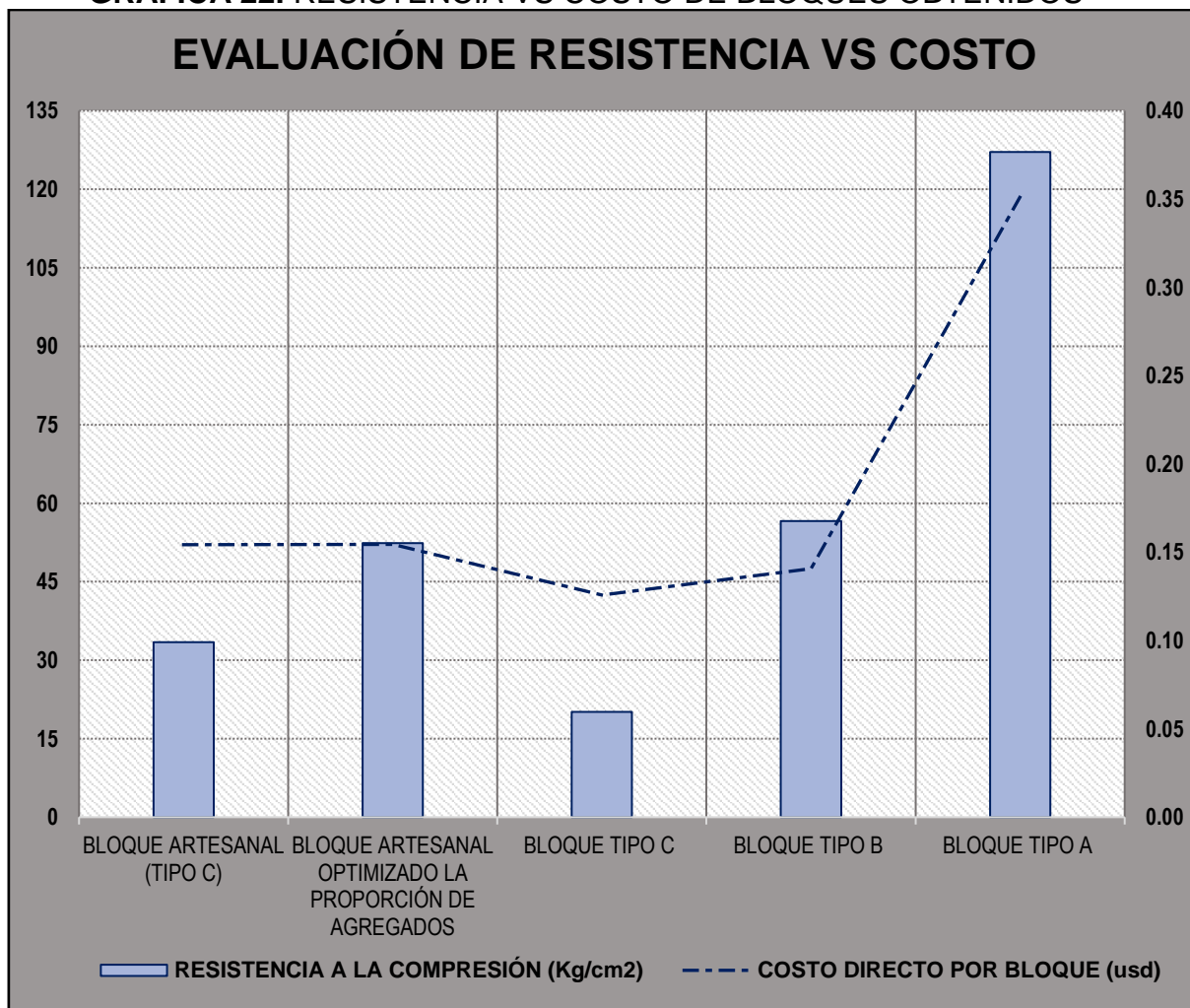
4.7 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

El análisis de este apartado consiste en establecer los costos de producción de la bloquera artesanal actual y los bloques que se obtendrían con la aplicación de las dosificaciones producto de este estudio. Una vez determinados los costos a través del análisis de precios unitarios (APUS) se evaluará el beneficio en términos de resistencia obtenida en el bloque.

Los APUS elaborados para el análisis son:

- **APU 01:** Elaboración de un bloque como actualmente lo elabora la industria artesanal.
- **APU 02:** Elaboración de un bloque con contenido de cemento igual al de la bloquera artesanal, pero con la proporción de materiales optimizada en este trabajo.
- **APU 03:** Elaboración de un bloque para alcanzar la resistencia mínima como tipo A, a los 28 días.
- **APU 04:** Elaboración de un bloque para alcanzar la resistencia como tipo B a los 7 días.
- **APU 05:** Elaboración de un bloque para alcanzar la resistencia como tipo B a los 28 días.
- **APU 06:** Elaboración de un bloque para alcanzar la resistencia como tipo C a los 28 días.

GRÁFICA 22. RESISTENCIA VS COSTO DE BLOQUES OBTENIDOS



ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 58. RESUMEN DE DATOS PARA ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

Tipo De Bloque	Resistencia promedio a los 28 días (kg/cm ²)	Costo Directo (usd)	Cambio en el Costo (%)	Cambio en la resistencia (%)	Influencia del cemento en costo (%)	COMENTARIO
Bloque original APU 01	33.4	0.1543	---	---	0.58	Este es el bloque de referencia para evaluar el costo de los demás. No alcanza la resistencia para tipo B por lo que clasifica como tipo C.
Bloque optimizado la proporción de material APU 02	52.4	0.1544	0	+25%	0.58	Solo al optimizar la proporción con materiales secos al horno y medidos en laboratorio, la resistencia aumenta un 25% lo cual le ayuda a clasificar como tipo B. No hay variación en el costo pues el contenido de cemento es el mismo.
Bloque Tipo A APU 03	127	0.3513	128	+280%	0.85	No existe un bloque A fabricado por la industria artesanal. Para elaborarlo el aumento en el costo es de más del 100% debido a que la resistencia debe aumentarse casi 4 veces.
Tipo B a los 7 días APU 04	56	0.1544	0	+68%	0.58	Se aumenta la resistencia un 68% y llega a clasificarse como tipo B a los 7 días. Además, se verifica que, al emplear materiales húmedos, tal como recomienda el ACI, se aumenta la resistencia respecto a cuando se emplean los materiales secos como en el caso 2.
Tipo B normal APU 05	42	0.1407	-9	+26%	0.51	Con menor contenido de cemento se obtiene la resistencia para clasificar como tipo B a los 28 días con una reducción del costo de 9% y aumento de resistencia del 26%.
Tipo C APU 06	20	0.1258	-18	-40%	0.41	Se reduce el costo en 18% para obtener un bloque que clasifique como B, debido a que se optimiza tanto el contenido de cemento como el material

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 59. APU 01: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE COMO ACTUALMENTE LO ELABORA LA INDUSTRIA ARTESANAL

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	ELABORACIÓN DE UN BLOQUE ARTESANAL				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C=A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Herramienta Menor (5% M. O.)					0.0023
Mezcladora (10% M. O.)					0.0045
Máquina de vibrocompactación (10% M. O.)					0.0045
				SUBTOTAL M	0.0113
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	JORNAL/DÍA (B)	COSTO DÍA (C=A*B)	RENDIMIENTO(R)	COSTO (D=C*R)
Peón	3	15	45	0.001	0.0450
				SUBTOTAL N	0.0450
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO (C =A*B)	
Cemento	Saco	0.0071	8.0000	0.0571	
Agua	m3	0.0008	0.0688	0.0001	
Chasqui fino	m3	0.0020	7.0000	0.0141	
Chasqui Grueso	m3	0.0013	9.0000	0.0120	
Polvo	m3	0.0027	5.5000	0.0147	
				SUBTOTAL O	0.0980
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)		0.1543
			INDIRECTOS Y UTILIDADES %	17%	0.1800
			VALOR OFERTADO		0.18

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 60. APU 02: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE CON CONTENIDO DE CEMENTO IGUAL AL DE LA BLOQUERA ARTESANAL, PERO CON LA PROPORCIÓN DE MATERIALES OPTIMIZADA EN ESTE TRABAJO

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	ELABORACIÓN DE UN BLOQUE OPTIMIZADO EL MATERIAL				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C=A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Herramienta Menor (5% M. O.)					0.0023
Mezcladora (10% M. O.)					0.0045
Máquina de vibro compactación (10% M. O.)					0.0045
				SUBTOTAL M	0.0113
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	JORNAL/DÍA (B)	COSTO DÍA (C=A*B)	RENDIMIENTO(R)	COSTO (D=C*R)
Peón	3	15	45	0.001	0.0450
				SUBTOTAL N	0.0450
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO (C =A*B)	
Cemento	Saco	0.0071	8.0000	0.0571	
Agua	m3	0.0008	0.0688	0.0001	
Chasqui fino	m3	0.0024	7.0000	0.0169	
Chasqui Grueso	m3	0.0012	9.0000	0.0108	
Polvo	m3	0.0024	5.5000	0.0132	
				SUBTOTAL O	0.0981
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)		0.1544
			INDIRECTOS Y UTILIDADES %	17%	0.1800
			VALOR OFERTADO		0.18

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 61. APU 03: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA MÍNIMA COMO TIPO A, A LOS VEINTE Y OCHO DÍAS.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	ELABORACIÓN DE UN BLOQUE TIPO A (28 DÍAS)				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C=A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Herramienta Menor (5% M. O.)					0.0028
Mezcladora (10% M. O.)					0.0056
Máquina de vibro compactación (10% M. O.)					0.0056
				SUBTOTAL M	0.0141
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	JORNAL/DÍA (B)	COSTO DÍA (C=A*B)	RENDIMIENTO(R)	COSTO (D=C*R)
Peón	3	15	45	0.00125	0.0563
				SUBTOTAL N	0.0563
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)
Cemento		Saco	0.0300	8.0000	0.2400
Agua		m3	0.0008	0.0688	0.0001
Chasqui fino		m3	0.0024	7.0000	0.0169
Chasqui Grueso		m3	0.0012	9.0000	0.0108
Polvo		m3	0.0024	5.5000	0.0132
				SUBTOTAL O	0.2810
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)		0.3513
			INDIRECTOS Y UTILIDADES %		17%
			VALOR OFERTADO		0.4100
					0.41

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 62. APU 04: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA COMO TIPO B, A LOS SIETE DÍAS.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	ELABORACIÓN DE UN BLOQUE TIPO B (7 DÍAS 59.6 KG/M3)				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C=A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Herramienta Menor (5% M. O.)					0.0023
Mezcladora (10% M. O.)					0.0045
Máquina de vibro compactación (10% M. O.)					0.0045
				SUBTOTAL M	0.0113
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	JORNAL/DÍA (B)	COSTO DÍA (C=A*B)	RENDIMIENTO(R)	COSTO (D=C*R)
Peón	3	15	45	0.001	0.0450
				SUBTOTAL N	0.0450
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)
Cemento		Saco	0.0071	8.0000	0.0571
Agua		m3	0.0008	0.0688	0.0001
Chasqui fino		m3	0.0024	7.0000	0.0169
Chasqui Grueso		m3	0.0012	9.0000	0.0108
Polvo		m3	0.0024	5.5000	0.0132
				SUBTOTAL O	0.0981
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)		0.1544
			INDIRECTOS Y UTILIDADES %		17%
			VALOR OFERTADO		0.1800
					0.18

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 63. APU 05: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA COMO TIPO B, A LOS VEINTE Y OCHO DÍAS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	ELABORACIÓN DE UN BLOQUE TIPO B (28 DÍAS 45 KG/M3)				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C=A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Herramienta Menor (5% M. O.)					0.0023
Mezcladora (10% M. O.)					0.0045
Máquina de vibro compactación (10% M. O.)					0.0045
				SUBTOTAL M	0.0113
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	JORNAL/DÍA (B)	COSTO DÍA (C=A*B)	RENDIMIENTO(R)	COSTO (D=C*R)
Peón	3	15	45	0.001	0.0450
				SUBTOTAL N	0.0450
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)
Cemento		Saco	0.0054	8.0000	0.0434
Agua		m3	0.0008	0.0688	0.0001
Chasquí fino		m3	0.0024	7.0000	0.0169
Chasquí Grueso		m3	0.0012	9.0000	0.0108
Polvo		m3	0.0024	5.5000	0.0132
				SUBTOTAL O	0.0844
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)		0.1407
			INDIRECTOS Y UTILIDADES %		21%
			VALOR OFERTADO		0.1700
					0.17

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

TABLA 64. APU 06: ELABORACIÓN DE UN BLOQUE PARA ALCANZAR LA RESISTENCIA COMO TIPO C, A LOS VEINTE Y OCHO DÍAS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	ELABORACIÓN DE UN BLOQUE TIPO C				
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN:	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C=A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Herramienta Menor (5% M. O.)					0.0023
Mezcladora (10% M. O.)					0.0045
Máquina de vibro compactación (10% M. O.)					0.0045
				SUBTOTAL M	0.0113
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	JORNAL/DÍA (B)	COSTO DÍA (C=A*B)	RENDIMIENTO(R)	COSTO (D=C*R)
Peón	3	15	45	0.001	0.0450
				SUBTOTAL N	0.0450
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD (A)	P. UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)
Cemento		Saco	0.0036	8.0000	0.0286
Agua		m3	0.0008	0.0688	0.0001
Chasquí fino		m3	0.0024	7.0000	0.0169
Chasquí Grueso		m3	0.0012	9.0000	0.0108
Polvo		m3	0.0024	5.5000	0.0132
				SUBTOTAL O	0.0696
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O)		0.1258
			INDIRECTOS Y UTILIDADES %		19%
			VALOR OFERTADO		0.1500
					0.15

ELABORADO POR: Erik Velasteguí y Adrián Santacruz

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se logró obtener las dosificaciones, en peso y volumen, para elaborar el bloque tipo A, B y C. Sin embargo, para el bloque tipo A se cumple únicamente el requisito de resistencia mínima por bloque, mas no el promedio. Esto debido a que un contenido de cemento mayor no permite que la mezcla sea trabajable.
- Se logró estudiar las propiedades físicas y mecánicas de los 3 agregados livianos (Chasqui fino, chasqui grueso y polvo). De lo cual se encontró que el rango de variación para materiales de diferentes sitios es muy corto. Por lo tanto, bastó con elaborar la dosificación con un mismo material sin necesidad de variarlo pues el resultado es muy similar.
- Se empleó la metodología ACI 211.2 utilizando el método 2 (mezclas de prueba), que se ajusta a nuestros 3 materiales de peso ligero, con lo que se obtuvo una gráfica que relaciona el contenido de cemento a emplearse, según el volumen de agregado, con una determinada resistencia.
- El método 1 del ACI 211.2 debe emplearse únicamente, cuando el agregado grueso es de peso ligero y el agregado fino es de peso normal. Sin embargo, en este trabajo se aplicó este método como un punto de partida en el que se logró optimizar las proporciones de los 3 agregados para conocer las propiedades de la fracción gruesa y fina.
- Los bloques obtenidos, en todos los casos, se clasifican como livianos al tener una densidad menor a 1680kg/m³.
- Se cumple el valor mínimo de absorción establecido para bloques tipo A cuando el mampuesto clasifica como liviano, presentando un valor promedio de 230 kg/m³ inferior a 288kg/m³ que establece la NTE INEN 3066.
- Para el bloque tipo B y C no hay restricción de un valor máximo de absorción, sin embargo, se determinó que tienen un valor promedio de 270 y 350 kg/m³ respectivamente.

- El bloque tipo B llega satisfactoriamente a la resistencia establecida por la normativa. Este puede ser usado en paredes divisorias no soportantes, es decir como mampostería no estructural.
- El bloque tipo C llega satisfactoriamente a la resistencia establecida por la norma utilizando el límite inferior del contenido de cemento determinado en la curva. Su uso está destinado para alivianamiento de losas.
- No es práctico el uso de un bloque tipo C obtenido con el límite inferior de la curva (30 kg/m³), pues este mampuesto es muy frágil manipularlo luego de haber sido fabricado
- La bibliografía recomienda emplear materiales de fracción fina con módulos de finura entre 3.5 – 4.2, en nuestro caso los 3 materiales que conforman tanto la fracción gruesa como fina tiene módulos de finura cercanos a 6.5 y 2 respectivamente, esto no permite que el material encaje en su totalidad dentro de los límites granulométricos que demanda la normativa de agregado ligero.
- Se determinó que el costo directo del mampuesto elaborado artesanalmente es de 0.1543 dólares y al venderlo en 0.18 dólares obtienen una utilidad del 17%. La resistencia promedio a la que llega a los 28 días es de 33.4kg/cm² clasificándolo como tipo C.
- Al optimizar la proporción de agregados no hubo variación en el costo sin embargo se logra un incremento de 25% en la resistencia.
- Para elaborar el mampuesto tipo B se reduce en 9% el costo respecto del artesanal debido a que, además de hacer eficiente la proporción, se optimizó el contenido de cemento.
- Para elaborar el bloque que clasifique como tipo C se logró reducir el costo en 18% respecto al artesanal.
- Para elaborar un bloque tipo A (resistencia mínima por bloque) se debe aumentar la resistencia 4 veces, por lo cual el incremento en el costo es de 128%. Es importante mencionar que el beneficio este tipo de bloque radica en que puede ser destinado a una pared estructural soportante.
- No se satisface el espesor mínimo de tabiques para el bloque tipo A. Esta es una variable que depende exclusivamente de las dimensiones del molde que

generalmente se emplea en las bloqueras artesanales, el cual estaba fuera de nuestro alcance modificarlo. Sin embargo, se tiene un área normalizada de tabiques mayor al que recomienda la norma.

- Acorde a lo que se describe en la bibliografía, al utilizar la piedra pómez se logró una densidad en el mampuesto alrededor de 1350kg/m^3 . Además, se comprobó que a mayor densidad se obtiene mayor resistencia.
- Debido a que los contenidos de cemento recomendados en la figura 3.3.2 del ACI 211.2 son recomendados para hormigón estructural ligero, los contenidos bajos para las resistencias de los bloques tipo A, B y C, no son apreciables pues caen en el rango más bajo de la gráfica. Además, su forma lineal no refleja el comportamiento real del bloque en su fabricación. En nuestro caso, al obtener una ecuación polinómica de segundo grado, la pendiente hacia el lado derecho de la curva se irá incrementando. Es decir, en la parte baja para un incremento significativo de resistencia se necesita un aumento leve en el contenido de cemento. En cambio, para obtener altas resistencias debe incrementarse de manera considerable el contenido de cemento.
- Una de las características más importantes encontradas en el agregado de peso ligero es que las partículas de menor tamaño tienen densidades mayores a las partículas grandes debido a que éstas son más porosas.
- Se determinó que el polvo no presenta ninguna propiedad que aporte al incremento de resistencia. Únicamente sirve para proporcionar una textura adecuada.
- Las granulometrías de los 3 materiales analizados por separado no entran en los límites granulométricos para agregado ligero, a menos que se mezclen en alguna proporción conveniente. Sin embargo, la proporción N°3 presentó el mayor valor de resistencia a pesar de no encajar perfectamente en los límites granulométricos de la fracción fina y gruesa.
- En todos los casos el coeficiente de uniformidad fue mayor a 20 lo cual no garantiza una dureza uniforme de las partículas según lo establecido en la normativa INEN 860. Esto se comprobó en los ensayos a compresión donde

se encontraron partes con el agregado totalmente triturado y otras totalmente completo.

- Al analizar la cantidad de chasqui fino se demostró que la proporción N°3 es la que mayor resistencia obtiene, ya que al incrementar o disminuir su contenido además de presentar una baja resistencia se conseguirá un mal acabado.
- El incremento de chasqui grueso disminuye la resistencia, sin embargo, no se puede eliminarlo totalmente pues la resistencia baja considerablemente. Esto se verifica con la proporción N°5.
- Los valores obtenidos de esfuerzo a compresión empleando la metodología ACI 211.2 con el método 1, llegan apenas al 20 o 30% del valor esperado. Además, no fue posible colocar la totalidad del agua calculada, pues dicha cantidad producía segregación durante la vibro-compactación e irregularidad geométrica al formar el bloque. Este exceso de agua también puede entenderse debido a que el método no estima adecuadamente cuánto en realidad logra absorber el agregado. Con esto se comprueba que esta metodología no es aplicable cuando se intenta emplear la fracción gruesa y fina provenientes de materiales de peso ligero.
- De forma general se puede esperar que a los 7 días se alcance el 80% de la resistencia deseada con el tipo de cemento utilizado.
- La condición de humedad que tengan los agregados al fabricar los bloques influirá directamente en la resistencia a compresión. La cantidad total de agua en la mezcla, para el caso de agregados húmedos fue mayor que la cantidad total usada para el caso en que los agregados estuvieron secos. Sin embargo, al usar agregados húmedos, tal como recomienda el ACI 211.2, se obtuvieron mejores resistencias. De esto se puede inferir que cuando se usó agregados secos hubo agua que se absorbió posteriormente al mezclado y no pudo hidratar al cemento. Dicha absorción fue menor al agregado en condición húmeda.
- De lo experimentado se observó que; la cantidad de agua que debe colocarse no estaba limitada a la necesaria para lograr saturar el agregado y formar la pasta, sino a la adecuada para permitir formar el bloque sin

segregación durante la vibro-compactación y sin fisurarse por falta de humedad al iniciar el secado.

- A pesar de poder estimar en laboratorio un valor de absorción para el agregado, no se puede comprobar cuanto realmente absorbe en el corto tiempo de mezclado, moldeo y luego durante el secado. Esto dificulta la estimación verdadera de la relación a/c empleada.
- El número de bloques que se obtiene con una determinada cantidad de material varía debido a los desperdicios que se generan en las máquinas de mezclado y conformado. Aproximadamente para un volumen de agregados de 0.42 m³ se obtendrán en 60 y 70 bloques.
- Se comprobó, a través de la prueba F y T, que la propuesta de dosificación tiene el mismo grado de precisión medido bajo condiciones de repetibilidad y reproducibilidad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la forma rudimentaria de explotación de los 3 agregados, estos pueden tener presencia de arcillas, raíces y tierra. Se recomienda, en lo posible, eliminar estos contaminantes antes de ser utilizados.
- Debe limpiarse las máquinas antes de cada fundición para evitar que los restos modifiquen las propiedades de la siguiente mezcla. Esto además evitará que se forme una capa en la base de la mezcladora lo cual reduce su capacidad.
- Se recomienda emplear algún método que permita pesar el cemento para evitar desperdicios. Este cuidado es importante debido a que este componente define el costo y resistencia del bloque.
- Los tableros de folio de 5mm se utilizaron con el fin de facilitar el ensayo a compresión con una base más regular. Además, para evitar la variación de resultados debido a las alturas diferentes que presentan los bloques, se recomienda cortar las irregularidades en la parte superior del mampuesto. Con esto, a más de eliminar la variable del refrentado, se facilita el tratamiento en laboratorio. Para la construcción, sin embargo, es

recomendable que la superficie no sea lisa, de manera que logre mayor adhesión con el mortero y entre unidades.

- Debido a que los mampuestos generalmente se venden antes de los 28 días, se recomienda emplear un contenido de cemento para alcanzar la resistencia a los 7 días.
- Es mejor utilizar agregados húmedos y destinar un tiempo de mezclado solo con agregados y agua. Esto con la finalidad de que el agregado absorba la mayor cantidad posible sin que luego le reste agua para reaccionar el cemento.
- La variación estándar para los resultados obtenidos en bloques fabricados por los autores de este trabajo es menor al 3%. En cambio, para los resultados de bloques fabricados por personal de la bloquera fue alrededor del 10%. Un mejor control de calidad en el proceso puede ayudar a la industria a obtener resultados más confiables.
- El curado debe iniciar lo más pronto luego de 2 a 3 horas de haber sacado el bloque de la máquina. Cualquiera que sea el método de curado debe procurar no dañar el mampuesto recién fabricado. Además, evitar la exposición directa al sol durante las primeras horas.

REFERENCIAS

- ACI 211.2. (1998). *Standar Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- Arce, X. (1997). *Hormigones livianos*. Guayaquil: Escuela Politécnica del Litoral (Tesis pregrado). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28794180_Hormigones_Livianos
- ASTM C 1602. (2012). *Standar Specification For Mixing Water Used In The Production Of Hydraulic Cement Concret*. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C 331. (2017). *Lightweight aggregates for concrete masonry units*. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM-C330. (2017). *Lightweight Aggregates for Structural Concrete*. Estados Unidos: ASTM. Obtenido de <https://www.astm.org/>
- ASTM-C90. (2016). *Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units*. Estados Unidos: ASTM.
- Beall, C. (2001). *Masonry and Concrete*. New York: McGraw-Hill.
- Beall, C. (2004). *Masonry Design and Detailing for architects, engineers and builders*. 6th Ed. New Jersey, Estados Unidos: Prentice-Hall.
- Beall, C. (2012). *Masonry design and detailing*. New York: McGraw-Hill.
- Bonett Díaz, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Barcelona, España: Tesis Doctoral.
- Clarke, J. (1993). *Structural Lightweight Aggregate Concrete*. London: CRC PRESS.
- Craven, M. (1952). *Construcción de mampostería de hormigón. New Zealand Engineering*. Vol 7, 2-8.
- Gallegos, H. (2005). *Albañilería Estructural*. Perú: Fondo editorial PUCP.
- Gutiérrez, L. (2003). *Concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- International Building Code. (2006). Estados Unidos: *International Code Council*.
- Kenett, R., & Shelemyahu, Z. (2000). *Estadística industrial moderna*. México.: International Thompson.
- Klingner, R. E. (2010). *Masonry Structural Design*. Austin, Texas, Estados Unidos: McGraw-Hill.

Luna, G. V. (2014). *Estudio del Hormigón: Guía didáctica para el diseño de mezclas*. Quito, Ecuador: Edicumbre.

Navarrete, M. S. (1976). *La cultura de las cuevas decoradas con cerámica decorada en Andalucía oriental*. España: Universidad editorial de granada.

NCMA. (2012). ASTM specifications for concrete masonry units. TEK 1-1F. Estados Unidos: *National concrete masonry association*. Obtenido de <https://www.virginiamasonry.org/architects/technical-info/ncma-tek-notes/>

NCMA. (Noviembre de 2012). *Concrete Masonry Designs*. (M. Arntson-Terrell, Ed.) Pg. 23. Obtenido de http://www.ncma-br.org/pdfs/masterlibrary/CMD_2012_Nov_Dec.pdf

Nistal Cordero, Á. F., Retana Maquena, M. J., & Ruiz, T. A. (2012). *El hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia en obra*. Madrid: *Revista tecnología y desarrollo*.

NTC-2194. (1997). *Vocabulario de términos básicos y generales de metrología*. Colombia: ICONTEC.

NTE INEN 3066. (2016). *Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 694. (2010). *Hormigón y áridos para elaborar hormigón*. Terminología. Quito, Ecuador.

NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico de los áridos, fino y grueso*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 855. (2010). *Áridos. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria(Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del arido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la maquina de los ángeles*. Quito, Ecuador.

NTE INEN 872. (2011). *Áridos para Hormigón. Requisitos*. Quito, Ecuador.

Rivera López, G. (2010). *Concreto Simple*. Colombia: Universidad del Cauca.

Rodriguez, L. A. (2007). *Metrología: Conceptos y definiciones*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

Ronald, E., Walpole, R., Sharon, M., & Keying, Y. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Pearson Educación.

Sánchez, J. L. (1983). *La Escuela de Chicago o Arquitectura vs Estructura. Catalunya*, España: Universidad Politécnica de Catalunya: ETSAB. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/>

Strike, J. (2004). *De la construcción a los proyectos: La influencia de las nuevas técnicas en el diseño arquitectónico, 1700 - 2000*. Barcelona, España: Reverté.

Tarradell, M. (1979). *La Prehistoria, nacimiento y primeras fases de la civilización*. Barcelona, España: Editorial Montaner.

Valdez, L. F., & Suárez, G. E. (2010). *Hormigones livianos*. Guayaquil, Ecuador: Tesis pregrado-ESPOL.

Wilson, H. (1981). *Agregados ligeros: propiedades, aplicaciones y perspectivas*. IMCYC, 19, 42-61. Obtenido de <http://imcyc.com/biblioteca>

Wogrin, A. (1974). *El control estadístico de la calidad en la técnica del hormigón*. *Materiales de construcción*, 24(154), 81-94.

ANEXOS

ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO ARMADURO

ANEXO 2: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 1 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 3: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 2 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 4: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 3 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUES

ANEXO 5: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 4 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 6: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 5 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 7: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 6 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 8: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MUESTRA 6, POR SEPARADO, EN LOS MATERIALES BASE (CHASQUI FINO, CHASQUI GRUESO Y POLVO)

**ANEXO 9: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
FABRICADOS POR LA BLOQUERA ARTESANAL
(DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 59.3 KG/M3
DE AGREGADO)**

ANEXO 10: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES FABRICADOS POR LA BLOQUERA ARTESANAL (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 59.3 KG/M3 DE AGREGADO)

ANEXO 11: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #1 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 12: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #2 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 13: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #3 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 14: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #4 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

ANEXO 15: DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA PRUEBA #5 EN LA FRACCIÓN FINA Y GRUESA

**ANEXO 16: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #1)**

**ANEXO 17: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #2)**

**ANEXO 18: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #3)**

**ANEXO 19: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #4)**

**ANEXO 20: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #5)**

**ANEXO 21: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #6)**

**ANEXO 22: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #7)**

**ANEXO 23: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(PRUEBA #8)**

**ANEXO 24: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(DOSIFICACIÓN MÉTODO 1 DEL ACI 211.2: 140 KG/CM²)**

**ANEXO 25: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(DOSIFICACIÓN MÉTODO 1 DEL ACI 211.2: 180 KG/CM²)**

**ANEXO 26: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(DOSIFICACIÓN MÉTODO 1 DEL ACI 211.2: 210 KG/CM²)**

**ANEXO 27: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(CONTENIDO DE CEMENTO:74.13 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 28: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(CONTENIDO DE CEMENTO:88.96 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 29: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(CONTENIDO DE CEMENTO:103.79 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 30: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(CONTENIDO DE CEMENTO:118.62 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 31: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(CONTENIDO DE CEMENTO:177.93 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 32: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
(CONTENIDO DE CEMENTO:256 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 33: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 7
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:30 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 34: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 7
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 35: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 7
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:245 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 36: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 14
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:30 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 37: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 14
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 38: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 14
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:245 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 39: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:30 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 40: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO)**

**ANEXO 41 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES A LOS 28
DÍAS (CONTENIDO DE CEMENTO:245 KG/M3 DE AGREGADO)**

ANEXO 42: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES TIPO A (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 245 KG/M3 DE AGREGADO)

ANEXO 43: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES TIPO B (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 59.6 KG/M3 DE AGREGADO)

ANEXO 44: ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD EN BLOQUES TIPO C (DOSIFICACIÓN CON CONTENIDO DE CEMENTO: 30 KG/M3 DE AGREGADO)

**ANEXO 45: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES
ELABORADOS POR OPERARIOS DE LA BLOQUERA PARA
EVALUAR REPRODUCIBILIDAD (CONTENIDO DE
CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO)**

ANEXO 46: ENSAYO DE COMPRESIÓN EN BLOQUES DE SEGUNDA FUNDICIÓN PARA EVALUAR REPETIBILIDAD (CONTENIDO DE CEMENTO:59.6 KG/M3 DE AGREGADO).