

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA CIVIL



DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

Estudio de prefactibilidad para el uso de hormigón ligero con
alto contenido de aire, como alternativa de bajo costo

AUTOR: Byron Patricio Guerra Andrade.

DIRECTOR: Ing. Xavier Castellanos

Quito, agosto 2018

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento para todas las personas que me ayudaron para alcanzar esta muy postergada meta y especialmente a mi hijo Nicolás, sin el posiblemente me habría podido tomar diez años más.

DEDICATORIA

A toda mi familia porque cada uno representa un pilar y motor desde mi madre hasta mi hijo pasando por mis hermanas y mi esposa.

Todo lo que soy ha sido posible gracias a ellos.

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'P' followed by the name 'P. P. P.' in a cursive script.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	II
TABLA DE CONTENIDOS	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
ÍNDICE DE VIDEOS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
ABSTRACT	XIV
1 CAPITULO 1 Fase de inicio.....	1
Hipótesis y planteamiento del problema.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Hipótesis.....	2
1.3 Resultados esperados	2
1.4 Análisis de costos previo.....	4
1.5 Gestión de riesgos	6
1.6 Definiciones	7
1.6.1 Proyecto	7
1.6.2 Gestión o administración de proyectos	8
1.6.3 Competitividad.....	8
1.6.4 Innovación	8
1.6.5 Hormigón.....	9
1.6.6 Hormigón liviano.....	9
2 CAPITULO 2 Fase de planeación.....	13
Objetivos, definición del alcance y procedimientos operacionales	13
2.1 INTRODUCCIÓN.....	13
ANTECEDENTES	14
2.2 OBJETIVOS	15
2.2.1 Objetivo general	15
2.2.2 Objetivo específico.....	15
2.3 METODOLOGÍA.....	16
2.4 ALCANCE	18
2.5 GESTIÓN DE RIESGOS	18

2.6	CADENA DE PROVISIÓN	24
2.7	PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES	26
2.7.1	Fase previa.....	26
2.7.2	Fase 1. Caracterización de agregados	26
2.7.3	Fase 2. Ensayo industrial.....	27
2.7.4	Fase 3. Ensayos a probetas	29
3	CAPITULO 3 Fase de ejecución.....	31
	Diseños y preparación de muestras.....	31
3.1	Fase previa.....	31
3.1.1	<i>Ensayo de expansión</i>	31
3.1.2	<i>Ensayo de comparación</i>	34
3.1.3	<i>Ensayo con hormigón</i>	37
3.1.4	<i>Registros</i>	40
3.1.5	Conclusiones.....	42
3.2	Fase 1. <i>Caracterización de agregados</i>	47
3.2.1	Abrasión	47
3.2.2	Granulometría.....	48
3.2.3	Gravedad específica y absorción.....	51
3.2.4	Materia orgánica.....	54
3.2.5	Material que pasa el tamiz 200	56
3.2.6	Peso unitario.....	58
3.2.7	<i>Diseño teórico de hormigón</i>	61
3.2.8	<i>Conclusiones</i>	62
3.3	Fase 2. Ensayo industrial.....	63
3.4	Fase 3. Ensayo a probetas	68
3.4.1	Resistencia a la compresión	69
3.4.2	Resistencia a la flexión	71
3.4.3	Tracción indirecta	71
3.4.4	Módulo de elasticidad	72
3.4.5	Peso Específico o densidad.....	72
4	CAPITULO 4 Fase seguimiento y control.....	73
	Ensayos de laboratorio, obtención y discusión de resultados	73
4.1	Fase Previa	73
4.2	Fase 1. Caracterización de materia prima	74
4.2.1	Abrasión	74
4.2.2	Granulometría.....	75
4.2.3	Gravedad específica y absorción.....	78

4.2.4	Materia Orgánica	80
4.2.5	Material que pasa el tamiz #200	82
4.2.6	Peso Unitario	85
4.2.7	Diseño teórico de hormigón	87
4.3	Fase 2. Ensayo industrial.....	88
4.4	Fase 3. Ensayo a probetas	89
5	CAPITULO 5 Cierre.	101
	Evaluación de la hipótesis, conclusiones y recomendaciones.....	101
	Fase 2. Ensayo industrial.....	106
	OTRAS NORMAS APLICABLES	108
	Referencias	112

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 INECYC COMERCIALIZACIÓN DE CEMENTO	5
TABLA 2 CALCULO VOLUMEN DE HORMIGÓN PRODUCIDO	6
TABLA 3 MATRIZ DE RIESGOS	6
TABLA 4 CLASIFICACIÓN DE RIESGO.....	19
TABLA 5 MATRIZ VALORACIÓN DE RIESGOS	19
TABLA 6 MATRIZ DE RIESGOS	20
TABLA 7 CANTIDAD DE PROBETAS PARA MUESTREO Y ENSAYO.....	28
TABLA 8 PRECIO DE ALUMINIO Y REACCIÓN	32
TABLA 9 MUESTRAS DE ALUMINIO	32
TABLA 10 RESUMEN DE ENSAYOS PREVIOS DE EXPANSIÓN – MAR 2018.....	36
TABLA 11 REACCIÓN DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO	42
TABLA 12 ABRASIÓN.....	47
TABLA 13 GRANULOMETRÍA ARENA SAN ANTONIO	48
TABLA 14 GRANULOMETRÍA ARENA PIFO.....	49
TABLA 15 GRANULOMETRÍA RIPIO 10.....	50
TABLA 16 GRAVEDAD ESPECIFICA SAN ANTONIO	51
TABLA 17 GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA PIFO	52
TABLA 18 GRAVEDAD ESPECIFICA RIPIO 10	53
TABLA 19 CONTENIDO ORGÁNICO ARENA SAN ANTONIO.....	54
TABLA 20 CONTENIDO ORGÁNICO ARENA PIFO	55
TABLA 21 MATERIAL PASA #200 SAN ANTONIO	56
TABLA 22 MATERIAL PASA #200 PIFO	57
TABLA 23 PESO UNITARIO ARENA SAN ANTONIO	58
TABLA 24 PESO UNITARIO ARENA PIFO.....	59
TABLA 25 PESO UNITARIO RIPIO 10	60
TABLA 26 DOSIFICACIÓN PUCE	61
TABLA 27 DOSIFICACIÓN EQUINOCCIAL	61
TABLA 28 CANTIDAD DE PROBETAS PARA MUESTREO Y ENSAYO	65
TABLA 29 CONSUMO DE HORMIGÓN Y ÓXIDO DE ALUMINIO PARA CADA TOMA	66
TABLA 30 RESISTENCIA A LOS 7 DÍAS	69
TABLA 31 RESISTENCIA A LOS 28 DÍAS	70
TABLA 32 RESISTENCIA A LOS 14 DÍAS	70
TABLA 33 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	71
TABLA 34 RESISTENCIA TRACCIÓN INDIRECTA	71
TABLA 35 CALCULO MODULO DE ELASTICIDAD	72
TABLA 36 CALCULO PESO ESPECÍFICO / DENSIDAD	72
TABLA 37 RESISTENCIA A COMPRESIÓN 7 DÍAS	73
TABLA 38 ABRASIÓN RIPIO 10MM.....	74
TABLA 39 GRANULOMETRÍA ARENA SAN ANTONIO	75
TABLA 40 GRANULOMETRÍA ARENA PIFO	76
TABLA 41 GRANULOMETRÍA RIPIO 10.....	77
TABLA 42 Gs SAN ANTONIO MEZCLA	78
TABLA 43 Gs PIFO MEZCLA	78
TABLA 44 Gs MEZCLA	79
TABLA 45 GRAVEDAD ESPECIFICA RIPIO 10	79
TABLA 46 CONTENIDO ORGÁNICO SAN ANTONIO	80
TABLA 47 CONTENIDO ORGÁNICO PIFO	81

TABLA 48 PASA #200 SAN ANTONIO	82
TABLA 49 PASA #200 PIFO	82
TABLA 50 PASA #200 MEZCLA	83
TABLA 51 LIMITES AGREGADO FINO	83
TABLA 52 MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200	83
TABLA 53 PESO UNITARIO PIFO MEZCLA	85
TABLA 54 PESO UNITARIO SAN ANTONIO MEZCLA.....	85
TABLA 55 PESO UNITARIO MEZCLA.....	86
TABLA 56 PESO UNITARIO RIPIO 10.....	86
TABLA 57 DOSIFICACIÓN PUCE	87
TABLA 58 DOSIFICACIÓN EQUINOCCIAL.....	87
TABLA 59 CONSUMO DE HORMIGÓN Y ÓXIDO DE ALUMINIO PARA CADA TOMA.....	88
TABLA 60 REAJUSTE DEL PORCENTAJE DE ALUMINIO	88
TABLA 61 RESISTENCIA A COMPRESIÓN 7 DÍAS.....	89
TABLA 62 RESISTENCIA A COMPRESIÓN 14 DÍAS.....	90
TABLA 63 RESISTENCIA A COMPRESIÓN 28 DÍAS.....	91
TABLA 64 RESISTENCIA A FLEXIÓN 28 DÍAS	93
TABLA 65 RESISTENCIA A TRACCIÓN 28 DÍAS.....	94
TABLA 66 MODULO DE ELASTICIDAD	95
TABLA 67 DENSIDAD DE LAS PROBETAS A LOS 28 DÍA.....	97
TABLA 68 MATRIZ DE RIESGOS.....	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ILUSTRACIÓN 1 CIRCUITO IDEAL	1
ILUSTRACIÓN 2 CIRCUITO CON TRÁFICO	1
ILUSTRACIÓN 3 PROYECTO.....	7
ILUSTRACIÓN 4 AGENTE ESPUMANTE.....	9
ILUSTRACIÓN 5 AGREGADO LIGERO (PÓMEZ)	10
ILUSTRACIÓN 6 MEZCLA DE HORMIGÓN DISCONTINUA	10
ILUSTRACIÓN 7 ALUMINIO EN POLVO	11
ILUSTRACIÓN 8 HORMIGÓN CELULAR	11
ILUSTRACIÓN 9 HORMIGÓN CELULAR	11
ILUSTRACIÓN 10 MEZCLA DE HORMIGÓN DISCONTINUA	14
ILUSTRACIÓN 11 MEZCLA CONTINUA	15
ILUSTRACIÓN 12 ROMBO DE SEGURIDAD ALUMINIO (TRADUCCIÓN)	21
ILUSTRACIÓN 13 ROMBO DE SEGURIDAD ALUMINIO	21
ILUSTRACIÓN 14 ENSAYO PREVIO CONSUMO DE AGUA -OCT 2017.....	21
ILUSTRACIÓN 15 TEMPERATURA DE LA MEZCLA -OCT 2017.....	22
ILUSTRACIÓN 16 PRECIO DEL ÓXIDO DE ALUMINIO EN CHINA.....	24
ILUSTRACIÓN 17 PAÍSES PRODUCTORES DE ALUMINIO.....	25
ILUSTRACIÓN 18 CANTIDAD DE CILINDROS ACI	27
ILUSTRACIÓN 19 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EJECUCIÓN	29
ILUSTRACIÓN 20 ENSAYO PREVIO DE EXPANSIÓN - SEP. 2017	31
ILUSTRACIÓN 21 MUESTRAS DE ALUMINIO	32
ILUSTRACIÓN 22 MUESTRAS DE ALUMINIO	33
ILUSTRACIÓN 23 ENSAYO PREVIO DE EXPANSIÓN – SEP. 2017.....	33
ILUSTRACIÓN 24 ENSAYO PREVIO DE EXPANSIÓN FALLIDOS – SEP. 2017	34
ILUSTRACIÓN 25 FABRICACIÓN DE MOLDES - FEB 2018.....	34
ILUSTRACIÓN 26 FABRICACIÓN DE MOLDES - FEB 2018.....	34
ILUSTRACIÓN 27 FABRICACIÓN DE MOLDES – FEB 2018	34
ILUSTRACIÓN 28 ENSAYO PREVIO PARA COMPARAR EXPANSIÓN - FEB 2018.....	35
ILUSTRACIÓN 29 MUESTRAS EN CUARTO DE CURADO – FEB 2018.....	35
ILUSTRACIÓN 30 CILINDRO FRACTURADO POR EL PESO PROPIO – MAR 2018.....	38
ILUSTRACIÓN 31 FASE PREVIA PROBETAS DE HORMIGÓN – MAR 2018.....	38
ILUSTRACIÓN 32 CILINDRO DESENCOFRADO 48 HORAS – MAR 2018.....	39
ILUSTRACIÓN 33 ENSAYO PREVIO TEMPERATURA – OCT 2017.....	40
ILUSTRACIÓN 34 TEMPERATURA EN ENSAYO PREVIO - MAR 2018	40
ILUSTRACIÓN 35 ENSAYO PREVIO CONSUMO DE AGUA – OCT 2017.....	41
ILUSTRACIÓN 36 BAJA RESISTENCIA INICIA – MAR 2018.....	41
ILUSTRACIÓN 37 ESQUEMA TEÓRICO DE LA REACCIÓN	44
ILUSTRACIÓN 38 ESQUEMA HIDRATACIÓN.....	46
ILUSTRACIÓN 39 AMBIENTE CONTROLADO	63
ILUSTRACIÓN 40 HORMIGONERA EQUINOCCIAL – MAR 2018	63
ILUSTRACIÓN 41 ESQUEMA DE PORCENTAJES A USAR.....	64
ILUSTRACIÓN 42 ESQUEMA RECORRIDO ENSAYO INDUSTRIAL	67
ILUSTRACIÓN 43 PROBETAS EN CUARTO DE CURADO – ABR 2018.....	67
ILUSTRACIÓN 44 PROBETAS EN EL CUARTO DE CURADO – ABR 2018	67
ILUSTRACIÓN 45 CILINDROS PREPARADOS – MAY 2018	68
ILUSTRACIÓN 46 CILINDROS A PREPARAR – MAY 2018.....	68
ILUSTRACIÓN 47 VIGUETAS A PREPARAR – MAY 2018.....	68

ILUSTRACIÓN 48 VIGUETAS PREPARADAS – MAY 2018.....	68
ILUSTRACIÓN 49 ESQUEMA REAL DE REACCIONES	104
ILUSTRACIÓN 50 ESTRUCTURA INTERNA HORMIGÓN LIGERO.....	104
ILUSTRACIÓN 51 ESQUEMA DEL CIRCUITO DE EJECUCIÓN.....	105

ÍNDICE DE VIDEOS

VIDEO 1 REACCIÓN AL + FE	19
VIDEO 2 IMPRESIÓN DE CASAS.....	23
VIDEO 3 IMPRESIÓN DE CASAS.....	23
VIDEO 4 PROCESO EXTRACCIÓN POLVO DE ALUMINIO – NOV 2017.....	37
VIDEO 5 DISEÑO MEZCLA DE HORMIGÓN – MAR 2018	37
VIDEO 6 TOMA DE MUESTRAS – MAR 2018.....	37
VIDEO 7 AUMENTO DE TEMPERATURA – MAR 201	40
VIDEO 8 TAMIZADO Y PESAJE – MAR 2018	66
VIDEO 9 CIRCUITO 2	67
VIDEO 10 CIRCUITO 1	67
VIDEO 11 PREPARACIÓN DE VIGAS – MAY 2018	68
VIDEO 12 ENSAYO FLEXIÓN VIDEO 13 PREPARACIÓN DE VIGAS	68
VIDEO 14 PREPARACIÓN DE CILINDROS – MAY 2018.....	68
VIDEO 15 ENSAYO DE COMPRESIÓN - MAY 2018	70
VIDEO 16 ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	70
VIDEO 17 ENSAYO FLEXIÓN – MAY 2018.....	71
VIDEO 18 ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA – MAY 2018.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 MSDS ALUMINIO EN POLVO	19
ANEXO 2 ASTM C131 C131M-14	47
ANEXO 3 ABRASIÓN GRAVA PUCE	47
ANEXO 4 ASTM C136 C136M-14	48
ANEXO 5 GRANULOMETRÍA SAN ANTONIO PUCE	48
ANEXO 6 GRANULOMETRÍA SAN ANTONIO EQUINOCCIAL	48
ANEXO 7 ASTM C136 C136M-14	49
ANEXO 8 GRANULOMETRÍA PIFO PUCE	49
ANEXO 9 GRANULOMETRÍA PIFO EQUINOCCIAL	49
ANEXO 10 ASTM C136 C136M-14	50
ANEXO 11 GRANULOMETRÍA GRAVA PUCE	50
ANEXO 12 GRANULOMETRÍA GRAVA EQUINOCCIAL	50
ANEXO 13 ASTM C128 - 15	51
ANEXO 14 GRAVEDAD ESPECIFICA SAN ANTONIO PUCE	51
ANEXO 15 GRAVEDAD ESPECIFICA SAN ANTONIO EQUINOCCIAL	51
ANEXO 16 ASTM C128 - 15	52
ANEXO 17 GRAVEDAD ESPECIFICA PIFO PUCE	52
ANEXO 18 GRAVEDAD ESPECIFICA PIFO EQUINOCCIAL	52
ANEXO 19 ASTM C127 - 15	53
ANEXO 20 GRAVEDAD ESPECIFICA GRAVA PUCE	53
ANEXO 21 GRAVEDAD ESPECIFICA GRAVA EQUINOCCIAL	53
ANEXO 22 ASTM C40 C40M - 16	54
ANEXO 23 CONTENIDO ORGÁNICO SAN ANTONIO PUCE	54
ANEXO 24 CONTENIDO ORGÁNICO SAN ANTONIO EQUINOCCIAL	54
ANEXO 25 ASTM C40 C40M - 16	55
ANEXO 26 CONTENIDO ORGÁNICO PIFO PUCE	55
ANEXO 27 CONTENIDO ORGÁNICO PIFO EQUINOCCIAL	55
ANEXO 28 ASTM C117 - 13	56
ANEXO 29 MATERIAL PASA #200 SAN ANTONIO PUCE	56
ANEXO 30 MATERIAL PASA #200 SAN ANTONIO EQUINOCCIAL	56
ANEXO 31 ASTM C117 - 13	57
ANEXO 32 MATERIAL PASA #200 PIFO PUCE	57
ANEXO 33 MATERIAL PASA #200 PIFO PUCE	57
ANEXO 34 ASTM C29 C29M-17	58
ANEXO 35 PESO UNITARIO PUCE	58
ANEXO 36 PESO UNITARIO EQUINOCCIAL	58
ANEXO 37 ASTM C29 C29M - 17	59
ANEXO 38 PESO UNITARIO PIFO PUCE	59
ANEXO 39 PESO UNITARIO PIFO PUCE	59
ANEXO 40 ASTM C29 C29M - 17	60
ANEXO 41 PESO UNITARIO GRAVA PUCE	60
ANEXO 42 PESO UNITARIO GRAVA PUCE	60
ANEXO 43 PESO UNITARIO GRAVA PUCE	60
ANEXO 44 PESO UNITARIO GRAVA EQUINOCCIAL	60
ANEXO 45 DOSIFICACIÓN PUCE	61
ANEXO 46 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL ENSAYO INDUSTRIAL – MAR 2018	66
ANEXO 47 DATOS COMPRESIÓN 7 DÍAS	69
ANEXO 48 ASTM C39 C39 - 15	69

ANEXO 49 DATOS COMPRESIÓN 14 DÍAS.....	70
ANEXO 50 ASTM C39 C39 -15A.....	70
ANEXO 51 DATOS COMPRESIÓN 28 DÍAS.....	70
ANEXO 52 ASTM C39 C39 - 15A.....	70
ANEXO 53 DATOS FLEXIÓN 28 DÍAS.....	71
ANEXO 54 ASTM C78 - 16.....	71
ANEXO 55 DATOS TRACCIÓN INDIRECTA 28 DÍAS.....	71
ANEXO 56 ASTM C496 C496M - 11.....	71
ANEXO 57 CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN.....	72
ANEXO 58 INFORME LABORATORIO RESISTENCIA COMPRESIÓN 7 DÍAS.....	73
ANEXO 59 ASTM C39 C39 - 15A.....	73
ANEXO 60 ASTM C131 C131M - 14.....	74
ANEXO 61 INFORME LABORATORIO ABRASIÓN GRAVA.....	74
ANEXO 62 ASTM C136 C136M - 14.....	75
ANEXO 63 INFORME GRANULOMETRÍA PUCE.....	75
ANEXO 64 INFORME GRANULOMETRÍA EQUINOCCIAL.....	75
ANEXO 65 ASTM C136 C136M - 14.....	76
ANEXO 66 INFORME GRANULOMETRÍA PUCE.....	76
ANEXO 67 INFORME GRANULOMETRÍA EQUINOCCIAL.....	76
ANEXO 68 ASTM C136 C136M - 14.....	77
ANEXO 69 INFORME GRANULOMETRÍA PUCE.....	77
ANEXO 70 INFORME GRANULOMETRÍA EQUINOCCIAL.....	77
ANEXO 71 ASTM C128 - 15.....	78
ANEXO 72 INFORME GS PUCE.....	78
ANEXO 73 INFORME GS EQUINOCCIAL.....	78
ANEXO 74 ASTM C128 - 15.....	78
ANEXO 75 INFORME GS PUCE.....	78
ANEXO 76 INFORME GS EQUINOCCIAL.....	78
ANEXO 77 ASTM C128 - 15.....	79
ANEXO 78 ASTM C127 - 15.....	79
ANEXO 79 INFORME GS PUCE.....	79
ANEXO 80 INFORME GS EQUINOCCIAL.....	79
ANEXO 81 ASTM C40 C40M - 16.....	80
ANEXO 82 INFORME CONTENIDO ORGÁNICO PUCE.....	80
ANEXO 83 INFORME CONTENIDO ORGÁNICO EQUINOCCIAL.....	80
ANEXO 84 ASTM C40 C40M - 16.....	81
ANEXO 85 INFORME CONTENIDO ORGÁNICO PUCE.....	81
ANEXO 86 INFORME CONTENIDO ORGÁNICO EQUINOCCIAL.....	81
ANEXO 87 ASTM C117 - 13.....	82
ANEXO 88 INFORME PASA #200 PUCE.....	82
ANEXO 89 INFORME PASA #200 EQUINOCCIAL.....	82
ANEXO 90 ASTM C117 - 13.....	82
ANEXO 91 INFORME PASA #200 PUCE.....	82
ANEXO 92 INFORME PASA #200 EQUINOCCIAL.....	82
ANEXO 93 ASTM C117 - 13.....	83
ANEXO 94 ASTM C29 C29M - 17.....	85
ANEXO 95 INFORME PESO UNITARIO PUCE.....	85
ANEXO 96 INFORME PESO UNITARIO EQUINOCCIAL.....	85
ANEXO 97 ASTM C29 C29M - 17.....	85
ANEXO 98 INFORME PESO UNITARIO PUCE.....	85

ANEXO 99 INFORME PESO UNITARIO EQUINOCCIAL.....	85
ANEXO 100 ASTM C29 C29M - 17	86
ANEXO 101 ASTM C29 C29M - 17	86
ANEXO 102 INFORME PESO UNITARIO PUCE	86
ANEXO 103 INFORME PESO UNITARIO EQUINOCCIAL.....	86
ANEXO 104 INFORME DOSIFICACIÓN PUCE	87
ANEXO 105 INFORME COMPRESIÓN 7 DÍAS PUCE	89
ANEXO 106 ASTM C39 C39 - 15A	89
ANEXO 107 INFORME COMPRESIÓN 14 DÍAS PUCE	90
ANEXO 108 ASTM C39 C39 - 15A	90
ANEXO 109 INFORME COMPRESIÓN 28 DÍAS PUCE	91
ANEXO 110 ASTM C39 C39 - 15A	91
ANEXO 111 INFORME FLEXIÓN PUCE.....	93
ANEXO 112 ASTM C78 C78M - 16	93
ANEXO 113 INFORME TRACCIÓN INDIRECTA PUCE.....	94
ANEXO 114 ASTM C496 C496M - 11	94
ANEXO 115 MODULO DE ELASTICIDAD.....	95
ANEXO 116 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL ENSAYO INDUSTRIAL – MAR 2018.....	106
ANEXO 117 ASTM C567	108
ANEXO 118 ASTM C226	108
ANEXO 119 ASTM C260 - 06.....	108
ANEXO 120 AASHTO T176	108
ANEXO 121 ASTM C29 C29M - 17	108
ANEXO 122 ASTM C40 C40M - 16	109
ANEXO 123 ASTM C88 - 13	109
ANEXO 124 ASTM C117 - 13.....	109
ANEXO 125 ASTM C123 - 14.....	109
ANEXO 126 ASTM C127 - 15.....	109
ANEXO 127 ASTM C131 - 14.....	109
ANEXO 128 ASTM C136 - 14.....	110
ANEXO 129 ASTM C142 – 17.....	110
ANEXO 130 ASTM C535 - 16.....	110
ANEXO 131 ASTM C566 - 13.....	110
ANEXO 132 ASTM D4791 - 10.....	110
ANEXO 133 ASTM C128 - 15.....	110
ANEXO 134 ASTM D5821 - 13.....	111
ANEXO 135 NTE INEN 85 5 2010.....	111
ANEXO 136 NTE INEN 862 2011.....	111
ANEXO 137 NTE INEN 864 1982.....	111

ABSTRACT

El propósito de este trabajo de titulación es profundizar en la investigación de un procedimiento de la mezcla de hormigón, que se ha mantenido sin mayores alteraciones desde el año 1848, año en el que fue presentado el hormigón al mundo por Joseph Louis Lambot.

El objetivo es llegar a determinar la viabilidad de la idea que generó esta tesis, que fue el poder convertir un metro cúbico de hormigón de alta resistencia en dos metros cúbicos de resistencia normal.

Basado en investigaciones previas sobre hormigón ligero y celular, se determina la mejor alternativa para incluir aire en el interior y aumentar el volumen, se escogió el óxido de aluminio o aluminio en polvo y de forma experimental se encontrará la relación que existe entre el aumento de volumen y la pérdida de resistencia.

Por la dificultad que presentó conseguir derivados de aluminio en Ecuador y su alto precio comparados con países como China, se reformuló el alcance para reemplazarlo por desechos de aluminio a los que se les realizó varios ensayos pudiendo alcanzar resultados muy similares. Por otro lado, se está ayudando al planeta al reciclar o gestionar un desecho que en polvo se puede considerar peligroso.

También se establecerá un procedimiento para ensayos industriales de hormigón, que se podrá estandarizar para realizar ensayos que reflejen de mejor manera las características del hormigón fabricado en planta y transportado con mixers.

Por último, se analizará los costos de esta idea para determinar si es rentable, para que pueda ser implementada y si se debería continuar investigando las demás características e interacciones con la estructura para poder llegar a usarla cotidianamente.

Se realizaron varias pruebas para determinar las resistencias del hormigón a: compresión, tracción indirecta y flexión para determinar la relación que existe entre el incremento de volumen y pérdida de resistencia.

Al revisar los datos y tendencias se determina que la posibilidad de transformar un (1) metro cúbico de hormigón de alta resistencia en dos (2) de resistencia normal es muy poco probable, pero por otra parte se tiene un estudio muy detallado de cómo se comporta el hormigón al entrar en contacto con el aluminio.

Esta investigación debería ser complementada con un análisis de este material curado en un autoclave y a mayores edades porque se puede ver que la curva de evolución de resistencia mantiene una pendiente creciente mientras el hormigón común ya presenta un estancamiento en la resistencia.

1 CAPITULO 1 FASE DE INICIO.

Comentado [BG1]: Escoger INICIALIZACIÓN o LA IDEA

HIPÓTESIS Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las ventas de las empresas comercializadoras de hormigón premezclado han sido afectadas por la logística más específicamente por el tráfico de la ciudad de Quito. Debido a esto, es necesario contar con un mayor número de camiones mezcladores y éstos tardan más en llegar a los frentes de obra y demoran más en volver para completar el ciclo de transporte de mezcla.

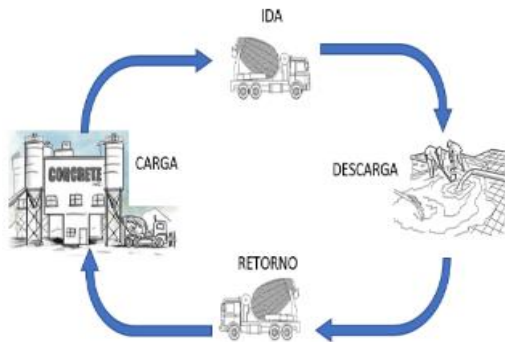


Ilustración 1 Circuito Ideal

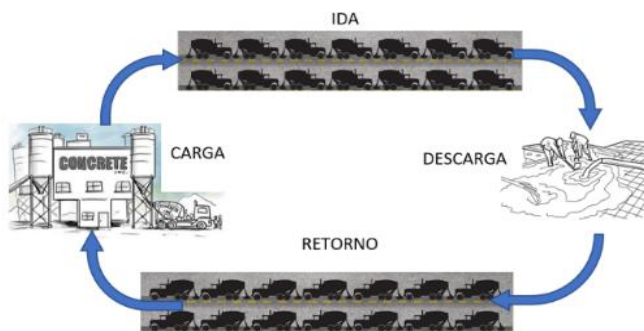


Ilustración 2 Circuito con tráfico

1.2 HIPÓTESIS

La hipótesis planteada es innovar un procedimiento para transportar un volumen mayor al envase que los contiene, para esto se emplearan los principios del hormigón celular o ligero para incorporar aire en la mezcla del hormigón.

Para incluir aire en el hormigón existen cuatro métodos que se han utilizado desde 1923:

Métodos para conseguir hormigón ligero

Agente
espumante

Agregado
ligero

Granulometría
condicionada

Óxido de
aluminio

De estas opciones el óxido de aluminio fue la opción escogida porque no afectaría a la relación agua-cemento, que está relacionada directamente con la resistencia, no así el agente espumante que tiene agua, y su aplicación es posible realizarla en obra de manera muy simple comparada con la utilización de agregado ligero o granulometría condicionada que requeriría de varios ensayos para categorizar las piedras Pómez o Grava respectivamente, luego diseñar la mejor mezcla y por último con cualquier otro método igual se transportaría el volumen total.

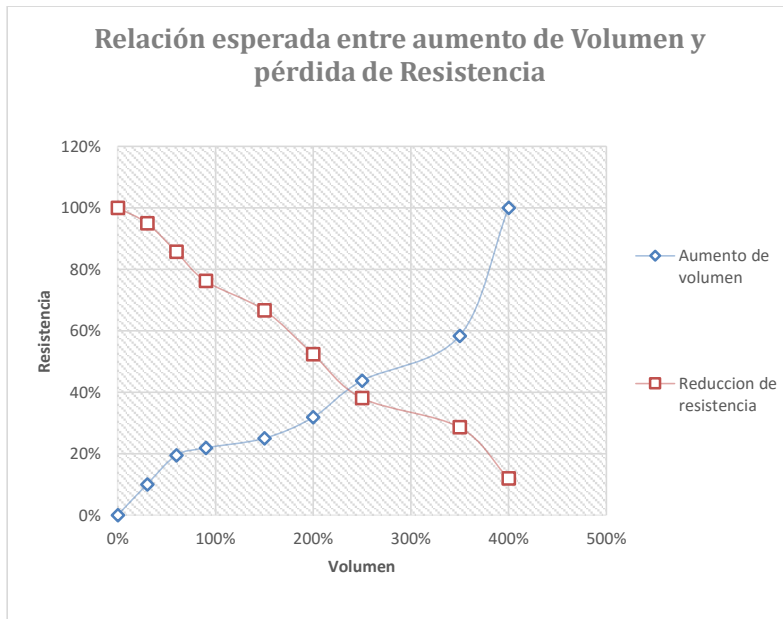
Se plantea el uso de aluminio (Al) para incluir aire en la mezcla de hormigón, haciendo posible, incrementar el volumen, asumiendo que estas reacciones son independientes, sin cambiar las cantidades de las materias primas de la mezcla, y perdiendo la menor resistencia posible. De tal forma que, al innovar este procedimiento sea posible entregar un volumen mayor al envase que lo transporta.

1.3 RESULTADOS ESPERADOS

Al no haber encontrado un estudio que relacione el hormigón simple con la incorporación de óxido de aluminio o aluminio en polvo para aumentar su volumen esta tesis será el primer paso para la caracterización de este nuevo material, primero con un análisis para determinar el porcentaje óptimo aluminio que se puede agregar, para maximizar el esponjamiento y minimizar la pérdida de resistencia.

Se sabe de ante mano que la resistencia del hormigón se reducirá porque el aire no aportará a la resistencia y además el espacio ocupado por este reducirá el área efectiva en la sección de análisis, para continuar con la investigación y pensando que todos los materiales tienen una parte que se comportan proporcionalmente, aquí se formula la otra

hipótesis y es que la relación aumento de volumen y pérdida de resistencia serán linealmente dependientes, es decir, que cuando el volumen se duplique se espera que la resistencia sea la mitad.



Gráfica 1 Relación entre aumento de volumen y pérdida de resistencia (esperado)

Por otra parte, se realizará ensayos a los agregados empleados para poder verificar la calidad de la materia prima y comparar la dosificación teórica con la utilizada por la hormigonera, que se empleará en la fabricación de las probetas de hormigón.

Para terminar con este resumen, no importa lo buena que sea una idea, si esta no es rentable nunca se ejecutara, es por eso que se analizará la rentabilidad de esta idea con un muy básico análisis de costos para demostrar que el margen de ganancia aumentará significativamente en relación al hormigón convencional.

Entre los principales beneficios u oportunidades para la aplicación de esta solución serian:



Las grandes ciudades que presenten problemas de tráfico.



Obras donde no existen canteras o minas de materiales pétreos; solo se debería transportar la mitad de materiales pétreos de lugares distantes.



En un análisis previo se calculó que las ganancias de las empresas que comercializan hormigón premezclado pasarían del 10 % al 45% aproximadamente.



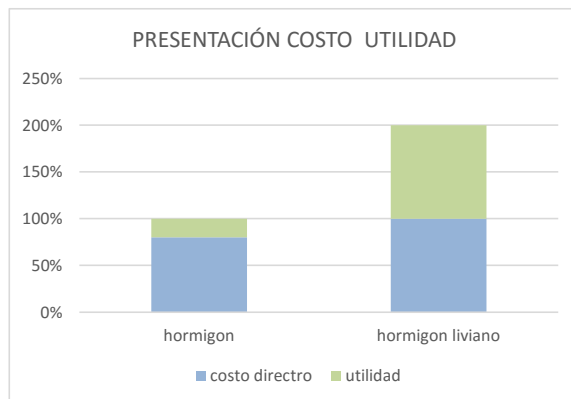
Para los diseñadores habrá un beneficio y es que tendrían un material que resiste lo mismo que el hormigón tradicional, pero con la mitad del peso propio.



También, tomando en cuenta que la fuerza sísmica está en función del peso de la estructura, estas serían menos vulnerables a los sismos

1.4 ANÁLISIS DE COSTOS PREVIO

La diferencia de precios entre un hormigón de alta resistencia y uno normal es de apenas un 20%, y tomando en cuenta que se podría vender en sitio el doble del volumen se tendría una ganancia extra del 40% (80% en 2 volúmenes).



Grafica 2 Relación Costo - Utilidad (esperado)

Suponiendo que las hormigoneras manejan una margen de utilidad del 10% ahora podrían llegar a valores superiores al 45%, con este incremento en la rentabilidad se ve innecesario el cálculo del ahorro en tiempos y depreciación de vehículos, como la ley de Pareto dice: controlando el 20% más importante se solucionará el 80% de los problemas, que cuando más al final sumaran un par de puntos porcentuales.

Ahora se estimará el tamaño de este negocio, debido a que no existen cifras reales de la producción de hormigón premezclado, se estimará a partir de su principal componente el cemento, el volumen de cemento que se ha comercializado en el país como se muestra en las estadísticas de la tabla a continuación.

COMERCIALIZACIÓN DE CEMENTO GRIS EN EL ECUADOR COMERCIALIZACIÓN HISTÓRICA ANUAL POR EMPRESA

Toneladas métricas

Fuente: Instituto Ecuatoriano de la Construcción Conforme a Oficio N° MIPRO-SC-2011-0177-SC

AÑO	EMPRESA				IMPORTADO (*)	TOTAL CEMENTO
	HOLCIM	LAFARGE	GUAPAN	CHIMBORAZO		
2000	1.657.790	569.288	316.794	200.638	5.700	2.750.210
2001	1.937.572	614.311	289.981	233.369	21.450	3.096.683
2002	2.033.455	627.406	302.299	247.521	44.782	3.255.463
2003	1.947.597	634.070	332.028	242.586	26.884	3.183.165
2004	2.192.185	640.866	404.200	232.819	8.100	3.478.170
2005	2.422.542	665.644	392.352	234.962	0	3.715.500
2006	2.754.605	731.812	424.720	229.871	0	4.141.008
2007	3.019.218	788.947	410.935	227.561	409	4.447.070
2008	3.336.146	954.714	416.775	283.540	74	4.991.249
2009	3.480.298	1.061.221	430.931	346.485	0	5.318.935
2010	3.328.877	1.176.458	432.966	348.824	0	5.287.125
2011	3.614.755	1.313.075	430.868	345.989	0	5.704.687
2012	3.915.512	1.346.059	442.962	327.823	0	6.032.356

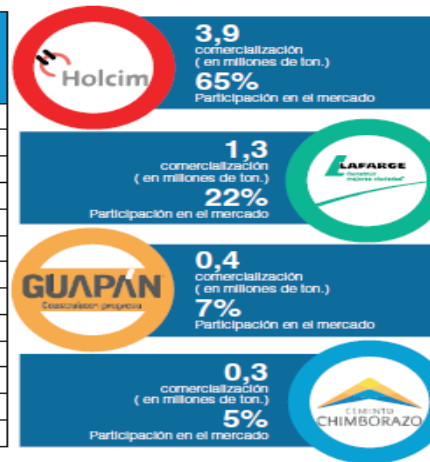


Tabla 1 INECYC Comercialización de cemento

(INECYC, inecyc, 2017)

En esta tabla se puede apreciar que en 2012 se comercializo 6'000.000 ton de cemento, para ser un poco conservador en las estimaciones, se asumirá de la siguiente manera, suponiendo que un 25% de este volumen fue premezclado en plantas de hormigón, que 20 sacos equivalen a una tonelada y usaron 8 sacos por metro cúbico, habrían producido 3,75 millones de metros cúbicos de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ colocado un precio de \$100 usd. El monto comercializado habría sido superior a 375 millones de dólares.

6.000.000,00	t
25	%
1.500.000,00	t
30.000.000,00	qq
3.750.000,00	m ³
\$100,00	
\$375.000.000,00	

Tabla 2 Calculo volumen de hormigón producido

Si a esto se relaciona con el porcentaje de utilidad esperado las ganancias de estas empresas podrían pasar de 37 millones a más de 168 millones solo en Ecuador.

1.5 GESTIÓN DE RIESGOS

Este último punto es uno de los más importantes porque se trabajará sobre un proyecto con muchas incertidumbres y con químicos que presentan riesgos o peligros potenciales.

Estos serán evaluados más detenidamente más adelante en la etapa de planeación, por el momento los riesgos que han sido tomados de la ficha de datos de seguridad o más conocida como Material Safety Data Sheet (MSDS) y relacionados con la probabilidad de ocurrencia e impacto al proyecto.

Identificación	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Riesgo de detonación	3	3	9
Riesgo de ignición	3	3	9
Riesgo de envenenamiento	3	3	9

Tabla 3 Matriz de riesgos

1.6 DEFINICIONES

1.6.1 Proyecto

Un proyecto antes de llegar a materializarse pasa por algunas etapas:

- **Perfil**, Se elabora en base a una idea y se sustenta solo en la experiencia.
- **Prefactibilidad**, En esta fase se empieza a buscar información sobre el tema para generar alternativas, procedimientos y costos estimados de inversión como gastos de operación e ingresos.
- **Factibilidad**, En esta fase se realizan ensayos y/o diseños específicos para el proyecto, la subjetividad es mínima comparada con las fases anteriores, el análisis financiero y económico da una aproximación muy buena para la construcción y operación.
- **Inversión**, Se puede clasificar en 3 tipos:
 - **Activos fijos**, Se refiere a terrenos, locales, casas, equipos, muebles, vehículos, etc.
 - **Activos Intangibles**, Se refiere a patentes, marca.
 - **Capital**, El dinero que se necesitara para la liquidez.
- **Operación**, Esta es la última fase en un proyecto debido a que todos los análisis y diseños se han realizado y evaluado para demostrar su viabilidad, se considera en operación cuando entra en funcionamiento y atiende a cliente.



Ilustración 3 Proyecto

(OBS Busines School, 2018)

1.6.2 Gestión o administración de proyectos

Esta definición será basada en el modelo del instituto de gerencia de proyectos o Project Management Institute (PMI), por ser el modelo de gestión más usado y probado en este momento además de basarse en las buenas prácticas para gestionar un proyecto.

Gestión o administración de proyectos es el conjunto de actividades como: planificar, ejecutar, controlar, operación & mantenimiento y cierre, que se realizan en la vida de un proyecto para terminarlo en un tiempo, con un presupuesto y calidad determinada. Para facilitar su concepción y control se lo puede dividir en fase o etapas como son:

- **INICIACIÓN** A partir de una idea se empieza a estudiar y generar un proyecto donde se define un objetivo, la estrategia, involucrados y se estimará un alcance, una calidad, un procedimiento, una gestión de riesgos, un tiempo.
- **PLANIFICACIÓN** En esta fase primero se desglosa gradualmente el proyecto en todas las tareas Estructura de Desglose de Tareas (EDT) o Work Breakdown Structure (WBS) hasta llegar a los paquetes de trabajo y luego a actividades o entregables. En esta etapa se definirá claramente el objetivo y se trabajará en la gestión de: tiempo, costos, compras, riesgos, comunicación y recursos humanos.
- **EJECUCIÓN** Esta fase es la puesta en marcha del proyecto, donde se verá reflejado el buen o mal trabajo de planeación, en esta fase es primordial la comunicación para definir prioridades y coordinar recursos.
- **CONTROL** Esta fase se centrará en el monitoreo de los trabajos para asegurar que cumplan con calidad, tiempo y costo. Este último es el principal y por lo general se utiliza el método del valor ganado para calificar a un proyecto.
- **OPERACIÓN & MANTENIMIENTO (O&M)** Esta fase se da después de la construcción de la obra pasa a manos de O&M quienes se encargan de su correcto funcionamiento y planificar los mantenimientos de sus partes.
- **CIERRE** Es la etapa final del proyecto donde se realiza la: valoración, comparación entre lo planificado y ejecutado, resultados, pruebas, correcciones, en el proyecto, pero para la empresa también se valora la: experiencias ganadas, gestión de problemas, metodología utilizada y conclusiones.
(Banco interamericano de Desarrollo BID, 2018)

1.6.3 Competitividad

Es la capacidad que tiene una empresa a generar productos que cumplen con una especificación de calidad con el menor costo de producción y después de cargar utilidad e indirectos tener un precio de venta que genere la mayor satisfacción en el cliente final por atención, desempeño y calidad.

1.6.4 Innovación

Es el proceso mediante el cual se toma un procedimiento, servicio, producto u otro elemento existente y mejorarlos o reinventarlos, logrando mejorarlos desde el punto de vista de calidad, económico, financiero, productivo o rendimientos.

1.6.5 Hormigón

En 1848 fue presentado al mundo por Joseph Louis Lambot, es una piedra artificial que está conformado por materiales pétreos, grava y arena con una granulometría muy homogénea para reducir el uso de un conglomerante o ligante que es el cemento

Para realizar una buena dosificación se debe tener en cuenta muchas variables como: resistencia, trabajabilidad, granulometría, consistencia, durabilidad, humedad, revenimiento, relación agua cemento, etc.

1.6.6 Hormigón liviano

Hormigones livianos son todos aquellos que su peso específico o densidad es menor al convencional 2,4 o 2,2 T/m³, su incorporación al mercado se dio para reducir el peso muerto de las estructuras y así optimizar las secciones, en el camino se descubrió que estos eran más resistentes al fuego, servían como aislantes térmicos y acústicos.

1.6.6.1 CLASIFICACIÓN

Para incluir aire en el hormigón existen cuatro métodos ya empleados desde 1923:

1.6.6.1.1 Agentes espumantes,

Consiste en una mezcla continua que se alcanza al agregar al hormigón un agente espumante que capturará burbujas de aire dentro de la masa de hormigón, generalmente el agente espumante está compuesto de agua y resinas y esto modifica la relación agua-cemento haciendo caer la resistencia



Ilustración 4 Agente Espumante

(Indiamart, 2018)

1.6.6.1.2 *Agregado ligero,*

Consiste en agregar al hormigón en lugar de grava otros elementos naturales o artificiales de bajo peso como: Pómez, Escoria, Pizarra, Poliestireno, etc. Generalmente este material tiene baja resistencia a la abrasión lo que también da bajas resistencias a el hormigón



Ilustración 5 Agregado Ligero (Pómez)

(Hondurasgreat, 2018)

1.6.6.1.3 *Granulometría condicionada,*

Es una mezcla discontinua que consiste en retirar los agregados finos o dejando pocos finos y grava uniforme, generalmente este material tiene baja resistencia por ser discontinua y presentar oquedades o ratoneras



Ilustración 6 Mezcla de hormigón discontinua

(Block, 2018)

1.6.6.1.4 Óxido de aluminio,

Es una mezcla continua al agregar óxido de aluminio a la mezcla, esta reacciona químicamente con el agua generando micro partículas de aire.



Ilustración 7 Aluminio en polvo

(Alibaba, 2018)

Se puede utilizar uno o más de los métodos anteriores para alcanzar una mayor reducción en el peso específico o densidad.



Ilustración 8 Hormigón Celular

(Bernardini, 2009)



Ilustración 9 Hormigón Celular

(Bernardini, 2009; Wikipedia, Wikipedia, 2019)

1.6.6.2 APLICACIONES

Las aplicaciones al parecer es más fácil estudiarlas o agruparlas en función de su peso específico o densidad:

- Densidad entre 250 y 600 [kg/m³], Utilizado como protección contra incendios especialmente en estructuras metálicas por los cambios en la normativa desde el atentado a las torres gemelas.
- Densidad entre 600 y 800 [kg/m³], Se utiliza para rellenos, recubrir taludes, impermeabilización, etc. por su bajo peso, facilidad de colocación y alta resistencia.
- Densidad entre 800 y 1100 [kg/m³], Se utiliza para elementos prefabricados que no recibirán cargas.
- Densidad entre 1100 y 1400 [kg/m³], Se utiliza para elementos como mamposterías prefabricadas o fundidos en sitio portantes o no.
- Densidad entre 1600 y 1800 [kg/m³], Se utiliza en losas macizas, losas sobre steel deck (plancha colaborante).

1.6.6.2.1 Ventajas

Entre las ventajas esta:

- Mayor velocidad de construcción
- Menor peso
- Aislamiento acústico
- Aislamiento térmico
- Resistente al fuego
- Reutilizable

1.6.6.2.2 Desventajas

Entre las desventajas esta:

- Mayor costo
- Vulnerable a químicos
- Baja resistencia
- Mayor control de calidad
- Mayor retracción
- Mayores deformaciones
- Facilita la corrosión del acero

2 CAPITULO 2 FASE DE PLANEACIÓN.

OBJETIVOS, DEFINICIÓN DEL ALCANCE Y PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

2.1 INTRODUCCIÓN

El hormigón por su bajo costo y buena resistencia, que sirve como aislante acústico y térmico además de su fácil obtención en el mercado, ha hecho de este material el más utilizado en la construcción.

Pero, por otro lado, también tiene un alto peso que incrementa la carga muerta a las estructuras haciendo a los elementos estructurales de medidas considerables, para contrarrestar estos efectos se ha trabajado en hormigones livianos y se ha estandarizado procesos.

Pero aún no lo han llevado a un uso a gran escala en Ecuador, a pesar que el hormigón celular fue descubierto en 1923, y al parecer las razones son:



Alto costo



Falta de investigación y desarrollo



Falta de difusión o información



Problemas de adherencia

ANTECEDENTES

Desde hace miles de años, en el siglo II D.C. ya se utilizó esta idea en la cúpula del Panteón de Agripa – Italia – año 126 con una altura de 44 m donde se usó una mezcla de pómez y puzolanas, donde la finalmente la idea era el reducir el peso en la parte más alta, el uso de hormigones ligeros estructurales realmente empieza a inicios del siglo XX en USA y Rusia, en lugares muy fríos y carentes de minas de agregados pétreos, se utilizó escoria de las industrias y materiales que no cumplían con los requerimientos para el agregado pétreo, pudiendo obtener mezclas con igual resistencia pero más ligeras.

En la segunda guerra mundial se investigó más profundamente y se caracteriza 2 tipos:

- Áridos naturales
- Áridos artificiales

Hoy en día se tiene varios métodos para alcanzar hormigones ligeros:

2.1.1.1 Mezclas discontinuas

Áridos porosos Se pueden hacer con áridos que tienen aire en su interior naturalmente como la piedra Pómez o Picón y áridos artificiales como Arcilla cocida, Pizarra, Escoria, etc.)

Creando huecos entre los áridos Se lo puede alcanzar retirando el componente fino de la mezcla o agregando poliestireno al amasado

Una mezcla de los anteriores, la mezcla de los anteriores métodos permitiría obtener mejores resultados



Ilustración 10 Mezcla de hormigón discontinua

(Block, 2018)

2.1.1.2 Mezclas continuas

Gaseando la masa Se lo obtiene agregando un agente espumante o químico que reaccione produciendo burbujas de gas sus principales ventajas son:

Alto poder aislante



Ilustración 11 Mezcla continua

(Wikipedia, Wikipedia, 2018)

La compactación es la relación entre densidad aparente y real en hormigón ligero varía entre 20% y 65%, mientras en el hormigón normal es del 97%.

Cuando se piensa en hormigón siempre se busca que sea un material macizo libre de oquedades mientras en el hormigón ligero se busca tener más aire u oquedades.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo general

Estudio de prefactibilidad para el uso de hormigón ligero con alto contenido de aire, como alternativa de bajo costo

2.2.2 Objetivo específico

- Se planteará una hipótesis que se probará a través de ensayos de prueba y error.

- Se revisará y agregará las definiciones que sean relevantes para este estudio como son: materiales, viabilidad, hormigón celular, y principales usos, etc.
- Se analizará los costos esperados de la aplicación de este procedimiento para estimar el porcentaje de ganancia y mercado para determinar su potencial de negocio.
- Se definirá una muestra estadísticamente representativa basado en el American concrete institute (ACI) para realizar ensayos y obtener resultados válidos y repetibles.
- Se ensayarán las probetas para determinar las características del material (Curva esfuerzo – deformación, Módulo de elasticidad; Esfuerzos de: compresión, flexión, tracción indirecta; peso unitario / densidad).
- Se analizará, discutirá y evaluará los datos y resultados para descartar errores.
- Se encontrará la relación óptima entre resistencia e incremento de volumen con óxido de aluminio o aluminio en polvo basado en las probetas ensayadas.
- Se analizará los datos obtenidos y se determinará el punto óptimo; se reajustará los porcentajes de ganancia estimados en el primer análisis.
- Al final se realizará un análisis, descripción, interpretación y conclusiones además de recomendaciones y propuesta para futuras investigaciones.

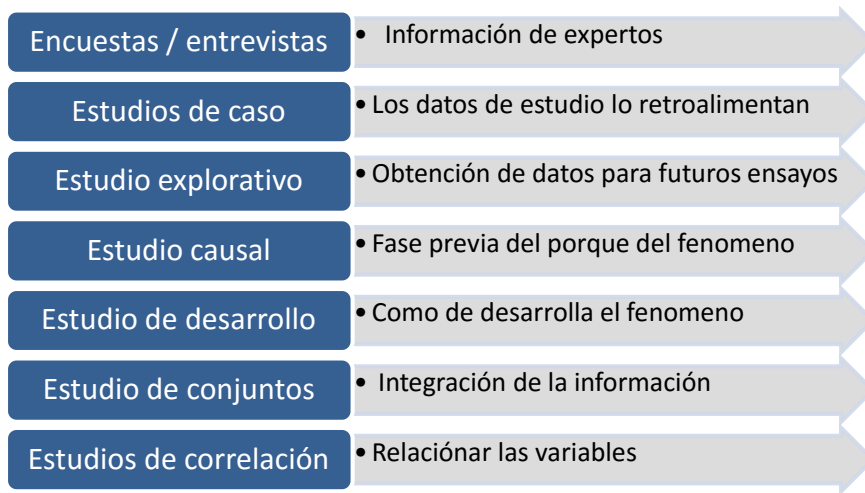
2.3 METODOLOGÍA

Empecemos definiendo las formas y tipos de investigación:

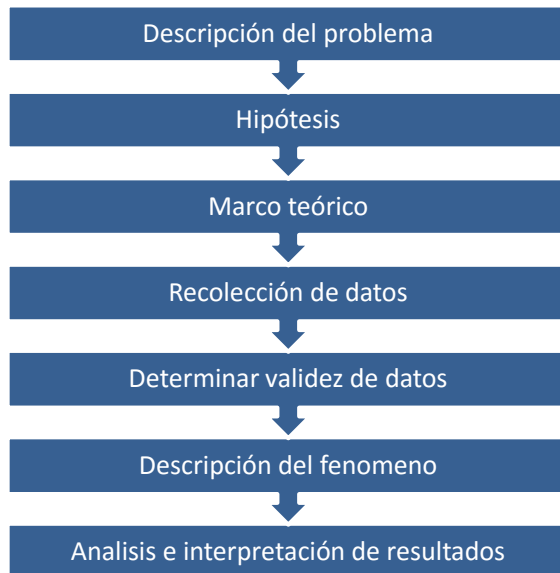


Según esta caracterización se puede determinar que esta tesis se puede considerar como mixta porque se plantea una hipótesis por lo que se puede considerar pura, pero para poder confirmar o negar la hipótesis se deberá verificar los resultados a través de ensayos que se puede considerar como aplicada y más específicamente como descriptiva

a su vez la investigación aplicada descriptiva se sub divide y relacionándola con esta investigación se puede definir así:



Basado en estas premisas se determina que el procedimiento para alcanzar la ejecución y demostración de esta tesis será:



Tomando en cuenta esta información y los detalles de esta tesis se determina que la mejor forma para exponer la información es agrupando la información en 4 etapas:



2.4 ALCANCE

El alcance para esta etapa de factibilidad, es a través de una investigación de campo llegar a determinar una relación entre la pérdida de resistencia y el aumento de volumen, mediante ensayos de probetas con diferentes cantidades de aluminio en polvo al hormigón, ensayar y determinar los puntos óptimos, relacionar esta información con el análisis de costos previo y reajustar, definiendo el margen de ganancia real y con un mercado estimado determinar el monto aproximado que movería en Ecuador esta idea.

2.5 GESTIÓN DE RIESGOS

Este punto es uno de los más importantes porque se trabajará sobre un proyecto con alto grado de incertidumbre y con químicos que presentan peligros potenciales, los químicos ya tienen determinados sus riesgos en el MSDS del producto.



POWDAL_(PT).pdf

Anexo 1 MSDS Aluminio en polvo

Para tener una mejor idea del porque se debe pensar primero en los riesgos a continuación se presenta un video.



reaccion fe + al.mp4

Video 1 Reacción Al + Fe

(Kopernik, 2018)

Para poder determinar la mejor gestión a cada riesgo se utilizará una matriz de riesgos donde relacionará la probabilidad de ocurrencia y el impacto que puede causar el mismo, al proyecto, para determinar las acciones a tomar se dividió la matriz en 3 colores.

PROBABILIDAD

3	3	6	9
2	2	4	6
1	1	2	3
	1	2	3

IMPACTO

	Gestionar
	Monitorear
	Aceptar

Tabla 4 Clasificación de riesgo

Tabla 5 Matriz valoración de riesgos

Los riesgos verdes son despreciables su impacto e importancia son bajos y no se debe gastar tiempo, personal o recursos en ellos.

Los riesgos naranjas pueden convertirse en problemas por lo que se debe monitorearlos para saber cuándo alguno de sus factores cambie y pase a ser despreciable o un riesgo.

Los riesgos rojos deben ser analizados y buscar una solución a los mismos, entre estas cuatro (4) alternativas:

1. **Evitar.** Cuando para prevenir el riesgo se decide cambiar el proyecto o una parte del mismo.
2. **Transferir** Cuando se pasa la responsabilidad de este riesgo a otro, por ejemplo, al contratar un seguro.
3. **Mitigar** Cuando para prevenir el riesgo se puede tomar medidas para reducir la posibilidad o impacto.
4. **Aceptar** Cuando para prevenir el riesgo se requiere tantos recursos como el riesgo materializado no es eficiente gestionarlo y se lo acepta.

2.5.1.1 Matriz de Riesgos

Estos son los riesgos que han sido encontrados, probabilidad de ocurrencia e impacto al proyecto

Identificación	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Riesgo de detonación	2	3	6
Riesgo de ignición	2	3	6
Riesgo de envenenamiento	2	3	6
Riesgo de quemadura	2	3	6
Escasez de aluminio	1	2	2
Cantidad de agua adicional para que reaccione el aluminio sin afectar la relación agua-cemento	3	3	9
Alto costo del aluminio	2	3	6
Evaluación económica negativa	3	3	9
Incapacidad para incluir aire en las piedras	3	3	9
Reducido campo de aplicación	3	3	9

Tabla 6 Matriz de riesgos

Riesgo de Detonación e Ignición, Este riesgo fue reducido porque se hicieron pruebas en el laboratorio, obteniéndose resultados negativos.

Para gestionar este riesgo se *monitoreará* la mezcla para medir cualquier cambio que pueda convertir a la mezcla en un riesgo.

Riesgo de envenenamiento. El aluminio en polvo es un producto tóxico como se puede ver en el MSDS por lo que para gestionar este riesgo se *mitigará*. El personal deberá usar todo el equipo de protección personal (EPP) necesario.

Aluminum Powder
Silvery-white, metallic powder; odorless. Irritating.
Also causes: dyspnea, cough, lethargy, anorexia, increased respiration.
Chronic: pulmonary fibrosis, asthma, emphysema, dyspnea, cough, lung disease.
Explosive. Flammable.
Water reactive.
CAS No. 7429-90-5




Ilustración 13 Rombo de seguridad aluminio

Polvo de Aluminio
Polvo metálico blanco plateado; inodoro irritante.
También causa: disnea, tos, letargo, anorexia, aumento de la respiración.
Crónico: fibrosis pulmonar, asma, enfisema, disnea, tos, enfermedad pulmonar.
Explosivo, Inflamable




Ilustración 12 Rombo de seguridad aluminio (traducción)

Determinar la cantidad de agua adicional necesaria para que el aluminio reaccione sin afectar la relación agua-cemento. Para gestionar este riesgo se *mitigará*, para facilitar el estudio de este fenómeno considerara que se tiene dos reacciones independientes, por un lado, el aluminio reaccionando con el agua y por el otro la hidratación del cemento.



Ilustración 14 Ensayo previo consumo de agua -oct 2017

Alto costo del aluminio. Al realizar las investigaciones previas se determinó que el precio en China variaba entre \$1,5 y \$5 el Kilogramo, pero en Ecuador el precio es muy superior desde \$3 hasta \$100, para gestionar este riesgo se *evitará*, se reformulará o modificará este proyecto para utilizar desperdicios de aluminio en lugar del polvo de aluminio puro.

Esto le dará a esta investigación otro punto a favor al ayudar al planeta, reciclando o gestionando estos residuos de aluminio que en polvo pueden ser considerados peligrosos y dando un uso a estos residuos.

Evaluación económica negativa, En el supuesto que al final de todo el trabajo se determine que aun que se realizaron las modificaciones al proyecto no se alcanzase una evaluación de costos positiva, para gestionar este riesgo sé *aceptará*, y se determinara planes de mejora y otros aspectos a investigar más profundamente en otras tesis para mejorar los resultados.

Incapacidad para incluir aire en las piedras, Al realizar las pruebas se determinó que solo se puede incluir aire en la masa de hormigón, para gestionar este riesgo sé *evitará*, se reformulará o modificará utilizando hormigón con un agregado de tamaño máximo de 10mm para maximizar la masa.

Riesgo de quemaduras, Al realizar las pruebas previas a las mezclas con aluminio y cemento, esta alcanzo una temperatura de 90° como se muestra en la ilustración siguiente, para gestionar este riesgo sé *monitoreará*, se medirá la temperatura a las mezclas y se realizará la prueba en la tarde-noche para que el clima ayude a mantener una temperatura baja.



Ilustración 15 Temperatura de la mezcla -oct 2017

Reducido campo de aplicación, Para gestionar este riesgo sé *aceptará*, a este material le falta investigación para alcanzar una completa caracterización e interacción con las estructuras, para poder llegar a usarlo en elementos estructurales u otros elementos, pero por el momento se podría usar en lo que ya se usa el hormigón ligero.

Pero por otro lado tomando en cuenta el avance de la tecnología y la progresiva reducción de sus precios en el futuro las casas serán impresas y esta idea puede ayudar mucho a este sistema porque necesitaría un tanque de hormigón de alta resistencia al que se le agregaría una cantidad controlada de aluminio y generaría un volumen mucho mayor con la resistencia especificada o requerida para cada elemento a imprimir.



La impresora 3D con concreto

Video 3 Impresión de casas

(Be more 3D, 2018)



Casa construida in situ con impresora 3

Video 2 Impresión de casas

(Mundo Tech, 2018)

2.6 CADENA DE PROVISIÓN

Después de los problemas que se presentaron para conseguir los productos químicos para esta tesis, se incluyó este tema que afecta directamente a la planificación, producción y precio del producto.

El químico principal (óxido de aluminio o aluminio en polvo) para la ejecución de esta tesis no se lo puede conseguir en Ecuador con tanta facilidad como en China donde se lo puede conseguir por internet y su precio oscila entre \$1,5 y \$5,0 el kilogramo

The image shows a grid of ten product listings from Alibaba.com, arranged in two rows of five. Each listing includes a product image, a title, a price per unit, and the minimum order quantity. The products are related to aluminum powder and AAC blocks.

Product Name	Price	Min. Order
GLS-70 Gas Aluminium powder for aerated concrete AAC block	US \$2.15-2.4 / Kilograms	1000 Kilograms
aluminium powder for aac block	US \$1900-4000 / Ton	1 Ton
aluminium powder spherical for AAC Blocks manufacturing	US \$5-30 / Kilogram	1 Kilogram
aluminium powder g1c55 for aac block	US \$1800-2000 / Ton	1 Ton
Aluminium Powder and Aluminium Paste for AAC Block	US \$5-7 / Kilogram	1 Kilogram
AAC aluminum paste for concrete brick and gas beton block	US \$2.5-2.95 / Kilogram	200 Kilograms
best price flake aluminum powder for AAC	US \$4-6 / Kilogram	1000 Kilograms
aluminum paste for gas beton	US \$1800-3000 / Ton	1 Ton
Aerated Concrete 200 Mesh Aluminium Powder For AAC Block	US \$1800-2000 / Ton	1 Ton
Gas Flake Aluminium Powder for Autoclaved Aerated Concrete Block	US \$2.9-3.5 / Kilogram	

Ilustración 16 Precio del óxido de aluminio en China

(Alibaba, 2018)

En Ecuador se tiene una gran variedad de productos y precios estos oscilan desde \$2,98 hasta \$100 el kilogramo, y no todos ellos generan la reacción al mezclarlo con agua y cemento. Por lo que, si se desea industrializar esta idea, se debería hacer un tratado con Brasil que es el tercer productor más grande del mundo de aluminio y el más cercano también.



Ilustración 17 Países productores de aluminio

(Mapsofworld, 2017)

Gracias a la ayuda de un taller productor de ventanas y artículos de aluminio, se colectaron unas muestras de los restos de aluminio, que se las ensayó con el fin de poder reducir los costos porque el aluminio más barato que reaccionó con el cemento y el agua costo \$15,20; y además de esta forma se le dará un uso a un residuo producto de un proceso industrial.

2.7 PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

Este capítulo por no tener ensayos previos para comparar se lo ha ideado en 4 etapas:



Fase previa



Caracterización de agregados



Ensayo Industrial



Ensayo de muestras

(Albear, 2017-2018)

2.7.1 Fase previa

Por no tener estudios referenciales se decidió realizar ensayos a escala para determinar cualquier reacción no deseable, desfavorable o solo para tener una mejor idea de lo que sucederá en los ensayos a escala industrial.

2.7.2 Fase 1. Caracterización de agregados

Este capítulo empezara con la caracterización de los áridos o materia prima para esto se realizaron los siguientes ensayos:



Abrasión



Granulometría



Absorción



Materia orgánica



Material que pasa el tamiz 200



Peso Unitario

2.7.2.1 Diseño teórico

Con esta información se realizará el diseño de la dosificación ideal para la resistencia requerida del hormigón que se utilizará en la fabricación de las probetas.

Luego se realiza una comparación entre el diseño teórico obtenido en la PUCE y el diseño que la hormigonera ha utilizado por años.

2.7.3 Fase 2. Ensayo industrial

2.7.3.1 Determinación de la cantidad de probetas

Para poder tener resultados estadísticamente representativos y replicables,

26.12 — Evaluación y aceptación del concreto

26.12.1 Generalidades

26.12.1.1 Requisitos de construcción a cumplir:

(a) Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 6 por 12 pulg. o de al menos tres probetas de 4 por 8 pulg., preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo designada para la determinación de f'_c .

Ilustración 18 Cantidad de cilindros ACI

(ACI, 2014)

Con pequeñas variaciones que son:

* Una probeta adicional en total 3 probetas para poder descartar el valor que se aleje del promedio o probetas que fallen durante cualquiera de los procesos previos, para finalmente tener resultados más confiables y replicables

Se ha decidido ensayar 3 probetas a las edades de: 7, 14, 28 días para determinar el esfuerzo a la compresión, también a los 28 días se ensayará 3 cilindros adicionales para obtener el esfuerzo a la tracción indirecta y además 3 viguetas para determinar la resistencia a flexión. Esto da un total de 96 cilindros (64 para análisis y 32 para descartar) y 24 viguetas (16 para el análisis y 8 para descartar) distribuidas como se ve en la tabla a continuación.

CANTIDAD DE PROBETAS PARA MUESTREO Y ENSAYO														
TIPO	EDAD	ENSAYOS				PORCENTAJES								
		vertical	flex	horiz	extra	0,00%	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%	2,50%	5,00%	10,00%	
Cilindros	7	2			1	3	3	3	3	3	3	3	3	24
viga						0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cilindros	14	2			1	3	3	3	3	3	3	3	3	24
viga						0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cilindros	28	2		2	2	6	6	6	6	6	6	6	6	48
viga				2		1	3	3	3	3	3	3	3	3
Cilindros	TOTAL					12	12	12	12	12	12	12	12	64 + 32
viga						3	3	3	3	3	3	3	3	16 + 8

Tabla 7 Cantidad de Probetas para muestreo y ensayo

2.7.3.2 Toma de muestras

Para tener resultados más reales se realizará un ensayo industrial, además de reducir el tiempo de ejecución, se podrá tomar todas las muestras en un solo día, se utilizará una planta de hormigón y un mixer para realizar todas las mezclas sobre los residuos, a cada mezcla se le tomarán muestras, las variaciones serán dadas por el aluminio, mientras se realiza esto, en el interior estará mezclándose la nueva dosificación, para tener una mezcla completa este periodo de tiempo no será inferior a 5 min, además, se pesará cada vez.

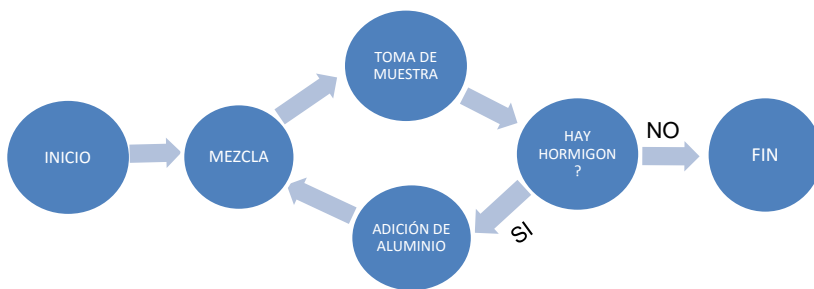


Ilustración 19 Diagrama de flujo de la ejecución

2.7.4 Fase 3. Ensayos a probetas

Estos ensayos se los realizará a mezclas con varios porcentajes de adición de aluminio (inclusor de aire) para poder determinar:



Peso específico / Densidad



Resistencia a la compresión $F'c$



Resistencia a la flexión



Resistencia a la tracción indirecta



Módulo de elasticidad

Con esta información se revisará la tendencia y se verificará la hipótesis planteada donde se esperaba que el aumento de volumen y pérdida de resistencia sean linealmente proporcionales o dependientes.

3 CAPITULO 3 FASE DE EJECUCIÓN.

DISEÑOS Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Al no tener otros ensayos previos sobre este tema se continuará este estudio según la planificación, después de cada experimentación y al final de cada fase se compararán o analizarán los resultados obtenidos para ir retroalimentando la planificación.

3.1 FASE PREVIA

Por la falta de información sobre este tema y sus consecuencias se decidió realizar varios ensayos previos.

Por la gran variedad de óxidos de aluminio y el alto costo del aluminio en polvo, en el análisis riesgos se determinó gestionar este riesgo sustituyendo estos productos por subproductos de aluminio o residuos de plantas que trabajen con aluminio y se realizaron varios ensayos a las muestras proporcionadas.

3.1.1 *Ensayo de expansión*

Se pidió una muestra a los laboratorios o empresas que venden: aluminio u óxido de aluminio para ensayarlos con cemento y agua en fundas para verificar que la reacción esperada (generación de aire) se logre producir.



Ilustración 20 Ensayo previo de expansión - sep. 2017

De las muestras obtenidas estos fueron los resultados:

EMPRESA	PRODUCTO	COSTO (USD/Kg)	REACCIÓN
ABRACOL	Oxido de Aluminio	\$ 2,98	NO
COMERQUIM	Aluminio en polvo	\$ 14,30	SI
EXCEIL	Oxido de Aluminio	\$ 99,50	SI

Tabla 8 Precio de aluminio y reacción

Por otra parte, por el alto costo de este insumo y como esta tesis busca rentabilidad, se recopiló varias otras muestras de polvo de aluminio de varias fábricas y empresas como son:

	Perfiles de aluminio para ventanas y puertas		Rejillas, palancas, bisagras (artesanales)
	Herramientas		Accesorios Automotrices
	Abrasivos		Insumos de cocina
	Aluminio puro en polvo		

Tabla 9 Muestras de aluminio



Ilustración 21 Muestras de aluminio

Una vez realizados los ensayos a las 7 muestras, se encontró 2 productos que podían incluir aire en las mezclas, por un lado, el aluminio puro en polvo y por otro lado los residuos de insumos de cocina.

- Polvo de Aluminio (Aluminum powder 110)



Ilustración 22 Muestras de aluminio

- Desecho de aluminio recogido en planta alimenticia



Ilustración 23 Ensayo previo de expansión – sep. 2017



Ilustración 24 Ensayo previo de expansión fallidos – sep. 2017

3.1.2 Ensayo de comparación

Se construyó probetas de 5 x 10 cm para tener un molde y crear probetas con una forma conocida, porque los ensayos que se realizaron en fundas era muy complicado medirlos para calcular el volumen y tampoco se pudo usar la ley de Arquímedes porque flotaron. Para poder medir el volumen inicial y final y poder determinar y comparar la expansión



Ilustración 25 Fabricación de moldes - Feb 2018



Ilustración 26 Fabricación de moldes - Feb 2018



Ilustración 27 Fabricación de moldes – Feb 2018

Luego se varió las cantidades de agua por ser el reactivo que permite la reacción con el aluminio y cemento para poder obtener una relación entre estos dos productos



Ilustración 28 Ensayo previo para comparar expansión - Feb 2018



Ilustración 29 Muestras en cuarto de curado – feb 2018

				CEMENTO	AGUA	ADICIÓN
				10,00 g.	8,60 g.	0,00 g.
				10,00 g.	18,60 g.	Óxido de aluminio ABRACOL 0,50 g.
				10,00 g.	18,60 g.	Desecho de perfiles de ventana 0,50 g.
				10,00 g.	10,00 g.	Polvo de aluminio 0,50 g.
				10,00 g.	11,00 g.	Desecho de insumo de cocina 0,50 g.
				10,00 g.	15,00 g.	Desecho de insumos de cocina y acelerante 0,5 + 1 g
				10,00 g.	15,00 g.	Desecho de herramienta 0,50 g.
				10,00 g.	15,00 g.	Desecho de accesorios para autos 0,50 g.
				10,00 g.	11,00 g.	Polvo de aluminio 0,50 g.
				10,00 g.	10,00 g.	desecho de insumos de cocina y glicerina 10 + 2 g
				10,00 g.	13,00 g.	Polvo de aluminio y acelerante 0,5 + 1 g
				10,00 g.	15,00 g.	Desecho de rejillas y palancas 0,50 g.

Tabla 10 Resumen de ensayos previos de expansión – Mar 2018

En base a esta experimentación se utilizará desecho de aluminio de las plantas alimenticias, porque este genera casi el mismo aumento de volumen y no se evidencio incremento de temperatura, en el siguiente video se muestra el proceso de obtención en el sitio que me facilitó 40 Kg para la realización del ensayo industrial, cabe recalcar que el video ha sido editado para reducir la duración.



Produccion polvo de aluminio.mp4

Video 4 Proceso extracción polvo de aluminio – Nov 2017

3.1.3 Ensayo con hormigón

Con lo aprendido en todos los ensayos anteriores se procede a una nueva experimentación ahora con hormigón y se tomara muestras en cilindros de hormigón de 100 x 200 mm.

Empezamos definiendo la cantidad de materiales en base a los diseños que la hormigonera Equinoccial utiliza, además para verificar que la resistencia deseada se alcanzaría, porque el diseño desarrollado en la PUCE requiere una mayor cantidad de cemento.



Diseño de hormigon.mp4

Video 5 Diseño mezcla de hormigón – Mar 2018

(Velasquez, 2018)

Se determina la dosificación y me explican que el tipo de cemento que utilizan no es el 1P, ellos utilizan el HE que es un cemento de alta resistencia y aditivos para reducir la relación agua cemento y obtener dosificaciones más eficientes.

Se realizó la mezcla en una concretera para tomar unos cilindros y verificar la resistencia, trabajabilidad y mejor procedimiento antes del ensayo



toma muestras 2-0.wmv

Video 6 Toma de muestras – Mar 2018



Ilustración 30 Cilindro fracturado por el peso propio – Mar 2018

Se intentó realizar el desencofrado a las 24 horas, pero las muestras no tienen la resistencia suficiente y se fracturan.



Ilustración 31 Fase Previa Probetas de hormigón – Mar 2018

Se volvió a intentar desencofrar a las 48 horas, con resultados similares en la parte superior de los cilindros con alto contenido de aluminio.



Ilustración 32 Cilindro desencofrado 48 horas – Mar 2018

Se determinó realizar el desencofrado al 3° día para evitar el daño de las probetas al desencofrar y para que todas pierdan igual resistencia por falta de curado.

3.1.4 Registros

Todos los cambios o efectos no deseados o extraordinarios fueron medidos y registrados, por ejemplo:

Aumento de temperatura, alcanzó una temperatura cercana a los 90° al usar aluminio puro en polvo, pero no hubo incremento al usar el residuo de aluminio en las mismas proporciones.



Ilustración 33 Ensayo previo temperatura – Oct 2017

Pero al utilizar el residuo de aluminio en la concretera y alcanzar el 10 % la temperatura del hormigón alcanzo los 76°, aquí se demuestra que el aumento de temperatura también depende de la cantidad de cemento, posiblemente al usar aluminio puro la temperatura habría sido mucho mayor.



Aumento de

Video 7 Aumento de temperatura – Mar 201



Ilustración 34 Temperatura en ensayo previo - Mar 2018

Para reducir el aumento de temperatura en el ensayo industrial se la realizará en la tarde-noche para que la temperatura ambiente ayude a controlar la temperatura y si esta sobrepasa los 50° se agregará agua como refrigerante.

Alto consumo de agua, esta mezcla puede consumir hasta 10 veces el peso del aluminio en agua



Ilustración 35 Ensayo previo consumo de agua – Oct 2017

Baja resistencia inicial, La resistencia a tempranas edades es muy baja al punto que se fractura por la tracción ejercida por el peso propio.



Ilustración 36 Baja resistencia Inicia – Mar 2018

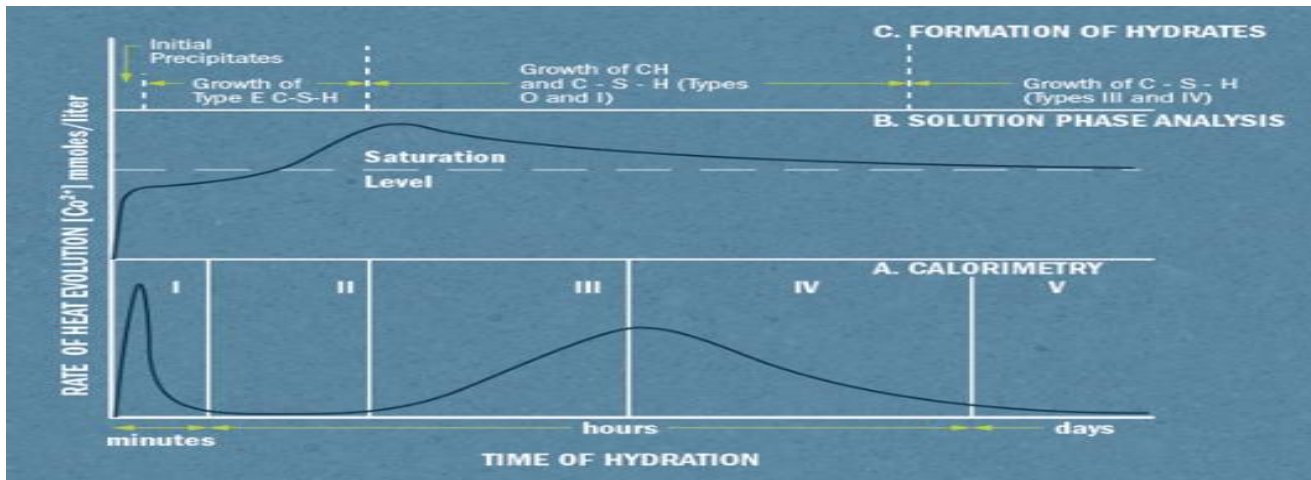
3.1.5 Conclusiones

Tomando en cuenta que la reacción de hidratación del cemento es un proceso muy complejo y extenso como se puede ver en esta imagen, donde se muestran las transformaciones principales no las reacciones ni tampoco es estequiometría.

2 (3CaO·SiO ₂) Silicato tricálcico	+ 11 H ₂ O agua	= 3CaO·2SiO ₂ ·8H ₂ O Silicato de calcio hidratado (C·S·H)	+ 3 (CaO·H ₂ O) Hidróxido de calcio
2 (2CaO·SiO ₂) Silicato dicálcico	+ 9 H ₂ O agua	= 3CaO·2SiO ₂ ·8H ₂ O Silicato de calcio hidratado (C·S·H)	+ CaO·H ₂ O Hidróxido de calcio
3CaO·Al ₂ O ₃ Aluminato tricálcico	+ 3 (CaO·SO ₃ ·2H ₂ O) Yeso	+ 26 H ₂ O agua	= 6CaO·Al ₂ O ₃ ·3SO ₃ ·32H ₂ O Etringita
2 (3CaO·Al ₂ O ₃) Aluminato tricálcico	+ 6CaO·Al ₂ O ₃ ·3SO ₃ ·32H ₂ O Etringita	+ 4 H ₂ O agua	= 3 (4CaO·Al ₂ O ₃ ·SO ₃ ·12H ₂ O) Monosulfoaluminato de calcio
3CaO·Al ₂ O ₃ Aluminato tricálcico	+ CaO·H ₂ O Hidróxido de calcio	+ 12 H ₂ O agua	= 4CaO·Al ₂ O ₃ ·13H ₂ O Aluminato tetra-cálcico hidratado
4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃ Ferroaluminato tetracálcico	+ 10 H ₂ O agua	+ 2 (CaO·H ₂ O) Hidróxido de calcio	= 6CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃ ·12H ₂ O Ferroaluminato de calcio hidratado

Tabla 11 Reacción de hidratación del cemento

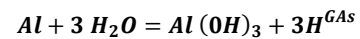
(Notas de concretos , 2018)



Grafica 3 Periodos de hidratación de los compuestos

(Silva, 2018)

Por la complejidad de las reacciones se utilizó la superposición de efectos como dos reacciones independientes, por un lado, la ecuación de hidratación del cemento y por el otro lado se analizará la ecuación solo como la interacción entre el aluminio y agua. Al realizar el análisis de la reacción agua y aluminio se determina a través de la química que:



$$3 \text{ Mol } H_2O = 54 \text{ g}$$

$$1 \text{ Mol } Al = 26,97 \text{ g}$$

$$1 \text{ Mol } H_2O = 18 \text{ g}$$

$$H = 1 \times 2 = 2 \text{ g}$$

$$O = 16 \times 1 = 16 \text{ g}$$

De este análisis se puede determinar que por cada gramo de aluminio que agregue se deberá colocar 2 gramos de agua para mantener la relación agua cemento, de otra forma el aluminio usará el agua de hidratación para generar la reacción descrita arriba.

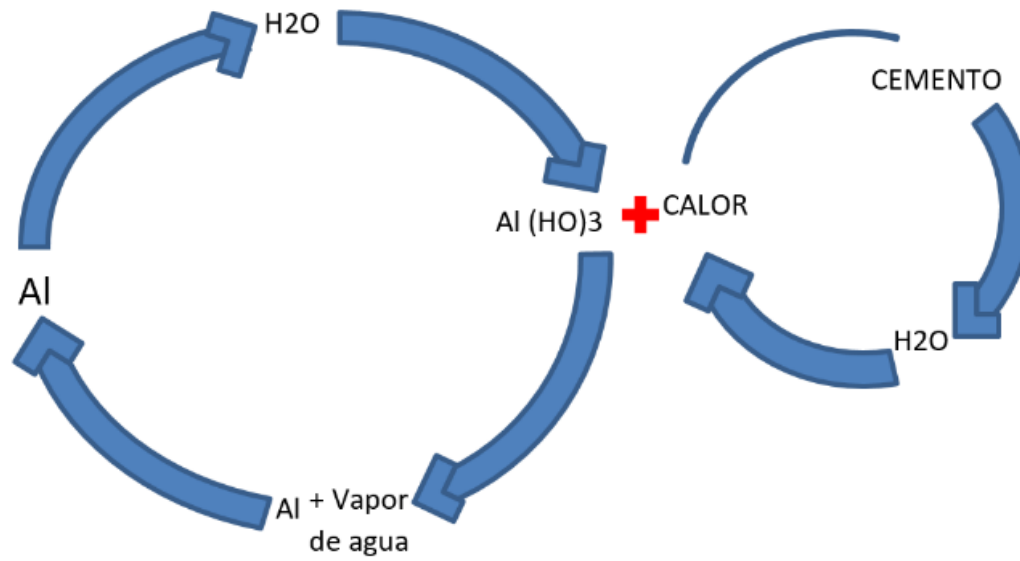
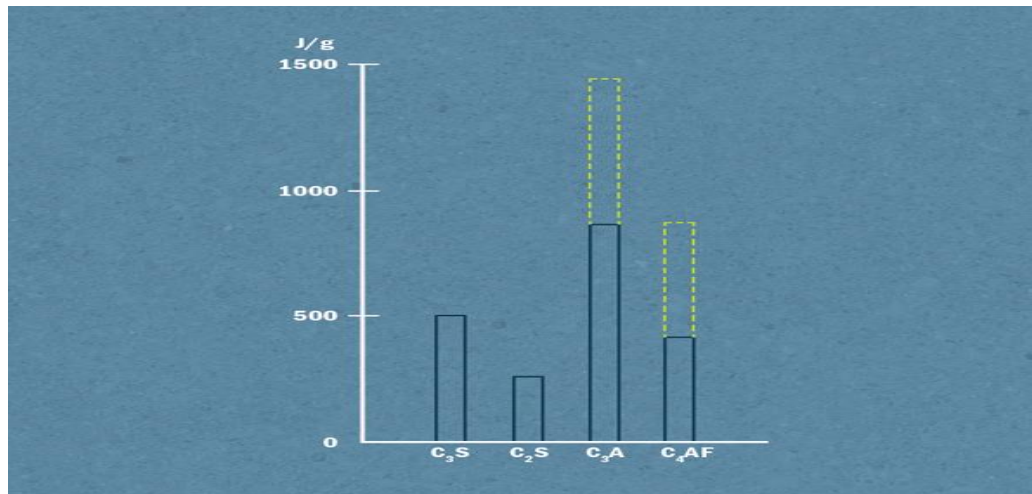


Ilustración 37 Esquema teórico de la reacción

El Aluminato tricálcico (C_3A) y el Silicato tricálcico (C_4AF) son las reacciones que más calor aportan y basado en el aumento de la temperatura de la mezcla se puede suponer que el aluminio que se agrega reacciona con los carbonatos y hierro para formar estos compuestos, pero este análisis está fuera del alcance de este estudio.



Grafica 4 Calor de hidratación compuestos cemento

También se sabe que el aluminio reacciona con el agua y el hidróxido de aluminio [$Al(OH)_3$] se vuelve a separar con presencia del calor, por lo que se puede suponer que estas reacciones calor de hidratación del cemento e hidróxido de aluminio [$Al(OH)_3$], genera una reacción cíclica, que también se evidenció en los primeros ensayos donde la cantidad de agua que se podía usar manteniendo la reacción era cercana a 10 veces el peso de aluminio.

Pero esto se puede suponer que existe una interacción entre el proceso de hidratación del cemento y el aluminio, como se puede ver en el grafico siguiente.

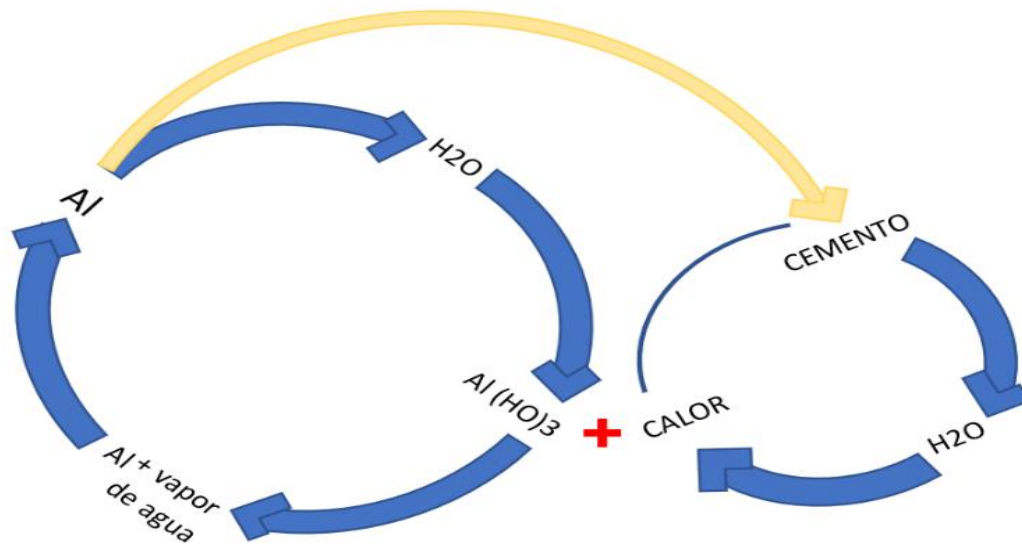








Ilustración 38 Esquema hidratación

3.2 FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Caracterización de las materias primas, en esta etapa en el laboratorio de la PUCE y con la ayuda de los laboratoristas se realizarán los ensayos para caracterizar el material:

	Abrasión		Granulometría
	Materia orgánica		Absorción
	Peso Unitario		Material que pasa el tamiz 200

(Lopez, 2018)

3.2.1 Abrasión

El ensayo de *Abrasión* sirve para determinar la dureza de los agregados, en la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo puede encontrar en los iconos adjuntos.




Abrasión					
	Tamaño del agregado	Tipo Gradación	Porcentaje desgaste	Link virtual	
				Norma	Informe PUCE
	10mm	C	10% < x < 45% 18,00%	 ASTM C131-C131M-14.pdf <i>Anexo 2 ASTM C131 C131M-14</i>	 Abrasion Grava 10.pdf <i>Anexo 3 Abrasión grava PUCE</i>

Tabla 12 Abrasión

3.2.2 Granulometría

Este ensayo de *Granulometría* permite determinar porcentajes en peso según el tamaño de las partículas que conforman el árido refiriéndome a la arena y grava, en la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo pueden encontrar en los iconos adjuntos.

ARENA 1: San Antonio





Granulometría		Arena San Antonio			
	Tamiz	% Retenido	% Pasa	Link virtual	
				Norma	Informe PUCE
	2	0,00%	100,00%	 ASTM C136-C136M-14.pdf <i>Anexo 4 ASTM C136 C136M-14</i>	 Granulometria Mitad del Mundo.pc <i>Anexo 5 Granulometría San Antonio PUCE</i>
	1 1/2	0,00%	100,00%		
	1	0,00%	100,00%		
	3/4	0,00%	100,00%		
	1/2	0,00%	100,00%		
	3/8	0,00%	100,00%		Informe EQUINOCCIAL
	4	0,20%	99,80%		
	8	24,70%	75,30%		
	16	48,90%	51,10%		
	30	64,80%	35,20%		
	50	75,80%	24,20%		 SAN ANTONIO PEREZ AF GRANULO <i>Anexo 6 Granulometría San Antonio Equinoccial</i>
100	82,20%	17,80%			

Tabla 13 Granulometría Arena San Antonio

ARENA 2: Pifo





Granulometría		Arena Pifo			
	Tamiz	% Retenido	% Pasa	Link virtual	
	Norma			Informe PUCE	
	2	0,00%	100,00%	 ASTM C136-C136M-14.pdf <i>Anexo 7 ASTM C136 C136M-14</i>	 Granulometria Pifo.pdf <i>Anexo 8 Granulometría Pifo PUCE</i>
	1 1/2	0,00%	100,00%		
	1	0,00%	100,00%		
	3/4	0,00%	100,00%		
	1/2	0,00%	100,00%		Informe EQUINOCCIAL
	3/8	0,55%	99,45%		
	4	71,98%	28,02%		 PIFO AF GRANULOMETRÍA FI <i>Anexo 9 Granulometría Pifo Equinoccial</i>
	8	92,28%	7,72%		
	16	96,23%	3,77%		
	30	96,23%	3,77%		
50	96,23%	3,77%			
100	96,23%	3,77%			

Tabla 14 Granulometría arena Pifo

RIPIO 10: Pifo





Granulometría		Ripio 10mm			
	Tamiz	% Retenido	% Pasa	Link virtual	
				Norma	Informe PUCE
	4	0,00%	100,00%	 ASTM C136-C136M-14.pdf <i>Anexo 10 ASTM C136 C136M-14</i>	 Granulometria Grava 10.pdf <i>Anexo 11 Granulometría Grava PUCE</i>
	3 1/2	0,00%	100,00%		
	3	0,00%	100,00%		
	2 1/2	0,00%	100,00%		
	2	0,00%	100,00%		
	1 1/2	0,00%	99,45%		
	1	0,00%	28,02%		Informe EQUINOCCIAL
	3/4	0,00%	7,72%		
	1/2	0,00%	3,77%		 PIFO AG 9,35mm GRANULOMETRÍA N <i>Anexo 12 Granulometria Grava Equinoccial</i>
	3/8	0,55%	3,77%		
	N° 4	71,98%	3,77%		
	N° 8	92,28%	3,77%		
	N° 16	96,23%	3,77%		
	N° 50	96,23%	3,77%		

Tabla 15 Granulometría Ripio 10

Al comparar los informes de la PUCE y de la Hormigonera Equinoccial se puede evidenciar que los resultados son muy similares.

3.2.3 Gravedad específica y absorción

Este ensayo de *Gravedad Específica* permite determinar la variación de peso para humedades definidas en cada árido refiriéndome a la arena y grava, en la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo pueden encontrar en los iconos adjuntos.

ARENA 1: San Antonio





Gravedad Específica		Arena San Antonio		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Seca	GS 2,37		 Gravedad específica Mitad del mundo.pc
	Saturada con superficie seca	Ges 2,48	 ASTM C128-15.pdf	<i>Anexo 14 Gravedad específica San Antonio PUCE</i>
	Aparente	Gea 2,56	<i>Anexo 13 ASTM C128 - 15</i>	Informe EQUINOCCIAL
% Absorción	Ab 4,70%		 SAN ANTONIO PEREZ AF FISICAS 13 <i>Anexo 15 Gravedad específica San Antonio Equinoccial</i>	

Tabla 16 Gravedad específica San Antonio

ARENA 2: Pifo





Gravedad Especifica		Arena Pifo		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Seca	GS 2,37	 ASTM C128-15.pdf <i>Anexo 16 ASTM C128 - 15</i>	 Gravedad especifica Pifo.pdf <i>Anexo 17 Gravedad especifica Pifo PUCE</i>
	Saturada con superficie seca	Ges 2,48		Informe EQUINOCCIAL
	Aparente	Gea 2,56		 PIFO AF FISICAS NORTE 28-12-17.pdf <i>Anexo 18 Gravedad especifica Pifo Equinoccial</i>
% Absorción	Ab 4,70%			

Tabla 17 Gravedad Especifica Arena Pifo

RIPIO 10: Pifo





Gravedad Especifica		Ripio 10		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Seca	GS 2,48	 ASTM C127-15.pdf <i>Anexo 19 ASTM C127 - 15</i>	 Gravedad especifica Grava 10.pdf <i>Anexo 20 Gravedad especifica grava PUCE</i>
	Saturada con superficie seca	Ges 2,56		 PIFO AG 9,35mm FÍSICOS NORTE 29- <i>Anexo 21 Gravedad especifica grava Equinoccial</i>
	Aparente	Gea 2,67		
% Absorción	Ab 3,00%			

Tabla 18 Gravedad Especifica Ripio 10

Como pueden haber visto para este ensayo existen 2 formas de realizarlo uno para agregado fino y otro para el grueso.

Al comparar los informes de la PUCE y de la Hormigonera Equinoccial se puede evidenciar que los resultados son muy similares.

3.2.4 Materia orgánica

Este ensayo de *Materia Orgánica* permite determinar la cantidad de materia orgánica en la arena, en la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo pueden encontrar en los iconos adjuntos.

ARENA 1: San Antonio





Contenido Orgánico		Arena San Antonio		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Contenido Orgánico	si		 Contenido Organico Mitad del <i>Anexo 23 Contenido Orgánico San Antonio PUCE</i>
	Valor en escala	1	 ASTM C40-C40M-16.pdf <i>Anexo 22 ASTM C40 C40M - 16</i>	Informe EQUINOCCIAL
		0 < x < 3		 SAN ANTONIO PEREZ AF ESPECIAL <i>Anexo 24 Contenido Orgánico San Antonio Equinoccial</i>

Tabla 19 Contenido Orgánico Arena San Antonio

ARENA 2: Pifo





Contenido Orgánico		Arena San Pifo		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Contenido Orgánico	si		 Contenido Organico Pifo.pdf <i>Anexo 26 Contenido Orgánico Pifo PUCE</i>
	Valor en escala	0	 ASTM C40-C40M-16.pdf <i>Anexo 25 ASTM C40 C40M - 16</i>	Informe EQUINOCCIAL
				 PIFO AF ESPECIALES NORTE 2 <i>Anexo 27 Contenido Orgánico Pifo Equinoccial</i>
		0 < x < 3		

Tabla 20 Contenido Orgánico Arena Pifo

Al comparar los informes de la PUCE y de la Hormigonera Equinoccial se puede evidenciar que los resultados son muy similares.

3.2.5 Material que pasa el tamiz 200

Este ensayo de *Material que pasa el tamiz 200* permite determinar la cantidad de polvo de roca en la arena, en la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo pueden encontrar en los iconos adjuntos.

ARENA 1: San Antonio





Material pasa #200		Arena San Antonio		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	% pasa #200	16,50%	 ASTM C117-13.pdf <i>Anexo 28 ASTM C117 - 13</i>	 Material que pasa el tamiz N°200 Mitac <i>Anexo 29 Material Pasa #200 San Antonio PUCE</i>
				Informe EQUINOCCIAL
				 SAN ANTONIO CEVALLOS AF FISICA <i>Anexo 30 Material pasa #200 San Antonio Equinoccial</i>
		> 5% - 7%		

Tabla 21 Material Pasa #200 San Antonio

ARENA 2: Pifo





Material pasa #200		Arena Pifo		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	% pasa #200	12,10%	 ASTM C117-13.pdf	 Material que pasa el tamiz N°200 Pifo.ç <i>Anexo 32 Material pasa #200 Pifo PUCE</i>
			<i>Anexo 31 ASTM C117 - 13</i>	Informe EQUINOCCIAL
			 PIFO AF FISICAS NORTE 28-12-17.pdf <i>Anexo 33 Material pasa #200 Pifo PUCE</i>	
		> 5% - 7%		

tabla 22 Material Pasa #200 Pifo

3.2.6 Peso unitario

Este ensayo de *Peso Unitario* permite determinar la densidad de los áridos en condiciones determinadas, en la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo pueden encontrar en los iconos adjuntos.

ARENA 1: San Antonio




Peso Unitario		Arena San Antonio	
	Descripción	Valor	Link virtual
			Norma
	Suelto	1706	 ASTM C29-C29M-17.pdf <i>Anexo 34 ASTM C29 C29M-17</i>
Compactado	1840		Informe EQUINOCCIAL  SAN ANTONIO PEREZ AF FISICAS 13 <i>Anexo 36 Peso unitario Equinoccial</i>

Tabla 23 Peso Unitario Arena San Antonio

ARENA 2: Pifo




	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Suelto	1651	 ASTM C29-C29M-17.pdf <i>Anexo 37 ASTM C29 C29M - 17</i>	 Peso Unitario Pifo.pdf <i>Anexo 38 Peso unitario Pifo PUCE</i>
	Compactado	1790		Informe EQUINOCCIAL

Tabla 24 Peso Unitario Arena Pifo

RIPIO 10: Pifo





Peso Unitario		Ripio 10		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Suelto	1357,00	 ASTM C29-C29M-17.pdf <i>Anexo 40 ASTM C29 C29M - 17</i>	 Peso Unitario Grava 10.pdf <i>Anexo 43 Peso Unitario Grava PUCE</i>
Compactado	1517		Informe EQUINOCCIAL  PIFO AG 9,35mm FÍSICOS NORTE 29- <i>Anexo 44 Peso Unitario Grava Equinoccial</i>	

Tabla 25 Peso Unitario Ripio 10

3.2.7 Diseño teórico de hormigón

En base a la información obtenida arriba descritos se realiza un *Diseño teórico para hormigón* de 450Kg/cm², En esta parte existen muchas variables y se obtuvieron diseños muy diferentes que luego en base a la dosificación de Equinoccial se trató de ajustar.

En la tabla a continuación un resumen con la información más relevante pero la norma e informe completo lo pueden encontrar en los iconos adjuntos

Diseño PUCE



Dosificación		450 kg/cm ²	
	Descripción	Cantidad (Kg)	Link virtual
			Informe PUCE
	Cemento IP	477,86	 Dosificación puce.pdf <i>Anexo 45 Dosificación PUCE</i>
	Arena 1 <i>San Antonio</i>	658,32	
	Arena 2 <i>Pijo</i>	282,14	
	Ripio 10	720,32	
Agua	199,13		

Tabla 26 Dosificación PUCE

Diseño EQUINOCCIAL


Dosificación		450 kg/cm ²	
	Descripción	Cantidad (Kg)	Link virtual
			Informe
	Cemento HE	400	
	Arena 1	659,21	
	Arena 2	285,47	
	Ripio 10	691,72	
	Agua	194	
	Sika BASF ¹	2,4	
TM42 ²	0,8		

Tabla 27 Dosificación Equinoccial

¹ VSFF Superplastificante

² Tm42 Retardante

3.2.8 Conclusiones

En los ensayos se puede ver que los valores siempre estuvieron muy cercanos, pero no así el diseño de hormigón donde la cantidad de cemento es mayor, esto se debe principalmente al uso de aditivos y el tipo de cemento que se usó, por un lado, la PUCE con cemento 1P y EQUINOCCIAL el HE.

Esta optimización de la dosificación al reducir la cantidad de cemento es lo que hace competitiva a la hormigonera porque este es el material o insumo de más alto costo en el hormigón.

3.3 FASE 2. ENSAYO INDUSTRIAL

La intención de esta tesis siempre fue el llevar esta idea a un ensayo industrial o a gran escala, porque en un ambiente controlado como los laboratorios se puede alcanzar resultados muy exactos, pero dejamos de lado otras variables, como el calor de hidratación que cuanto más cemento mayor es.

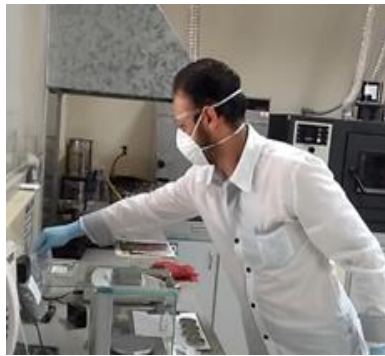


Ilustración 39 Ambiente controlado

Por eso se realizó un ensayo industrial, esta parte de la ejecución se la realizó en la Hormigonera Equinoccial, donde gracias a la experiencia de su personal, apoyo logístico, apoyo con personal y materiales hizo posible la ejecución de esta fase.



Ilustración 40 Hormigonera Equinoccial – Mar 2018

Basado en lo planificado y ensayos de la fase previa se decidió realizar este ensayo en la tarde para reducir el aumento de temperatura.

Se realizaron 8 mezclas donde se varía los porcentajes de aluminio respecto al peso del cemento en la dosificación de hormigón utilizado.

Los porcentajes teóricos que se deseaba alcanzar se muestran a continuación y fueron escogidos porque así se tendrá un conjunto de valores que muestren mejor el comportamiento de estas reacciones.

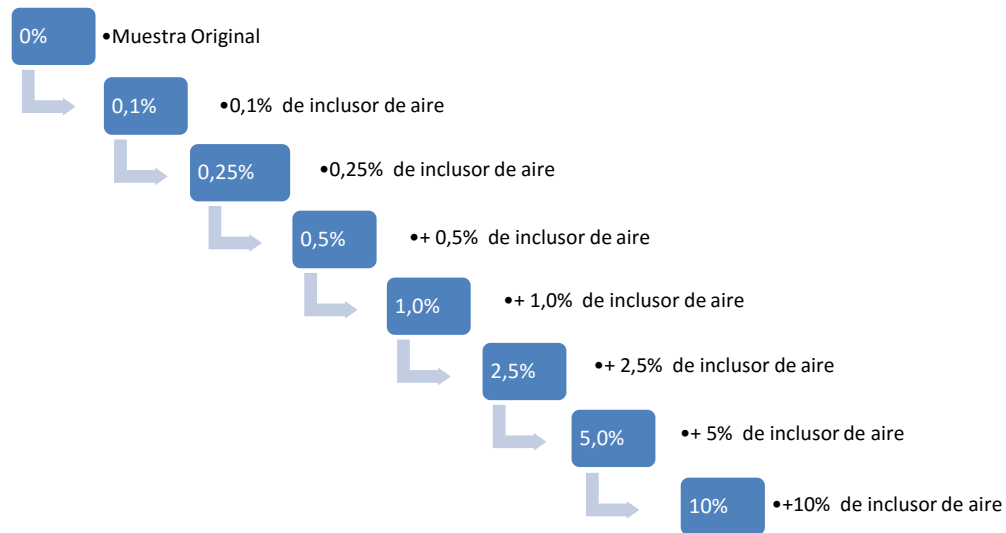


Ilustración 41 Esquema de porcentajes a usar

Se tomará la cantidad de cilindros y viguetas de las diferentes mezclas o dosificaciones ya definida en la planeación para obtener resultados confiables

Se ensayará alrededor de 96 cilindros, por lo que se definió el siguiente procedimiento para reducir tiempos y variabilidad.

La fabricación de una muestra patrón, para reducir las variables, a la que se le agregará el inclusor como se muestra en la siguiente tabla:

CANTIDAD DE PROBETAS PARA MUESTREO Y ENSAYO															
TIPO	EDAD	ENSAYOS				PORCENTAJES									
		vertical	flex	horiz	extra	0,00%	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%	2,50%	5,00%	10,00%		
Cilindros	7	2			1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24
viga						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cilindros	14	2			1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	24
viga						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cilindros	28	2		2	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	48
viga				2		1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Cilindros	TOTAL					12	12	12	12	12	12	12	12	12	64 + 32
viga						3	3	3	3	3	3	3	3	3	16 + 8

Tabla 28 Cantidad de Probetas para muestreo y ensayo

El proceso será: Un mixer con el volumen necesario (1m³) se le extraerá un volumen conocido para el muestreo a través de probetas, al residuo dentro del mixer se le agregará cantidades controladas de inclusor de aire (aluminio) y agua para tratar de cumplir con los porcentajes establecidos, después de cada adición se pesará el mixer para luego poder ajustar o tener porcentajes reales.

Este ensayo se lo detalla paso a paso en el procedimiento adjunto PO EJ. 002 – ENSAYO INDUSTRIAL



PO EJ 002 - ENSAYO INDUSTRIAL - 2.pdf

Anexo 46 Procedimiento Operacional Ensayo Industrial – Mar 2018

Las cantidades de aluminio que se adicionará después de cada extracción para la toma de muestras, serán como se muestra en la siguiente tabla:

Toma de Muestra	% de Al	Volumen de hormigón (m³)			Inclusor de aire (Kg)		
		Antes	Extrae	Restante	Antes	Adiciona	Resultante
toma 1	0,00%	1,00	0,125	0,875	0,000	0,00	0,00
toma 2	0,10%	0,875	0,125	0,750	0,000	0,438	0,438
toma 3	0,25%	0,75	0,125	0,625	0,438	0,438	0,875
toma 4	0,50%	0,625	0,125	0,500	0,875	0,938	1,813
toma 5	1,00%	0,5	0,125	0,375	1,813	1,563	3,375
toma 6	2,50%	0,375	0,125	0,250	3,375	2,500	5,875
toma 7	5,00%	0,25	0,125	0,125	5,875	4,688	10,563
toma 8	10,00%	0,125	0,125	0,000	10,563	6,250	16,813

Tabla 29 Consumo de hormigón y óxido de aluminio para cada toma

Para obtener mejores resultados se tamizo el material para poder retirar las impurezas y luego se procederá a colocar en fundas el peso calculado para obtener los incrementos del porcentaje de aluminio



TAMIZAR Y PESAR
1-0.wmv

Video 8 Tamizado y pesaje – Mar 2018



Ilustración 42 Esquema recorrido Ensayo Industrial

CIRCUITO 1.avi

Video 10 Circuito 1

CIRCUITO 2-0.wmv

Video 9 Circuito 2

Terminada esto, las probetas se desencofraron al 3° día y se colocarán en un cuarto con humedad del 100%, las probetas se mantendrán dentro del cuarto de humedad hasta el día anterior al de su ensayo, cuando se preparara la probeta para el ensayo.



Ilustración 44 Probetas en el cuarto de curado – Abr 2018



Ilustración 43 Probetas en Cuarto de curado – Abr 2018

3.4 FASE 3. ENSAYO A PROBETAS

Una vez completada la fase anterior las muestras serán preparadas, debido al esponjamiento las caras no son rectas ni paralelas requisito indispensable para tener resultados fiables.



Ilustración 46 Cilindros a preparar – May 2018



Ilustración 45 Cilindros preparados – May 2018

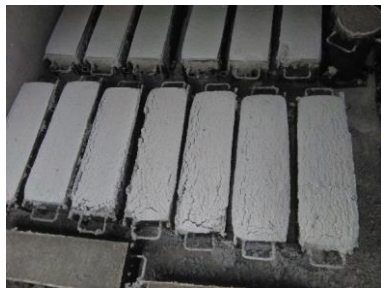


Ilustración 47 Viguetas a preparar – May 2018



Ilustración 48 Viguetas preparadas – May 2018



preparacion
cilindros.wmv

Video 14 Preparación de
cilindros – May 2018



Preparacion
viga.wmv

Video 11 Preparación de vigas –
May 2018

Los ensayos que se realizó en el laboratorio de la PUCE, fueron:



Resistencia a la compresión F'_c



Resistencia a la flexión



Resistencia a la tracción indirecta



Módulo de elasticidad



Peso específico – Densidad

3.4.1 Resistencia a la compresión

Este ensayo es el más utilizado y nos muestra la resistencia del hormigón al aplastamiento o compresión se encuentra dividiendo la carga máxima para el área de aplicación de la carga.

Resistencia a la compresión




Edad		7 días		
	Identificación	Carga (KN)	Link virtual	
			Datos de campo Norma	
	0%		 7 días.pdf <i>Anexo 47 Datos compresión 7 días</i>	 ASTM C39-C39-15a.pdf <i>Anexo 48 ASTM C39 C39 - 15</i>
	0,10%	153,59		
	0,25%	150,64		
	0,50%	150,61		
	1%	152,62		
	2,50%	150,42		
	5%	150,85		
10%	150,37			

Tabla 30 Resistencia a los 7 días

Resistencia a la compresión




Edad		14 días		
	Identificación	Carga (KN)	Link virtual	
			Datos de campo	Norma
	0%	153,21	 14 días.pdf <i>Anexo 49 Datos Compresión 14 días</i>	 ASTM C39-C39-15a.pdf <i>Anexo 50 ASTM C39 C39 -15a</i>
	0,10%	150,78		
	0,25%	154,49		
	0,50%	153,27		
	1%	151,34		
	2,50%	153,10		
	5%	155,83		
10%	150,44			

Tabla 31 Resistencia a los 28 días

Resistencia a la compresión




Edad		28 días		
	Identificación	Carga (KN)	Link virtual	
			Datos de campo	Norma
	0%	523,65	 28 comp.pdf <i>Anexo 51 Datos compresión 28 días</i>	 ASTM C39-C39-15a.pdf <i>Anexo 52 ASTM C39 C39 - 15a</i>
	0,10%	194,00		
	0,25%	148,61		
	0,50%	104,40		
	1%	52,89		
	2,50%	15,36		
	5%	11,99		
10%	15,59			

Tabla 32 Resistencia a los 14 días



Compresion
1-0.wmv

Video 15 Ensayo de compresión - May 2018

3.4.2 Resistencia a la flexión

Resistencia a la flexión




Edad		28 días		
	Identificación	carga (KN)	Link virtual	
			Datos de campo	Norma
	0%	45800,00	 28 flex.pdf <i>Anexo 53 Datos Flexión 28 días</i>	 ASTM C78-C78M-16.pdf <i>Anexo 54 ASTM C78 - 16</i>
	0,10%	35150,00		
	0,25%	23800,00		
	0,50%	20600,00		
	1%	13220,00		
	2,50%	8225,00		
5%	3385,00			
10%	4490,00			

Tabla 33 Resistencia a la flexión



Flexion.wmv

Video 17 Ensayo flexión – May 2018

3.4.3 Tracción indirecta

Tracción indirecta




Edad		28 días		
	Identificación	Carga (KN)	Link virtual	
			Datos de campo	Norma
	0%	290,35	 28 paral.pdf <i>Anexo 55 Datos tracción indirecta 28 días</i>	 ASTM C496-C496M-11.pdf <i>Anexo 56 ASTM C496 C496M - 11</i>
	0,10%	191,85		
	0,25%	126,75		
	0,50%	73,55		
	1%	55,85		
	2,50%	28,75		
5%	18,35			
10%	27,70			

Tabla 34 Resistencia Tracción indirecta

Comentado [BG2]: Editar video tracción



Traccion indirecta.wmv

Video 18 Ensayo tracción indirecta – May 2018

3.4.4 Módulo de elasticidad

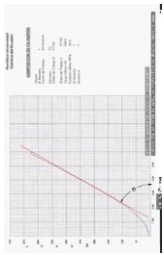

Edad		28 días		
	Identificación	1	2	Link virtual
	Datos de campo			
	0,00%	299273,06	231388,23	 modulo elasticidad.pdf <i>Anexo 57 Curvas esfuerzo deformación</i>
	0,10%	329544,94	192435,68	
	0,25%	263190,18	169984,00	
	0,50%	121404,97	160114,83	
	1,00%	81361,72	68119,68	
	2,50%	40713,98	43947,72	
	5,00%	24902,49	22208,85	
10,00%	17510,18	13749,18		

Tabla 35 Calculo Modulo de Elasticidad

3.4.5 Peso Específico o densidad


Edad		28 días	
	Identificación	Densidad γ/m^3	Datos de campo
	0%	2,30	
	0,10%	2,08	
	0,25%	1,86	
	0,50%	1,74	
	1%	1,60	
	2,50%	1,47	
	5%	1,42	
	10%	1,51	

Tabla 36 Calculo Peso Específico / Densidad

4 CAPITULO 4 FASE SEGUIMIENTO Y CONTROL.

ENSAYOS DE LABORATORIO, OBTENCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 FASE PREVIA

4.1.1.1 Resistencia a la compresión

Este ensayo es el más utilizado para verificar la resistencia del hormigón a la compresión. Para el cálculo se utilizará la formula a continuación que está en la norma.

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Ecuación 1 Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión 7 días




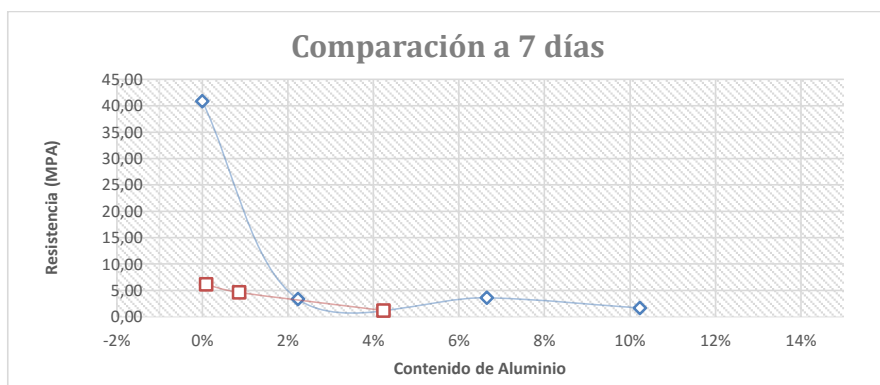
Edad		7 días			
Identificación		Resistencia (MPA)	Link virtual		
			Informe PUCE	Norma	
	M1 0%	0%	40,85	 prueba 7 dias bk.pdf <i>Anexo 58 Informe Laboratorio resistencia compresión 7 días</i>	 ASTM C39-C39-15a.pdf <i>Anexo 59 ASTM C39 C39 - 15a</i>
	M1 2%	2%	3,32		
	M1 7%	7%	3,59		
	M1 10%	10%	1,65		
	M² 0%	0%	6,13		
	M² 1%	1%	4,62		
	M² 4%	4%	1,17		







Tabla 37 Resistencia a compresión 7 días



En esta grafica se puede ver que la pérdida de resistencia es realmente acelerada antes de alcanzar el 1% de aluminio y el otro es un hormigón con exceso de agua al que aplicamos aluminio para reducir el asentamiento.




4.2 FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA

Caracterización de las materias primas, en esta etapa se revisará la información obtenida en los laboratorios de la PUCE con la información obtenida en el laboratorio de la Hormigonera Equinoccial para cada uno de estos ensayos y se los comparará con los límites establecidos en las normas

	Abrasión		Granulometría
	Materia orgánica		Absorción
	Peso Unitario		Material que pasa el tamiz 200

4.2.1 Abrasión

Solo se realiza este ensayo a materiales granulares, se podría calificar a este como Bueno

Abrasión					
	Tamaño del agregado	Tipo Gradación	Porcentaje desgaste	Link virtual	
				Norma	Informe PUCE
	10mm	C	10% < x < 45% 18,00%	 ASTM C131-C131M-14.pdf <i>Anexo 60 ASTM C131 C131M - 14</i>	 Abrasion Grava 10.pdf <i>Anexo 61 informe laboratorio Abrasión grava</i>

por que presento un 18% de *Tabla 38 Abrasión ripio 10mm* desgaste y el margen de aceptación esta entre el 10 y 45%

Grafica 5 Comparación resistencia a la compresión 7 días

4.2.2 Granulometría

ARENA 1: San Antonio





Granulometría	Arena San Antonio			
	Tamiz	% Retenido	% Pasa	Link virtual
				Norma
	2	0,00%	100,00%	 Granulometria Mitad del Mundo.pc <i>Anexo 63 Informe granulometría PUCE</i>
	1 1/2	0,00%	100,00%	
	1	0,00%	100,00%	
	3/4	0,00%	100,00%	
	1/2	0,00%	100,00%	 ASTM C136-C136M-14.pdf <i>Anexo 62 ASTM C136 C136M - 14</i>
	3/8	0,00%	100,00%	
	4	0,20%	99,80%	
	8	24,70%	75,30%	
	16	48,90%	51,10%	
	30	64,80%	35,20%	
	50	75,80%	24,20%	
	100	82,20%	17,80%	
			Informe EQUINOCCIAL	
			 SAN ANTONIO PEREZ AF GRANULO <i>Anexo 64 Informe granulometría Equinoccial</i>	

Tabla 39 Granulometría Arena San Antonio

A esta arena se puede catalogar basado en su granulometría como muy fina, no cumple para hormigones por si sola; requeriría mucho cemento para poder alcanzar una buena mezcla.

ARENA 2: Pífo





Granulometría		Arena Pifo			
	Tamiz	% Retenido	% Pasa	Link virtual	
				Norma	Informe PUCE
	2	0,00%	100,00%	 ASTM C136-C136M-14.pdf <i>Anexo 65 ASTM C136 C136M - 14</i>	 Granulometria Pifo.pdf <i>Anexo 66 Informe granulometría PUCE</i>
	1 1/2	0,00%	100,00%		
	1	0,00%	100,00%		
	3/4	0,00%	100,00%		
	1/2	0,00%	100,00%		Informe EQUINOCCIAL
	3/8	0,55%	99,45%		
	4	71,98%	28,02%		
	8	92,28%	7,72%		
	16	96,23%	3,77%		
	30	96,23%	3,77%		 PIFO AF GRANULOMETRÍA FI <i>Anexo 67 Informe granulometría Equinoccial</i>
	50	96,23%	3,77%		
100	96,23%	3,77%			

Tabla 40 Granulometría Arena Pifo

A esta arena se puede catalogar basado en su granulometría como buena pero no cumple en la porción fina, no cumple para hormigones por si sola; requeriría mucho cemento para poder llenar los espacios

Se realizan varias combinaciones para determinar la mejor mezcla de estos materiales y se determina como 70% Arena Pifo y 30% Arena San Antonio, de esta forma la granulometría queda dentro de los límites de la ASTM C33.

RIPIO 10: Pifo





Granulometría		Ripio 10mm				
	Tamiz	% Retenido	% Pasa	Link virtual		
				Norma	Informe PUCE	
	4	0,00%	100,00%	 ASTM C136-C136M-14.pdf <i>Anexo 68 ASTM C136 C136M - 14</i>	 Granulometría Grava 10.pdf <i>Anexo 69 Informe granulometría PUCE</i>	
	3 1/2	0,00%	100,00%			
	3	0,00%	100,00%			
	2 1/2	0,00%	100,00%			
	2	0,00%	100,00%			
	1 1/2	0,00%	99,45%		 PIFO AG 9,35mm GRANULOMETRÍA N <i>Anexo 70 Informe Granulometría Equinoccial</i>	
	1	0,00%	28,02%			Informe EQUINOCCIAL
	3/4	0,00%	7,72%			
	1/2	0,00%	3,77%			
	3/8	0,55%	3,77%			
	N° 4	71,98%	3,77%			
	N° 8	92,28%	3,77%			
N° 16	96,23%	3,77%				
N° 50	96,23%	3,77%				

Tabla 41 Granulometría Ripio 10

A esta grava de 10mm se la puede catalogar basado en su granulometría como excelente, al graficarla se ve que queda dentro de los límites de la ASTM C33,

Esta relación debe realizarse a todos los demás ensayos para determinar las características de esta nueva arena que sería la mezcla de las otras arenas.

4.2.3 Gravedad específica y absorción

ARENA 1: San Antonio


Gravedad Especifica		Arena San Antonio			
	Descripción	Valor		Link virtual	
	Seca	GS	2,37	Norma	Informe PUCE
		GS (30%)	0,711		
	Saturada con superficie seca	Ges	2,48	ASTM C128-15.pdf	Gravedad específica Mitad del mundo.pc <i>Anexo 72 Informe GS PUCE</i>
		Ges (30%)	0,744		
	Aparente	Gea	2,56	<i>Anexo 71 ASTM C128 - 15</i>	Informe EQUINOCCIAL
		Gea (30%)	0,768		
% Absorción	Ab	4,70%		SAN ANTONIO PEREZ AF FISICAS 13 <i>Anexo 73 Informe GS Equinoccial</i>	
	Ab (30%)	0,0141			

Tabla 42 Gs San Antonio Mezcla

ARENA 2: Pifo


Gravedad Especifica		Arena Pifo			
	Descripción	Valor		Link virtual	
	Seca	GS	2,37	Norma	Informe PUCE
		GS (70%)	1,659		
	Saturada con superficie seca	Ges	2,48	ASTM C128-15.pdf	Gravedad específica Pifo.pdf <i>Anexo 75 Informe GS PUCE</i>
		Ges (70%)	1,736		
	Aparente	Gea	2,56	<i>Anexo 74 ASTM C128 - 15</i>	Informe EQUINOCCIAL
		Gea (70%)	1,792		
% Absorción	Ab	4,70%		PIFO AF FISICAS NORTE 28-12-17.pdf <i>Anexo 76 Informe GS Equinoccial</i>	
	Ab (70%)	0,0329			

Tabla 43 Gs Pifo mezcla

ARENA 3: Mezcla



Gravedad Especifica		Arena Mezcla		
	Descripción	Valor		Link virtual
				Norma
	Seca	GS	2,37	 ASTM C128-15.pdf <i>Anexo 77 ASTM C128 - 15</i>
	Saturada con superficie seca	Ges	2,48	
	Aparente	Gea	2,56	
% Absorción	Ab	4,70%		

Tabla 44 Gs Mezcla

RIPIO 10: Pifo





	Descripción	Valor	Link virtual		
			Norma	Informe PUCE	
	Seca	GS	2,48	 ASTM C127-15.pdf <i>Anexo 78 ASTM C127 - 15</i>	 Gravedad específica Grava 10.pdf <i>Anexo 79 Informe GS PUCE</i>
	Saturada con superficie seca	Ges	2,56		Informe EQUINOCCIAL
	Aparente	Gea	2,67		 PIFO AG 9,35mm FÍSICOS NORTE 29- <i>Anexo 80 Informe GS Equinoccial</i>
% Absorción	Ab	3,00%			

Tabla 45 Gravedad Especifica Ripio 10

Para determinar la mejor dosificación de hormigón, y manejar solo 1 Árido grueso y un fino, para el agregado fino se usará la Arena mezcla y Ripio 10 que son las tablas con valores en gris

4.2.4 Materia Orgánica

ARENA 1: San Antonio

Contenido Orgánico	Arena San Antonio		Link virtual	
	Descripción	Valor	Norma	Informe PUCE
	Contenido Orgánico	si	 ASTM C40-C40M-16.pdf <i>Anexo 81 ASTM C40 C40M - 16</i>	 Contenido Organico Mitad del <i>Anexo 82 Informe Contenido orgánico PUCE</i>
	Valor en escala	1		 SAN ANTONIO PEREZ AF ESPECIAL <i>Anexo 83 Informe Contenido orgánico Equinoccial</i>
		0 < x < 3		

Tabla 46 Contenido Orgánico San Antonio

Solo se realiza este ensayo a la arena, se podría calificar a como Bueno por que presento un valor de 1 en la escala de Gardner y el margen de aceptación esta entre el 0 y 3.

ARENA 2: Pífo





Contenido Orgánico	Arena San Pífo		
	Descripción	Valor	Link virtual
			Norma
	Contenido Orgánico	si	 Contenido Organico Pífo.pdf <i>Anexo 85 Informe Contenido orgánico PUCE</i>
	Valor en escala	0	 ASTM C40-C40M-16.pdf <i>Anexo 84 ASTM C40 C40M - 16</i>
0 < x < 3			Informe EQUINOCCIAL  PIFO AF ESPECIALES NORTE 2 <i>Anexo 86 Informe Contenido orgánico Equinoccial</i>

Tabla 47 Contenido Orgánico Pífo

Solo se realiza este ensayo a la arena, se podría calificar a como Bueno por que presento un valor de 0 en la escala de Gardner y el margen de aceptación esta entre el 0 y 3.

4.2.5 Material que pasa el tamiz #200

ARENA 1: San Antonio





Material pasa #200	Arena San Antonio		
	Descripción	Valor	Link virtual
			Norma
	% pasa #200	16,50%	 Material que pasa el tamiz N°200 Mitac <i>Anexo 88 Informe Pasa #200 PUCE</i>
	% pasa #200 (30%)	4,95%	 ASTM C117-13.pdf <i>Anexo 87 ASTM C117 - 13</i>
			Informe EQUINOCCIAL  SAN ANTONIO CEVALLOS AF FISICA <i>Anexo 89 Informe Pasa #200 Equinoccial</i>

Tabla 48 Pasa #200 San Antonio

ARENA 2: Pifo





Material pasa #200	Arena Pifo		
	Descripción	Valor	Link virtual
			Norma
	% pasa #200	12,10%	 Material que pasa el tamiz N°200 Pifo, r <i>Anexo 91 Informe Pasa #200 PUCE</i>
	% pasa #200 (70%)	8,47%	 ASTM C117-13.pdf <i>Anexo 90 ASTM C117 - 13</i>
			Informe EQUINOCCIAL  PIFO AF FISICAS NORTE 28-12-17.pdf <i>Anexo 92 Informe Pasa #200 Equinoccial</i>

Tabla 49 Pasa #200 Pifo

ARENA 3: Mezcla



Material pasa #200		Arena Mezcla 30% San Antonio y 70% Pifo	
	Descripción	Valor	Link virtual Norma
	% pasa #200	13,42%	 ASTM C117-13.pdf Anexo 93 ASTM C117 - 13

Tabla 50 Pasa #200 Mezcla

Solo se realiza este ensayo a la arena, y el porcentaje que pasa el tamiz #200 debe ser menor que el 5% y en casos especiales hasta el 7%.

Sustancias perjudiciales en el agregado fino	
Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	1
Carbón y lignito	0,5
Concreto visto o expuesto	1
Cualquier otro concreto	1
<i>Materiales finos que pasan la malla N°200</i>	
Concreto sujeto a desgaste	3
Cualquier otro concreto	5

Tabla 51 Limites agregado fino

(Mexico, 2018)

Material que pasa el tamiz N°200 casos especiales		
Límite: liquido %	Índice: plastico %	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Hasta 25	hasta 5	18
	de 5 a 10	14
	de 10 a 15	9
de 26 a 35	hasta 5	15
	de 5 a 10	11
	de 10 a 15	7
de 36 a 45	hasta 5	12
	de 5 a 10	9
	de 10 a 15	6
de 46 a 55	hasta 5	9
	de 5 a 10	7
	de 10 a 15	5

Tabla 52 Material que pasa el tamiz #200

(Mexico, 2018)

Lo que se recomienda es realizar una prueba y determinar si este material alcanza una resistencia de al menos el 90% de la resistencia de diseño, se aceptar. Como ya se ha visto la resistencia se alcanza

4.2.6 Peso Unitario

ARENA 1: San Antonio





Peso Unitario	Arena Pifo		
	Descripción	Valor	Link virtual
	Suelto	1651	<p>Norma</p> <p>Informe PUCE</p> <p> Peso Unitario Mitad del Mundo.pdf</p> <p><i>Anexo 95 Informe Peso Unitario PUCE</i></p>
	Suelto (30%)	495	<p>Norma</p> <p> ASTM C29-C29M-17.pdf</p> <p><i>Anexo 94 ASTM C29 C29M - 17</i></p> <p>Informe EQUINOCCIAL</p>
	Compactado	1790	
	Compactado (30%)	537	<p>Informe PUCE</p> <p> SAN ANTONIO PEREZ AF FISICAS 13</p> <p><i>Anexo 96 Informe Peso unitario Equinoccial</i></p>

Tabla 53 Peso Unitario Pifo mezcla

ARENA 2: Pifo





Peso Unitario	Arena San Antonio		
	Descripción	Valor	Link virtual
	Suelto	1706	<p>Norma</p> <p>Informe PUCE</p> <p> Peso Unitario Pifo.pdf</p> <p><i>Anexo 98 Informe Peso Unitario PUCE</i></p>
	Suelto (70%)	1194	<p>Norma</p> <p> ASTM C29-C29M-17.pdf</p> <p><i>Anexo 97 ASTM C29 C29M - 17</i></p> <p>Informe EQUINOCCIAL</p>
	Compactado	1840	
	Compactado (70%)	1288	<p>Informe PUCE</p> <p> PIFO AF FISICAS NORTE 28-12-17.pdf</p> <p><i>Anexo 99 Informe Peso unitario Equinoccial</i></p>

Tabla 54 Peso Unitario San Antonio mezcla

ARENA 3: Mezcla



Peso Unitario		Arena mezcla		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Suelto	1689,50	 ASTM C29-C29M-17.pdf Anexo 100 ASTM C29 C29M - 17	Informe EQUINOCCIAL
Compactado	1825,00			

Tabla 55 Peso Unitario Mezcla

RIPIO 10: Pifo





Peso Unitario		Ripio 10		
	Descripción	Valor	Link virtual	
			Norma	Informe PUCE
	Suelto	1357,00	 ASTM C29-C29M-17.pdf Anexo 101 ASTM C29 C29M - 17	 Peso Unitario Grava 10.pdf Anexo 102 Informe Peso unitario PUCE
Compactado	1517	Informe EQUINOCCIAL		
			 PIFO AG 9,35mm FÍSICOS NORTE 29- Anexo 103 Informe Peso unitario Equinoccial	

Tabla 56 Peso Unitario Ripio 10

4.2.7 Diseño teórico de hormigón

Diseño PUCE (SIN FACTOR DE SEGURIDAD)

Dosificación		450 kg/cm ²	
	Descripción	Cantidad (Kg)	Link virtual
			Informe PUCE
	Cemento IP	477,86	 Dosificación puce.pdf Anexo 104 Informe Dosificación PUCE
	Arena 1	658,32	
	Arena 2	282,14	
	Ripio 10	477,86	
Agua	199,13		

Tabla 57 Dosificación PUCE

Diseño EQUINOCCIAL

Dosificación		450 kg/cm ²	
	Descripción	Cantidad (Kg)	Link virtual
			Informe
	Cemento HE	400	
	Arena 1	659,21	
	Arena 2	285,47	
	Ripio 10	691,72	
	Agua	194	
	BASF	2,4	
TM42	0,8		

Tabla 58 Dosificación Equinoccial

4.2.7.1 Conclusiones

Como se puede ver en los ensayos y comparándolos con los límites que presentan las normas este material está dentro de todas las especificaciones, esto les permite tener diseños muy óptimos al poder alcanzar resistencias confiables con una menor cantidad de cemento al teórico calculado, esto se puede lograr gracias al uso de Cemento HE y aditivos de última generación.

4.3 FASE 2. ENSAYO INDUSTRIAL

Para esta etapa de monitoreo y control del ensayo industrial solo se puede dar un criterio cualitativo por no poder encontrar un indicador para obtener un indicador cuantitativo. Este ensayo fue un éxito, se logró cumplir con lo planificado.

Esta tabla nos muestra la planificación teórica de incrementos de aluminio para alcanzar los diferentes porcentajes.

Toma de Muestra	% de Al	Volumen de hormigón (m³)			Inclusor de aire (Kg)		
		Antes	Extrae	Restante	Antes	Adiciona	Resultante
toma 1	0,00%	1,00	0,125	0,875	0,000	0,438	0,438
toma 2	0,10%	0,875	0,125	0,750	0,438	0,438	0,875
toma 3	0,25%	0,75	0,125	0,625	0,875	0,938	1,813
toma 4	0,50%	0,625	0,125	0,500	1,813	1,563	3,375
toma 5	1,00%	0,5	0,125	0,375	3,375	2,500	5,875
toma 6	2,50%	0,375	0,125	0,250	5,875	4,688	10,563
toma 7	5,00%	0,25	0,125	0,125	10,563	6,250	16,813
toma 8	10,00%	0,125	0,125	0,000	16,813	0	16,813

Tabla 59 Consumo de hormigón y óxido de aluminio para cada toma

En el ensayo industrial Las cantidades de aluminio se cumplieron, pero no así el volumen extraído en cada toma, es por eso que se hace ese reajuste para determinar el porcentaje real de aluminio en relación con el cemento, gracias al pesaje que se hizo después de cada toma.

Descripción	Ensayo Industrial				Adición		Porcentaje Aluminio	
	Peso Total Kg	Peso Mixer Kg	HORMIGÓN Kg	Cemento Kg	Aluminio Kg	AGUA Litro	real	teórico
Peso Mixer	13360	13360	0	0,0000	0	0		
Mixer + 1m³	15520	13360	2160	1,0000	400	0	0,00%	0,00%
1 vuelta	15450	13360	2090	0,9676	387,037	0,35	0,09%	0,10%
2 vuelta	14910	13360	1550	0,7176	287,037	0,735	0,35%	0,25%
3 vuelta	14620	13360	1260	0,5833	233,3333	1,2	0,86%	0,50%
4 vuelta	14360	13360	1000	0,4630	185,1852	1,9	1,89%	1,00%
5 vuelta	14120	13360	760	0,3519	140,7407	3,3	4,23%	2,50%
6 vuelta	13910	13360	550	0,2546	101,8519	3,9	8,06%	5,00%

Tabla 60 Reajuste del porcentaje de aluminio

7 vuelta	13610	13360	250	0,1157	46,2963	2,4	4,8	13,24%	10,00%
----------	-------	-------	-----	--------	---------	-----	-----	--------	--------

4.4 FASE 3. ENSAYO A PROBETAS

4.4.1.1 Resistencia a la compresión

Este ensayo es el más utilizado para verificar la resistencia del hormigón a la compresión. Para el cálculo se utilizará la formula a continuación que está en la norma.

Ecuación 2 Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión 7 días



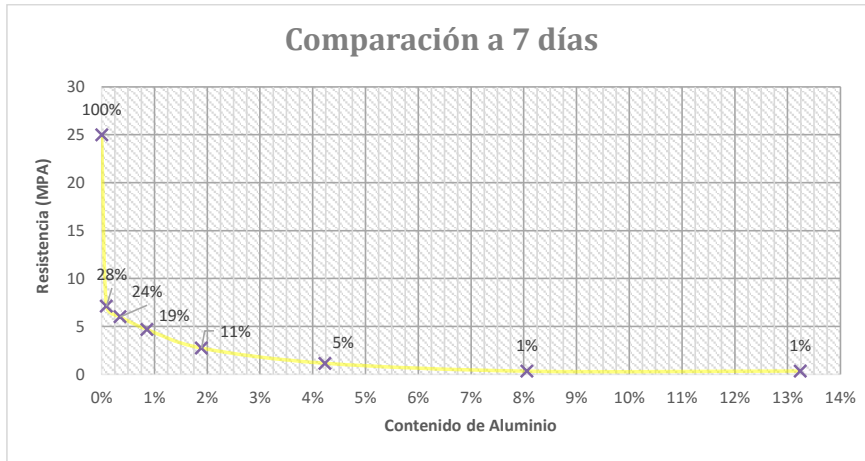
Edad	Identificación		Resistencia (MPA)	7 días	
				Informe PUCE	Norma
		0%	0%		 Compresion 7 días.pdf Anexo 105 Informe Compresión 7 días PUCE
0,09%		0,10%	7,12		
0,35%		0,25%	6,01		
0,86%		0,50%	4,68		
1,89%		1%	2,74		
4,23%		2,50%	1,15		
8,06%		5%	0,33		
13,24%		10%	0,34		

Tabla 61 Resistencia a compresión 7 días

Grafica 1 Comparativa resistencia a compresión 7 días

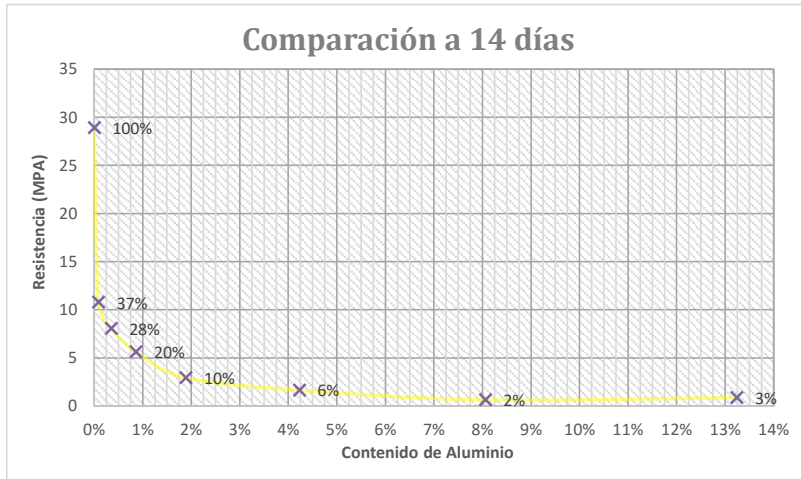


En esta grafica se puede ver que la pérdida de resistencia es realmente acelerada antes de alcanzar el 0,10% de aluminio ya se ha perdido más del 70% de resistencia.

Tabla 62 Resistencia a compresión 14 días

Resistencia a la compresión 14 días

Edad		14 días			
	Identificación		Resistencia (MPa)	Link virtual	
				Informe PUCE	Norma
	0%	0%	28,90	 compresion 14 dias.pdf <i>Anexo 107 Informe Compresión 14 días PUCE</i>	 ASTM C39-C39-15a.pdf <i>Anexo 108 ASTM C39 C39 - 15a</i>
	0,09%	0,10%	10,78		
	0,35%	0,25%	8,06		
	0,86%	0,50%	5,64		
	1,89%	1%	2,96		
	4,23%	2,50%	1,66		
	8,06%	5%	0,65		
	13,24%	10%	0,88		





Grafica 2 Comparativa compresión 14 días

Tabla 63 Resistencia a compresión 28 días

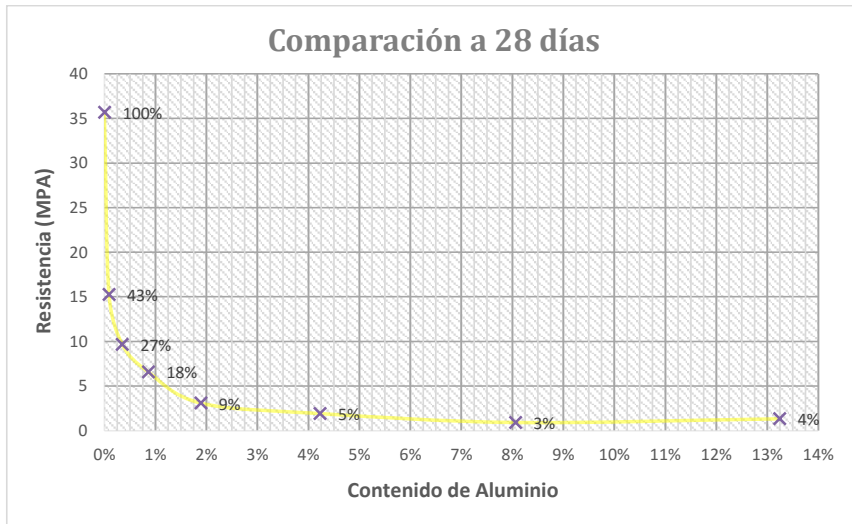
En esta grafica se puede ver que la pérdida de resistencia es realmente acelerada antes de alcanzar el 0,10% de aluminio ya se ha perdido más del 60% de resistencia.

Resistencia a la compresión 28 días

Edad		28 días		
Identificación	Resistencia (MPA)	Link virtual		
		Informe PUCE	Norma	
0%	0%	35,68	 Compresion 28 dias.pdf Anexo 109 <i>Informe compresión 28 días PUCE</i>	 ASTM C39-C39-15a.pdf Anexo 110 <i>ASTM C39 C39 - 15a</i>
0,09%	0,10%	15,24		
0,35%	0,25%	9,67		
0,86%	0,50%	0,00		
1,89%	1%	3,08		
4,23%	2,50%	1,91		
8,06%	5%	0,91		
13,24%	10%	1,32		



Ecuación 3 Resistencia a la flexión



En esta grafica se puede ver que la pérdida de resistencia es realmente acelerada antes de alcanzar el 0,10% de aluminio ya se ha perdido más del 50% de resistencia.

4.4.1.2 Resistencia a la flexión

Para el cálculo se utilizará la formula a continuación que está en la norma.

Grafica 3 Comparativa compresión 28 días

Resistencia a flexión




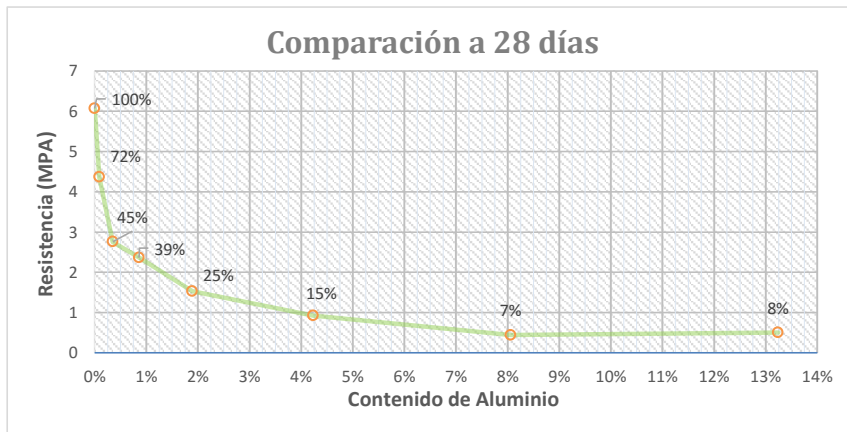
Edad		28 días			
	Identificación		Resistencia (MPa)	Link virtual	
				Informe PUCE	Norma
	0%	0%	6,07	 Flexion 28 dias.pdf <i>Anexo 111</i> <i>Informe Flexión</i> <i>PUCE</i>	 ASTM C78-C78M-16.pdf <i>Anexo 112</i> <i>ASTM C78</i> <i>C78M - 16</i>
	0,09%	0,10%	4,37		
	0,35%	0,25%	2,76		
	0,86%	0,50%	2,36		
	1,89%	1%	1,53		
	4,23%	2,50%	0,92		
	8,06%	5%	0,44		
	13,24%	10%	0,50		

Tabla 64 Resistencia a flexión 28 días



Grafica 4 Comparativa resistencia a flexión 28 días

En esta grafica se puede ver que la pérdida de resistencia es grande hasta alcanzar el 1% y antes de alcanzar el 0,10% de aluminio solo ha perdido el 30% de resistencia.

4.4.1.3 Tracción indirecta

Ecuación 4 Resistencia Tracción indirecta

Para el cálculo se utilizará la formula a continuación que está en la norma.

Tracción Indirecta




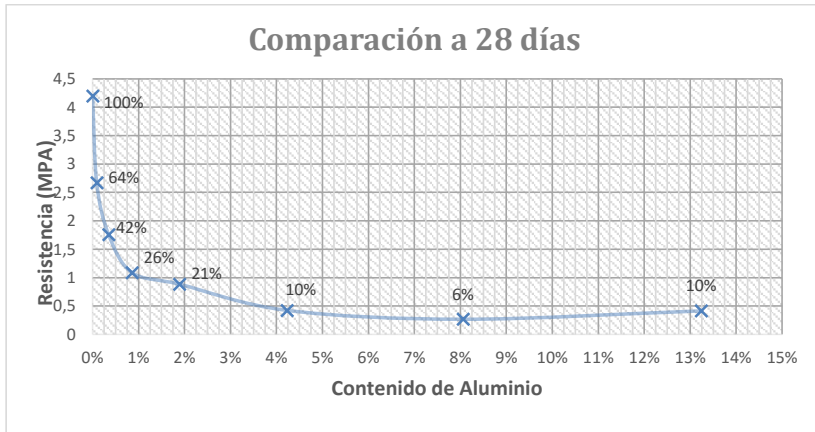
Edad		28 días			
	Identificación		Resistencia (MPA)	Link virtual	
				Informe PUCE	Norma
	0%	0%	6,07	 Traccion indirecta 28dias.pdf <i>Anexo 113 Informe tracción indirecta PUCE</i>	 ASTM C496-C496M-11.pdf <i>Anexo 114 ASTM C496 C496M - 11</i>
	0,09%	0,10%	4,37		
	0,35%	0,25%	2,76		
	0,86%	0,50%	2,36		
	1,89%	1%	1,53		
	4,23%	2,50%	0,92		
	8,06%	5%	0,44		
	13,24%	10%	0,50		

Tabla 65 Resistencia a tracción 28 días

Grafica 5 Comparativa resistencia a tracción 28 días




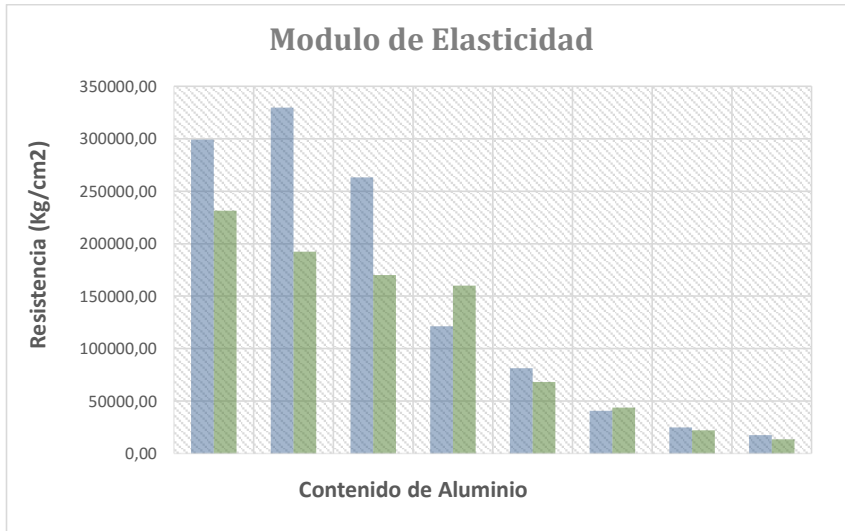
En esta grafica se puede ver es grande hasta alcanzar el 0,10% de aluminio solo ha resistencia.

Tabla 66 Modulo de elasticidad

que la pérdida de resistencia 1% y antes de alcanzar el perdido el 35% de

4.4.1.4 Módulo de elasticidad

Edad		Resistencia (MPa)			Link virtual
Identificación		1	2	Promedio	Datos de campo
0%	0%	299.273,06	231.388,23	265.330,65	 modulo elasticidad.pdf Anexo 115 Modulo de elasticidad
0,09%	0,10%	329.544,94	192.435,68	260.990,31	
0,35%	0,25%	263.190,18	169.984,00	216.587,09	
0,86%	0,50%	121.404,97	160.114,83	140.759,90	
1,89%	1%	81.361,72	68.119,68	74.740,70	
4,23%	2,50%	40.713,98	43.947,72	42.330,85	
8,06%	5%	24.902,49	22.208,85	23.555,67	
13,24%	10%	17.510,18	13.749,18	15.629,68	




En esta grafica se puede ver como el módulo de elasticidad disminuye según aumenta el porcentaje de aluminio.

4.4.1.5 *Peso Específico o densidad*

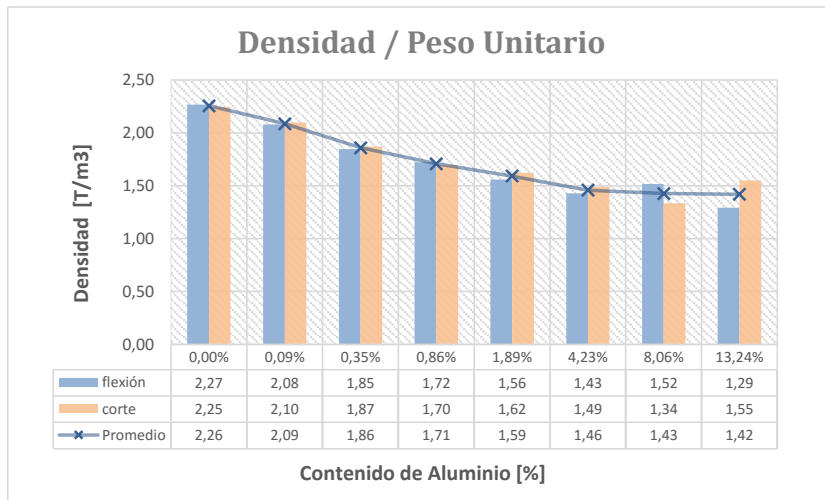
Grafica 6 Comparativa Modulo de elasticidad

Densidad

Edad	28 días				Densidad T/m ³
	Identificación	flexión	corte	compresión	

	0,00%	0,00%	2,27	2,25	2,26	2,26
	0,09%	0,10%	2,08	2,10	2,09	2,09
	0,35%	0,25%	1,85	1,87	1,87	1,86
	0,86%	0,50%	1,72	1,70	1,74	1,72
	1,89%	1,00%	1,56	1,62	1,61	1,60
	4,23%	2,50%	1,43	1,49	1,49	1,47
	8,06%	5,00%	1,52	1,34	1,36	1,41
	13,24%	10,00%	1,29	1,55	1,58	1,47

Tabla 67 Densidad de las probetas a los 28 día

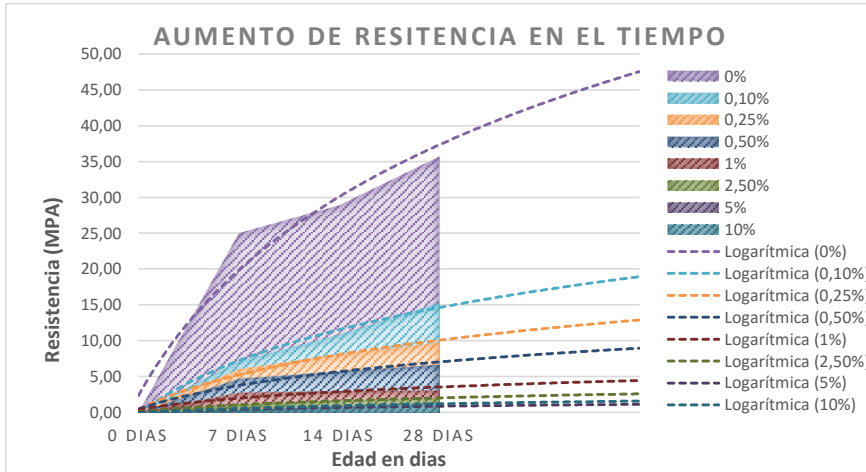


Grafica 7 Densidad / Peso unitario

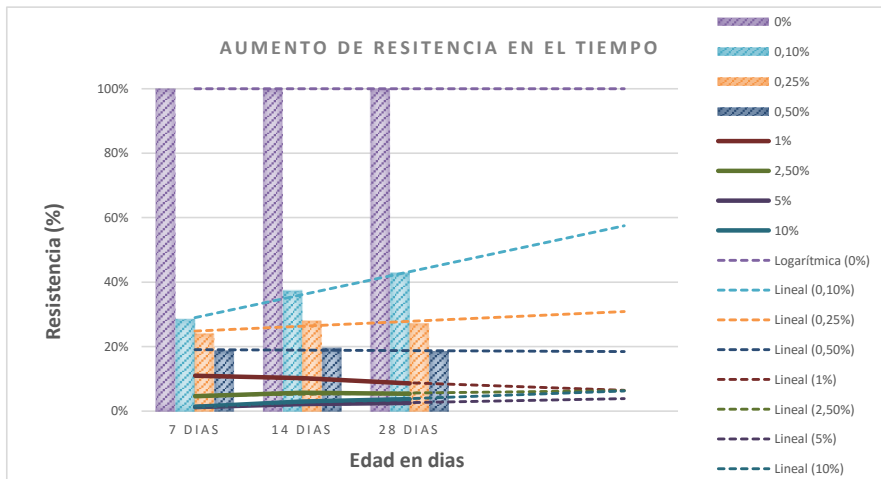
En esta grafica se puede ver como la reducción en la densidad o peso unitario es evidente hasta alcanzar un 5% aproximadamente y luego tiende a estabilizarse.

4.4.1.6 Conclusiones

Comparación entre el aumento de resistencias de los cilindros a compresión



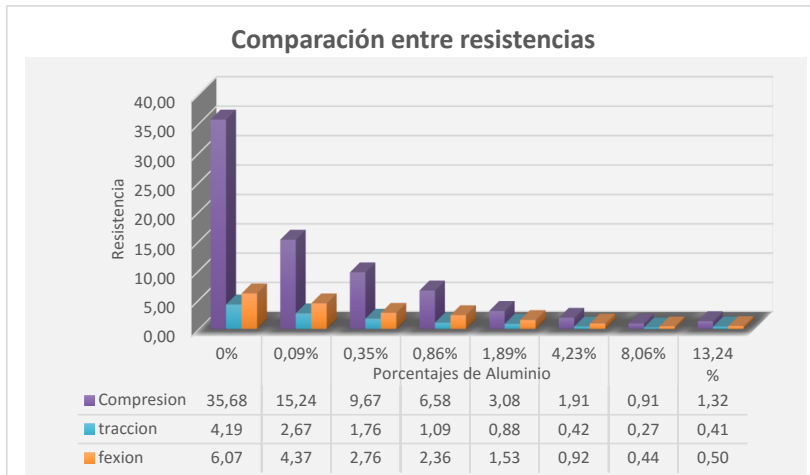
Gráfica 8 Comparativa resistencias a 28 días



Gráfica 9 Comparativa aumento de resistencia en el tiempo

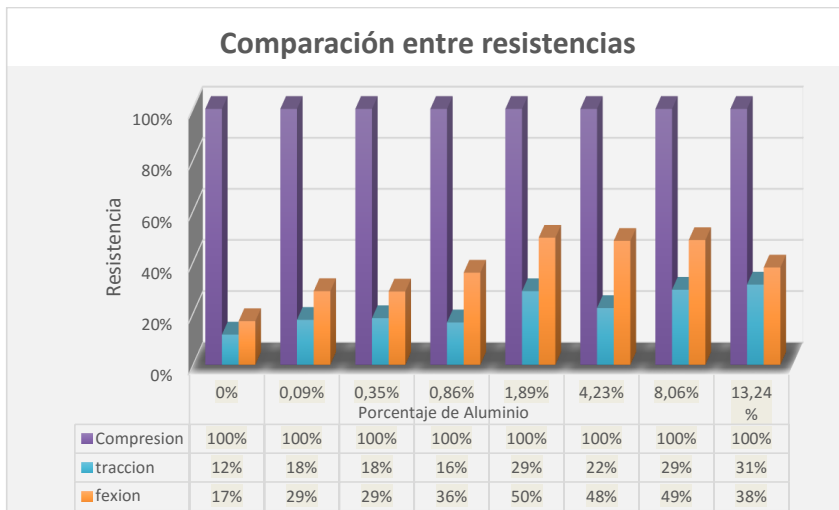
En estas graficas se puede ver que las resistencias de los cilindros con aluminio están en una etapa que siguen ganando resistencia.

En esta grafica se puede ver como la pérdida de resistencias es grande hasta alcanzar el 1% de aluminio con una tendencia logarítmica.



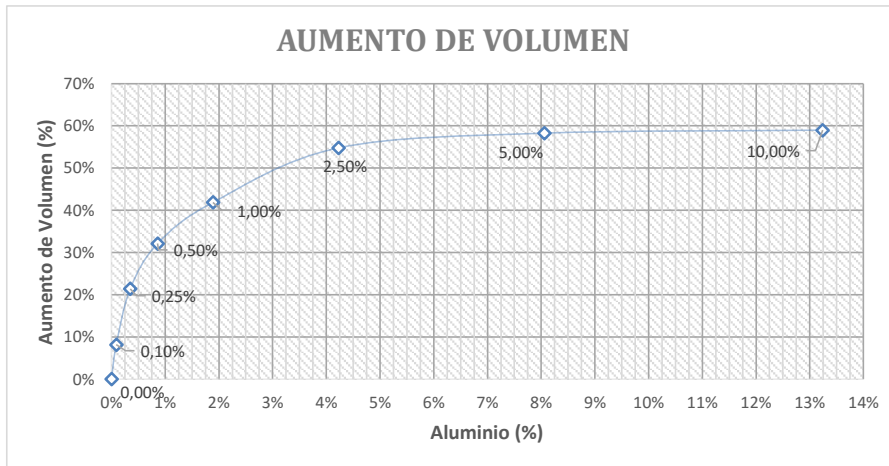
Grafica 10 Comparativa entre resistencias

En esta grafica se puede ver como las resistencias tienden a uniformizarse entre: compresión, flexión y tracción.



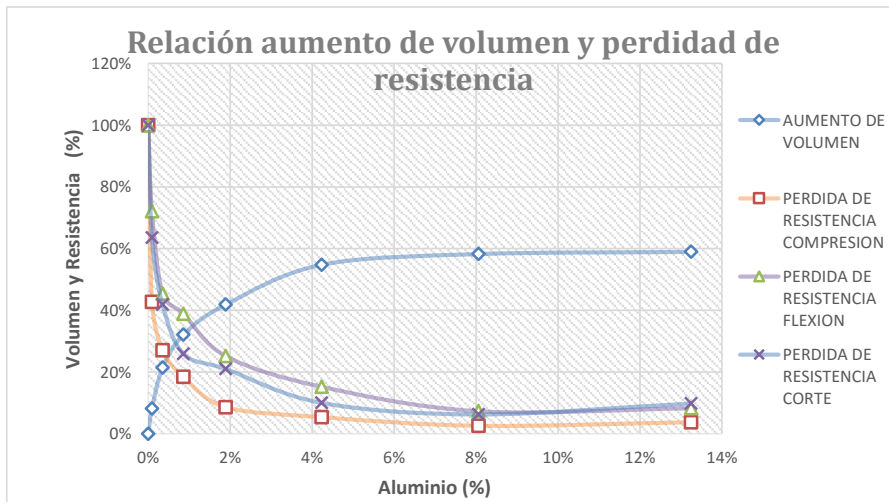
Grafica 11 Comparativa resistencia en porcentaje a 28 días

En esta grafica se puede apreciar como a partir de la densidad se determinó el aumento de volumen y como este también tiende a estabilizarse después del 4%.



Grafica 12 Aumento de volumen

Esta es la gráfica que se buscaba para determinar el punto óptimo, pero como se puede apreciar la pérdida de resistencia es muy acelerada a muy bajos porcentajes de aluminio y también tiende a uniformizarse después del 5%.



Grafica 13 Relación aumento volumen y pérdida de resistencia

5 CAPITULO 5 CIERRE.

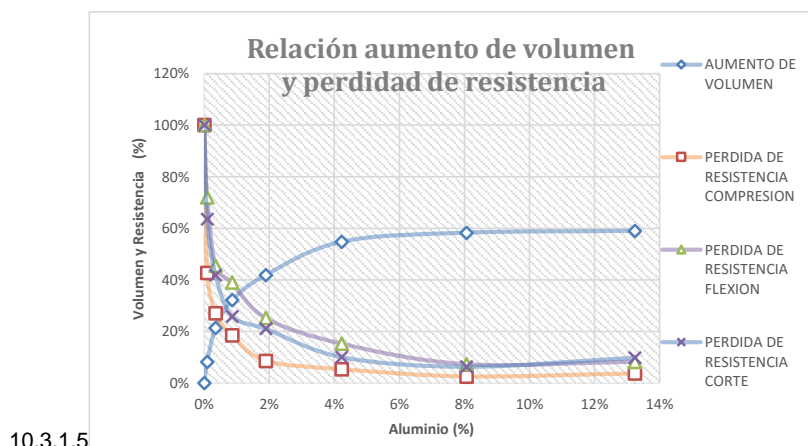
EVALUACIÓN DE LA HIPÓTESIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta redacción se desarrolló a la par con la ejecución de la investigación por lo que se fue concluyendo, interpretando o buscando alternativas y esto se escribió a continuación de cada fase o capítulo, se realizará una rápida revisión de las conclusiones o hallazgos y se referenciará a la sección donde se puede leer más detalladamente.

- a) El objetivo de esta investigación era llegar determinar la viabilidad de la idea que genero esta tesis, que fue el poder convertir un metro cúbico de hormigón de alta resistencia en dos metros cúbicos de resistencia normal.

Se determinó experimentalmente que la posibilidad es muy escasa, para lograr esta idea se requeriría de un hormigón de 2100 Kg/cm² para poder convertirlo en dos metros cúbicos de 210 Kg/cm².

Con la información y lecciones aprendidas durante esta investigación se puede, o se debería, replantear la hipótesis para mostrar que estas dos variables: resistencia y volumen no pueden ser relacionadas, se debe escoger según las necesidades si el elemento será estructural o un elemento de relleno.



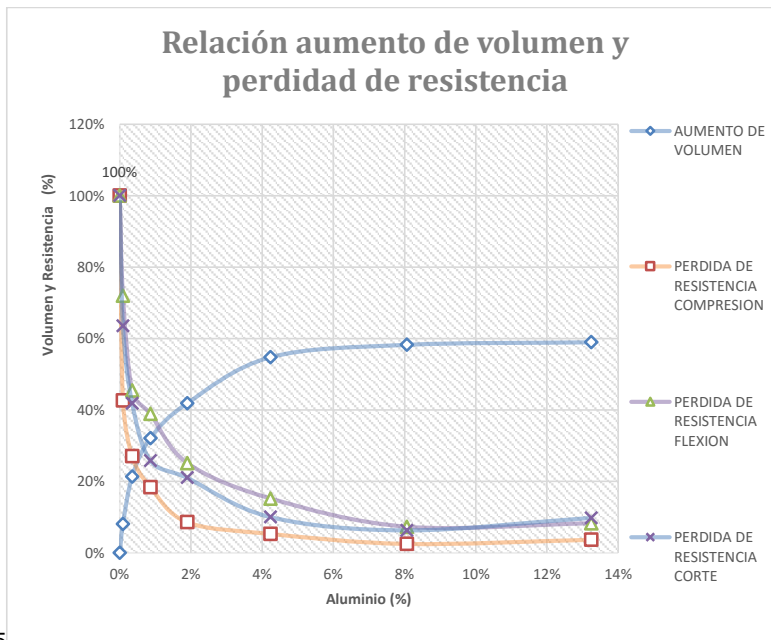
Grafica 14 Relación aumento de volumen y pérdida de resistencia

Para ver la información más detallada se encuentra en la sección 10.3.1.5

b) En los ensayos realizados se pudo evidenciar que:

Este material se puede dividir en dos etapas

- 1) Entre 0% y 0,1% en esta parte de la gráfica se puede ver que mantienen una relación casi proporcional donde el aumento de volumen y la pérdida de resistencia no son muy apreciables.
- 2) Después del 5% se ve también que el aumento de volumen y pérdida de resistencia son (asintóticos) casi despreciables.



10.3.1.55

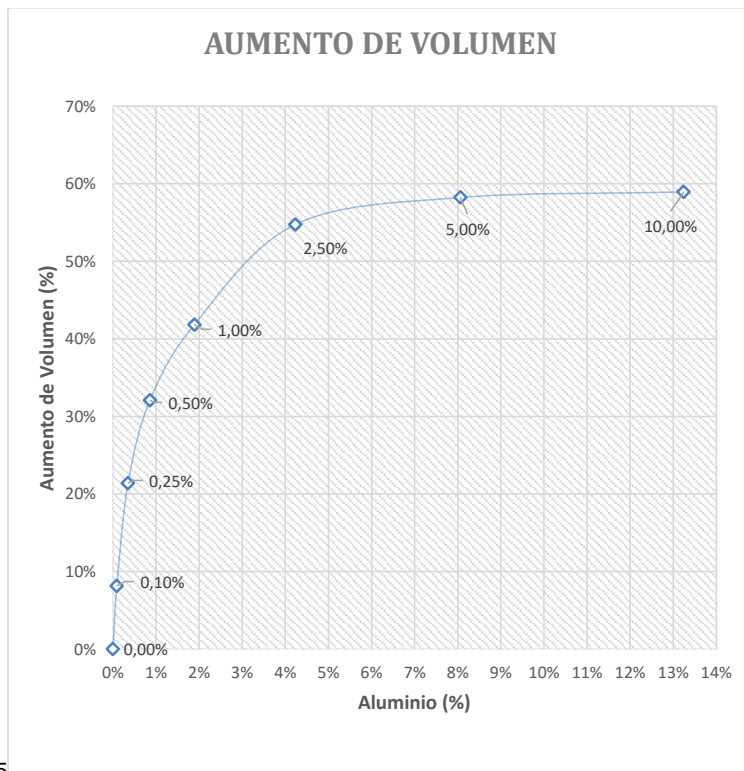
Gráfica 15 Relación aumento de volumen y pérdida de resistencia

El contenido de aire es beneficioso para el hormigón para los cambios de volumen ya sea por la variación de temperatura o retracción propia del hormigón. Se sugiere para próximas investigaciones la determinación de la cantidad para evitar la retracción y fisuración típica en losas grandes.

Para ver la información más detallada se encuentra en la sección 10.3.1.5

- c) El hormigón celular que es otro que utiliza aluminio para generar la expansión no es igual a esta investigación porque el hormigón celular no contiene ripio este es solo un mortero que adiciona yeso y cal para aumentar el material cementante y reducir el calor de hidratación además de esta forma maximiza la masa para incluir aire.

Este es un primer estudio detallado que relacione el hormigón simple con la incorporación de óxido de aluminio o aluminio en polvo para aumentar su volumen, primer paso para la caracterización de este nuevo material.



10.3.1.5

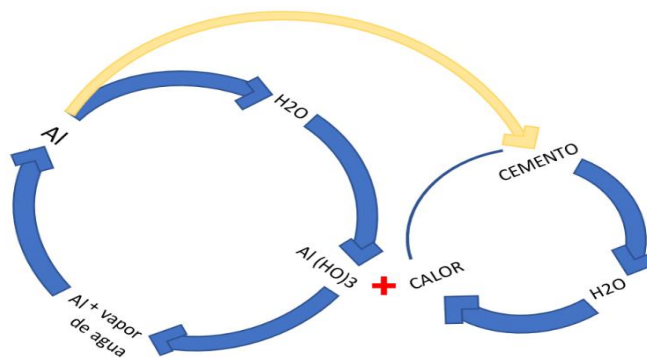
Grafica 16 Aumento de volumen

También se debe destacar que la expansión está asociada a la cantidad de cemento porque en ensayos previos se alcanzó una expansión del 800 %.

Para ver la información más detallada se encuentra en la sección 10.3.1.5

d) Se podía suponer que la resistencia se reduciría, pero después de la ejecución de esta investigación se replanteo varias hipótesis y la reducción de la resistencia puede suponerse por 2 razones:

- 1) La reducción de resistencia desde el punto de vista químico está relacionada con la transformación de:
 (C3S) Silicato tricálcico y (C2S) Silicato dicálcico en (C3A) Aluminato tetracálcico y (C4AF) ferro aluminato tetracálcico



9.1.1.5

Ilustración 49 Esquema real de reacciones

Basado principalmente en el aumento de temperatura por la gran cantidad de aluminio en la mezcla.

Para ver la información más detallada se encuentra en la sección 9.1.1.5

- 2) Desde el punto de vista físico está relacionado con la estructura interna.

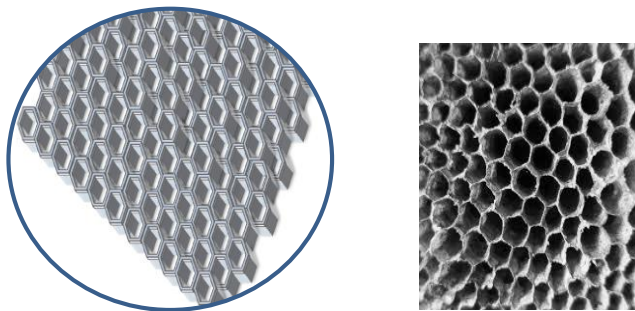
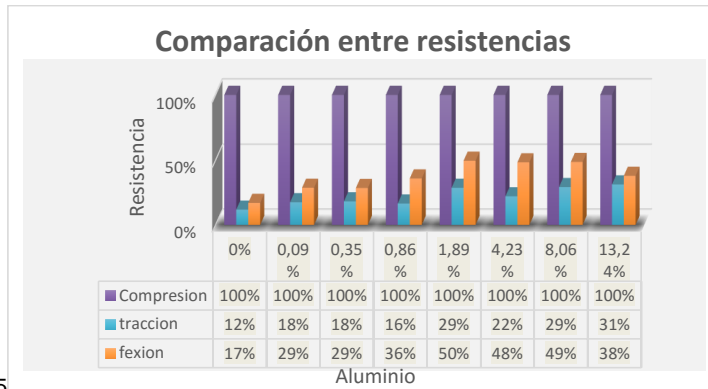


Ilustración 50 Estructura interna hormigón ligero

La estructura celular que se genera se la podría comparar con un panal de abejas que está conformado por varias paredes que cuando se las somete a cargas falla

por la menor de las resistencias, y eso explica por qué se tiende a uniformizar las resistencias.

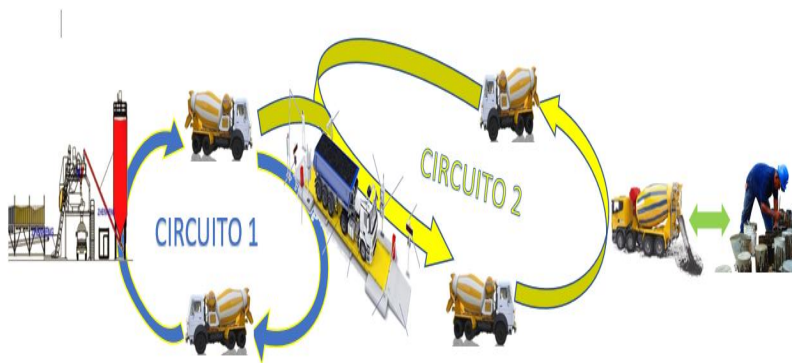


10.3.1.35

Grafica 17 Comparativa entre resistencias

Para ver la información más detallada se encuentra en la sección 10.3.1.5

- e) Por la pequeña muestra que se obtuvo de aluminio puro se realizaron pruebas con volúmenes reducidos y se determinó que existen variaciones en los resultados según la cantidad y proporciones de aluminio, cemento y agua que se utilice, es por esto que se planteó realizar un ensayo industrial con una planta de hormigón y mixer, para tener unos resultados más cercanos a los que se podrían obtener en la ejecución de una obra.



9.1.3

Ilustración 51 Esquema del circuito de ejecución

- f) Se sugiere utilizar este procedimiento operacional y compararlo con ensayos aislados para comparar los resultados y analizar y discutir los resultados.



PO EJ 002 - ENSAYO INDUSTRIAL - 2.pdf

Fase 2. Ensayo industrial

Anexo 116 Procedimiento Operacional Ensayo Industrial – Mar 2018

- g) Este estudio se debería complementar con el análisis de este material curado en una autoclave y a mayores edades porque se puede ver que la curva de evolución de resistencia mantiene una pendiente creciente mientras el hormigón común ya presenta un estancamiento en la resistencia.
- h) La gestión de riesgos, y en especial la matriz de riesgos fue de gran ayuda para la planeación, en esta se determinó la mayoría de los riesgos y la mejor vía para gestionarlos.

Identificación	Probabilidad	Impacto	Riesgo
Riesgo de detonación	3	2	6
Riesgo de ignición	3	2	6
Riesgo de envenenamiento	2	3	6
Riesgo de quemadura	2	3	6
Escasez de aluminio	1	2	2
Cantidad de agua adicional para que reaccione el aluminio sin afectar la relación agua-cemento	3	3	9
Alto costo del aluminio	2	3	6
Evaluación económica negativa	2	3	6
Incapacidad para incluir aire en las piedras	3	3	9
Reducido campo de aplicación	3	3	9

8.4.1.1

Tabla 68 Matriz de Riesgos

Para ver la información más detallada se encuentra en la sección 8.4.1.1

- i) Basado en la gran pérdida de resistencia con pequeñas cantidades de aluminio se recomienda no usar tambores mezcladores de aluminio ni en mixers ni en la planta.

- j) Se debería revisar la opción de fabricar hormigón celular (mortero celular) con este residuo de aluminio y verificar cambios respecto al producto original, para luego realizar un análisis de costos y determinar el ahorro. En Ecuador no existe producción de hormigón celular por lo que se sugiere que en el futuro u otro país se debería hacer esta experimentación.

6 OTRAS NORMAS APLICABLES

Muchos de los procedimientos ya están estandarizados y a continuación unas de las normas que más se utilizarán

- Standard test method for determining density of structural lightweight concrete (ASTM C 567, 2016)



C-567.pdf

(ASTM C 567, 2016)

Anexo 117 ASTM C567

- Standard specification for air-entraining additions for use in the manufacture of air-entraining hydraulic cement (ASTM C226 - 12, 2012)



C-226.pdf

(ASTM C226, 2014)

Anexo 118 ASTM C226

- Standard specification for air-entraining admixtures for concrete (ASTM C260 / C260M - 10a(2016), 2016)



ASTM C260-06.pdf

(ASTM C260 / C260M - 10a(2016), 2016)

Anexo 119 ASTM C260 - 06

- Plastic fines in graded aggregates and Soils by use the sand equivalent test AASHTO ND T 176



AASHTO T 176.pdf

(AASHTO T176, 2016)

Anexo 120 AASHTO T176

- Standard test method for Bulk Density ("unit Weight") and voids in aggregate ASTM C29-C29M-17



ASTM

C29-C29M-17.pdf

(ASTM C29 - C29M - 17, 2017)

Anexo 121 ASTM C29 C29M - 17

- Standard test method for organic impurities in fire aggregates for concrete ASTM C40-C40M-16



ASTM
C40-C40M-16.pdf
(ASTM C40 - C40M - 16, 2016)

Anexo 122 ASTM C40 C40M - 16

- Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate ASTM C88-13



ASTM C88-13.pdf
(ASTM C88 - 13, 2013)

Anexo 123 ASTM C88 - 13

- Standard test method for materials finer than 75µm (N° 200) sieve in mineral aggregates by washing ASTM C117-13



ASTM C117-13.pdf
(ASTM C117 - 13, 2013)

Anexo 124 ASTM C117 - 13

- Standard test method for lightweight particles in aggregate ASTM C123-C123M-14



ASTM
C123-C123M-14.pdf
(ASTM C123 - C123M - 14, 2014)

Anexo 125 ASTM C123 - 14

- Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate ASTM C127-15



ASTM C127-15.pdf
(ASTM C127 - 15, 2015)

Anexo 126 ASTM C127 - 15

- Standard test method for resistance to degradation of small size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine ASTM C131-C131M-14



ASTM
C131-C131M-14.pdf
(ASTM C131 - C131M - 14, 2014)

Anexo 127 ASTM C131 - 14

- Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates ASTM C136-C136M-14



ASTM
C136-C136M-14.pdf
(ASTM C136 - C136M - 14, 2014)
Anexo 128 ASTM C136 - 14

- Standard test method for clay lumps and friable particles in aggregates ASTM C142-C142M-17



ASTM
C142-C142M.17.pdf
(ASTM C142 - C142M - 17, 2017)
Anexo 129 ASTM C142 - 17

- Standard test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregates by abrasion and impact in the Los Angeles machine ASTM C535-16



ASTM C535-16.pdf
(ASTM C535 - 16, 2016)
Anexo 130 ASTM C535 - 16

- Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying ASTM C566-13



ASTM C566-13.pdf
(ASTM C566 - 13, 2013)
Anexo 131 ASTM C566 - 13

- Standard test method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate ASTM D4791-10



ASTM D4791-10.pdf
(ASTM D4791 - 10, 2010)
Anexo 132 ASTM D4791 - 10

- Standard Test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregates ASTM C128-15



ASTM C128-15.pdf
(ASTM C128 - 15, 2015)
Anexo 133 ASTM C128 - 15

- Standard test method for Determining the percentage of fractured particles in coarse aggregate ASTM D5821 -13



ASTM D5821-13.pdf
(ASTM D5821 - 13, 2013)

Anexo 134 ASTM D5821 - 13

- Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el fino para hormigón NTE- INEN 855:2010



NTE INEN
855-2010.pdf
(NTE INEN 855 - 2010, 2010)

Anexo 135 NTE INEN 85 5 2010

- Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad NTE INEN 862:2011



NTE INEN
862-2011.pdf
(NTE INEN 862 - 2011, 2011)

Anexo 136 NTE INEN 862 2011

- Árido fino para hormigón determinación del porcentaje de partículas en suspensión después de una hora de sedimentación NTE INEN 864 – 1982



NTE INEN
864-1982.pdf
(NTE INEN 864 - 1982, 1982)

Anexo 137 NTE INEN 864 1982

7 REFERENCIAS

- ASTM C117 - 13. (2013). *ASTM C117-13*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- AASHTO T176. (2016). *AASHTO T176*. North Capitol Street, NW, Suite 249 | Washington, DC |: AASHTO.
- ACI. (2014). Requisitos de reglamento para construccion estructural ACI 318S-14. En ACI, *Requisitos de reglamento para construccion estructural ACI 318S-14* (pág. 592). Miami: ACI.
- Albear, F. (Enero - Mayo de 2017-2018). Coordinador tecnico laboratorio de resistencia de materiales, mecanica de suelos, pavimentos y geotecnia. Facultad de Ingenieria. (B. Guerra, Entrevistador)
- Alibaba. (02 de 02 de 2018). *Alibaba*. Obtenido de Alibaba: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/aluminio-oxides-95--110702384.html>
- ASTM. (2012). *ASTM C226-12*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C 567. (2016). *Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C109/C109M - 16a. (2016). *Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Muestras Cúbicas de 2 pulgadas [50 mm])*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C123 - C123M - 14. (2014). *ASTM C123 - C123M-14*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C127 - 15. (2015). *ASTM C127-15*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C128 - 15. (2015). *ASTM C128-15*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C131 - C131M - 14. (2014). *ASTM C131 - C131M - 14*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C136 - C136M - 14. (2014). *ASTM C136-C136M-14*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C142 - C142M - 17. (2017). *ASTMC142-C142M-17*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C150 / C150M - 17. (2017). *Standard Specification for Portland Cement1*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- ASTM C185 - 15a. (2016). *Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar1*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C226 - 12. (2012). *Standard Specification for Air-Entraining Additions for Use in the Manufacture of Air-Entraining Hydraulic Cement*1. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C226. (2014). *ASTM C226*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C260 / C260M - 10a(2016). (2016). *Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete*. ASTM, hormigon. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM. Recuperado el 26 de 10 de 2017, de <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C260-06-SP.htm>

ASTM C29 - C29M - 17. (2017). *ASTM C29 C29M 17*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C40 - C40M - 16. (2016). *ASTM C40 C40M 16*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C-465-16. (2016). *Standard Specification for Processing Additions for Use in the Manufacture of Hydraulic Cements*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C535 - 16. (2016). *ASTM C535-16*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C566 - 13. (2013). *ASTM C566-13*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM C88 - 13. (2013). *ASTM C88 - 13*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM D4791 - 10. (2010). *ASTMD4791-10*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

ASTM D5821 - 13. (2013). *ASTM D5821 - 13*. West Conshohocken, Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.

Atmosfera.com. (06 de septiembre de 2015). <http://atmosfera.com/productos.htm>. Obtenido de Atmosfera: <http://atmosfera.com/productos.htm>

Banco interamericano de Desarrollo BID. (01 de 02 de 2018). courses.edx.org/courses/course-v1:IDBx+IDB6x+1T2018/course/. Obtenido de <https://courses.edx.org/courses/course-v1:IDBx+IDB6x+1T2018/course/>

Be more 3D. (18 de 02 de 2018). *UPV Radio television*. Obtenido de UPV Radio television: <https://www.youtube.com/watch?v=vT1Q7qEo-vM>

Bernardini, M. (28 de Septiembre de 2009). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n_celular

Block, A. (02 de 02 de 2018). *Allan Block*. Obtenido de Allan Block: <http://www.allanblock.com/espa%C3%B1ol/concreto-sin-finis.aspx>

Google. (30 de 03 de 2018). *Materialesc2*. Obtenido de Materialesc2: https://sites.google.com/site/tecnologiamaterialesc2/cemento_portland/reacciones-de-hidratacion

- Guerra, B. (2018). *Estudio de prefactibilidad para el uso de hormigón ligero con alto contenido de aire, como alternativa de bajo costo*. Quito: -.
- Hondurasgreat. (02 de 02 de 2018). *Hondurasgreat*. Obtenido de Hondurasgreat: <https://hondurasgreat.com/piedra-pomez-erupcion-volcanica-honduras/>
- Indiamart. (02 de 02 de 2018). *Indiamart*. Obtenido de Indiamart.com: <https://dir.indiamart.com/chennai/foaming-agent.html>
- INECYC. (2017). *inecyc*. Obtenido de <http://www.inecyc.org.ec/documentos/estadisticas/hporempresa.pdf>
- INECYC. (15 de 03 de 2018). *INECYC*. Obtenido de INECYC: <http://www.inecyc.org.ec/comercializacion-mensual-y-anual-de-cemento-gris/>
- Kopernik, P. d. (01 de 03 de 2018). *programa de divulgación científica Kopernik*. Obtenido de .youtube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=wEUIZ8mL1e8>
- Lopez, P. (Enero- Agosto de 2018). Responsable de area de materiales y hormigones, laboratorio de resistencia de materiales, mecanica de suelos, pavimentos y geotecnia. Facultad de Ingenieria. (B. Guerra, Entrevistador)
- Mapsofworld. (01 de 03 de 2017). *Mapas del mundo*. Obtenido de mapsofworld.com: <https://www.mapsofworld.com/minerals/world-graphite-producers.html>
- Mexico, N. (01 de 06 de 2018). *Normativa para la infraestructura del transporte*. Obtenido de Calidad de agregados petreos para hormigon idraulico: <http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-02.pdf>
- Mundo Tech. (01 de 03 de 2018). *Mundo tech*. Obtenido de MundoTech: <https://www.youtube.com/watch?v=z79FGqJANmg>
- Mundo Tech. (15 de 01 de 2018). *Revista Contenido*. Obtenido de Revista Contenido: <https://www.youtube.com/watch?v=z79FGqJANmg>
- Notas de concretos . (15 de 04 de 2018). *Notas de concretos* . Obtenido de Notas de concretos : <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/compuestos-quimicos-e-hidratacion-del.html>
- NTE INEN 855 - 2010. (2010). *NTE INEN 855*. Baquerizo Moreno E8-29 y Diego de Almagro, Quito - Ecuador: INEN.
- NTE INEN 862 - 2011. (2011). *NTE INEN 863 - 2011*. Baquerizo Moreno E8-29 y Diego de Almagro, Quito - Ecuador: INEN.
- NTE INEN 864 - 1982. (1982). *NTE INEN 864 - 1982*. Baquerizo Moreno E8-29 y Diego de Almagro, Quito - Ecuador: INEN.
- OBS Busines School*. (5 de 2 de 2018). Obtenido de El marco lógico y su aplicación al proyecto: <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/marco-logico/el-marco-logico-y-su-aplicacion-al-proyecto>
- Silva, O. J. (30 de 03 de 2018). *360° EN CONCRETO*. Obtenido de BLOG 360° EN CONCRETO: <http://blog.360gradosenconcreto.com/se-produce-proceso-hidratacion-del-cemento/>

Velasquez, G. (Febrero-Abril de 2018). Director del area de Calidad, Hormigonera Equinoccial. (B. Guerra, Entrevistador)

Wikipedia. (02 de 02 de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Aerated_autoclaved_concrete_-_detail.jpg

Wikipedia. (02 de 02 de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Hormig%C3%B3n_celular#/media/File:Aerated_autoclaved_concrete_-_detail.jpg