

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE SUPERFICIAL POR ABRASIÓN EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN, EMPLEANDO FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO VIRGEN, USANDO DOS TIPOS DE CURADO: INMERSIÓN Y ENVOLTURA PLÁSTICA

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

GI SELA JANNETH CARRERA PROAÑO

gisejanne@hotmail.com

LUIS OSWALDO GUACHAMÍN GAIBOR

luisguachamin2010@hotmail.com

DIRECTOR: PROF. ING. GERMÁN VINICIO LUNA HERMOSA, MBA

german.luna@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, Gisela Janneth Carrera Proaño, Luis Oswaldo Guachamín Gaibor, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

GISELA CARRERA PROAÑO

LUIS GUACHAMÍN GAIBOR

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gisela Janneth Carrera Proaño y Luis Oswaldo Guachamín Gaibor, bajo mi supervisión.

Ing. Germán Luna H.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por todas las pruebas que me ha permitido superar.

A mi hijita Samantha, por ser la luz de mi vida y el motor que me mueve día a día.

A mis papis Norma y Henry, por su amor y apoyo incondicional.

A mi ñañito Anderson, por su apoyo, cariño y consejos a lo largo de mi vida.

A mis compañeros del Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas por su colaboración y amistad.

A la Ing. Mercedes Villacis y al Ing. Germán Luna, por toda la ayuda y guía proporcionada para seguir adelante con este proyecto.

A las Empresas: UNACEM Ecuador, Euclid Toxement Colombia, Sika y Holcim Ecuador quienes donaron los materiales utilizados en este proyecto de titulación.

Al C.T.H., a la Ing. Mireya Martínez, Ing. Patricia Monroy, Ing. Juan Carlos Acero, Ing. Mario Granja, Ing. Gabriel Velastegui, Ing. Klever Collantes, Ing. Paúl Zúñiga Ing. Gustavo Martínez, Ing. Luis Guadalupe, a todos mis profesores, amigos y conocidos quienes aportaron de alguna u otra forma con la materialización de mi meta.

A los Laboratorios de Soldadura, LEMSUR, Metalurgia Extractiva, Centro de Investigación de la vivienda, por toda la colaboración brindada.

Muchas gracias a todos por su ayuda.

Gisela

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar a cumplir mis metas.

A mis hijos, mi esposa, mis padres, suegros, hermanos y cuñados por ser un soporte en mi vida.

A mis profesores, amigos y compañeros por formar parte de mi crecimiento y desarrollo.

Y a todos quienes hicieron posible este sueño.

Luis

DEDICATORIA

A Dios por mostrarme siempre la mejor opción en mi camino.

A mi niña porque lo logramos juntas, te amo mi amor chiquito.

A mis papis y mi ñaño por su infinito amor, esfuerzo, colaboración y confianza en mí. Los amo con todo mi corazón.

Gisela

DEDICATORIA

A Dios por su ayuda a lo largo de mi vida.

A mis hijos por su cariño y confianza.

A mi esposa por su colaboración y sacrificio.

A mis padres, suegros, hermanos y cuñados por su apoyo incondicional.

Luis

RESUMEN

El presente estudio pretende determinar el comportamiento de la superficie de los pavimentos industriales de alta resistencia frente a un agente abrasivo, para ello se elaboró probetas de hormigón de 450 Kg/cm², es decir, cilindros de 10 cm de diámetro con 20 cm de altura y otros de 20 cm de diámetro con 10 cm de altura, el agregado fino empleado en la elaboración del hormigón fue extraído de la mina Fucusucu ubicada en San Antonio de Pichincha, así como el agregado grueso, extraído de la mina de Pifo, y el cemento denominado Armaduro, que fue proporcionado por la UNACEM, se consideró estos agregados debido al análisis previo de canteras realizado por los Ingenieros Luis Guadalupe y Christian Gallegos en su Tesis Hormigón de Alta Resistencia (2009), estudio que sirvió de base para este proyecto. Después de determinar las propiedades físicas de los materiales antes mencionados, se comprobó que el material pétreo no conserva las mismas propiedades a lo largo del tiempo, es por ello que se incluyó la realización de una prueba adicional para tratar de incrementar la resistencia a la compresión, la prueba consistió en eliminar los finos mediante lavado del material pétreo fino, y con los agregados totalmente secos, se realizó el cálculo para establecer la dosificación denominada **G2**, después del proceso de hormigonado y curado, fueron ensayadas las probetas, y se observó un incremento en el $f'c$ de apenas un 3,6 % con relación a la dosificación **G1**, es decir, no resulta un gran beneficio en los proyectos constructivos, por los altos costos que significaría darle un tratamiento previo a los agregados, de tal forma que se optó únicamente por dar a conocer los resultados de resistencia a compresión, módulo de elasticidad y desgaste superficial, del proceso en el cual los agregados no fueron lavados, pertenecientes a la dosificación **G1**, en la que se estimó dos variables: el uso de microfibra de polipropileno virgen y dos tipos de curado: inmersión en agua y recubrimiento plástico. Así se determinó que la mejor opción tanto para resistencia a compresión, módulo de elasticidad y desgaste superficial, se encuentra en el hormigón elaborado con microfibra curado mediante recubrimiento plástico en el que se observa un incremento, en la resistencia a compresión de un 2.6%, en el módulo de elasticidad de un 10.9% y en el desgaste superficial de un 45%, todos ellos frente al hormigón patrón.

Palabras Clave: Resistencia a la Abrasión, Fibras, Alta Resistencia, Curado, Módulo de Elasticidad.

ABSTRACT

This study aims to determine the behavior of the industrial pavement surface high resistance against an abrasive agent, for it concrete specimens of 450 Kg / cm² was prepared, namely, cylinder 10 cm in diameter and 20 cm height and others of 20 cm in diameter 10 cm height, the fine aggregate used in the production of concrete was extracted from the Fucusucu mine located in San Antonio de Pichincha, as well as the coarse aggregate, mine located in Pifo, and cement called Armaduro, which was provided by the UNACEM, these aggregates are considered due to the previous analysis of quarries made by engineers Luis Guadalupe and Christian Gallegos in his Thesis High Strength Concrete (2009), study that was the basis for this project. After determining the physical properties of the above materials, it was found that the stony material does not preserve the same properties over time, which is why the performance of additional tests are included to try to increase the compressive strength The test consisted remove fines by washing the fine stony material, and fully dry aggregates, the calculation was performed to establish the dosage called G2, after the process of concreting and curing were tested specimens, and observed a f'c increased just 3.6% over dosing G1, namely, there is a great benefit in the construction projects, the high costs that would give pretreatment to the aggregates, so it was decided only to make known the results of compressive strength, modulus of elasticity and surface wear, the process in which the aggregates were not washed, belonging to the dosage G1, in which two variables were estimated: using virgin polypropylene microfiber and two types of curing: immersion in water and plastic coating. Thus it was determined that the best choice for compressive strength, modulus of elasticity and surface wear, is situated in the concrete made with microfiber curing by plastic coating wherein there is an increase in the compressive strength of a 2.6%, the modulus of elasticity of 10.9% and surface wear of 45%, all compared to standard concrete.

Keywords: Abrasion, Fibers, High Strength, Curing, Modulus of Elasticity.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE GENERAL	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XVII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XX
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XXII
CAPÍTULO 1	24
INTRODUCCIÓN	24
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	26
FIGURA 1. 2 PISO INDUSTRIAL (PEATONAL).....	27
1.3 ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE PISOS	29
1.4 ALCANCE	30
1.5 JUSTIFICACIÓN	34
1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO	35
1.6.1 OBJETIVOS GENERALES.....	35
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	35
CAPÍTULO 2	12
PAVIMENTOS Y PISOS INDUSTRIALES	12
2.1 GENERALIDADES.....	12
2.1.1 PISOS INDUSTRIALES	12
2.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	39
2.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD	40
2.4 DESGASTE POR ABRASIÓN.....	41
CAPÍTULO 3	48

PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIALES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE PROCESOS BÁSICOS	48
3.1.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO	50
3.1.1.1 Cemento Armaduro	51
3.1.1.2 Densidad Aparente Suelta	51
3.1.1.3 Densidad Aparente Compactada	54
3.1.1.4 Densidad Real	56
3.2 AGREGADO GRUESO	58
3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS	59
3.2.2 GRANULOMETRÍA	61
3.2.3 DENSIDADES APARENTES	66
3.2.3.1 Densidad Aparente Suelta	68
3.2.3.2 Densidad Aparente Compactada	68
3.2.4 CONTENIDO DE HUMEDAD	69
3.2.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	71
3.2.6 ABRASIÓN	75
3.3 AGREGADO FINO	78
3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS	79
3.3.2 GRANULOMETRÍA	80
3.3.3 DENSIDADES APARENTES	83
3.3.3.1 Densidad Aparente Suelta	83
3.3.3.2 Densidad Aparente Compactada	84
3.3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD	85
3.3.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	87
3.3.6 CONTENIDO ORGÁNICO	89
3.4 CURADO	92
3.4.1 CURADO POR INMERSIÓN	93
3.4.2 CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA	94
3.5 FIBRAS SINTÉTICAS	95
3.5.1 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS	96
3.5.2 FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO VIRGEN (TOC FIBRA 500)	96
3.6.1 PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS	99
3.6.2 ADITIVO EUCON 37	100
3.6.3 ADITIVO SIKAMENT- N 100	102
3.7 ARENA DE SILICE	103
CAPÍTULO 4	104

DOSIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE PROBETAS.....	104
4.1 INTRODUCCIÓN	104
4.2 PROCESO DE DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	104
4.2.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN O G1	105
4.2.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN G2	113
4.3 FABRICACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN.....	115
CAPÍTULO 5	121
ENSAYOS.....	121
5.1 HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.....	121
5.2 ASENTAMIENTO.....	121
5.3 ENSAYO A COMPRESIÓN.....	127
5.3.1 HORMIGÓN CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO	129
5.3.2 EDADES PARA ENSAYO A COMPRESIÓN.....	130
5.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD	131
5.5 ENSAYO POR ABRASIÓN	134
5.5.1 HORMIGÓN CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO	140
5.5.2 EDADES PARA ENSAYO SANDBLASTING	140
5.6 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	141
CAPÍTULO 6	145
RESULTADOS.....	145
6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	145
6.1.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	149
6.1.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	155
6.1.3 DESGASTE.....	159
CAPÍTULO 7	167
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	167
7.1 CONCLUSIONES	167
7.2 RECOMENDACIONES	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	173
ANEXOS	174

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 COLISEO ROMANO	1
FIGURA 1. 2 PISO INDUSTRIAL (PEATONAL)	27
FIGURA 1. 3 TENDENCIA USUAL ENTRE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DESGASTE SUPERFICIAL A CONDICIONES ABRASIVAS MODERADAS	27
FIGURA 1. 4 INTERVALOS DE INTENSIDAD ABRASIVA	31
FIGURA 1. 5 UBICACIÓN DE LA CANTERA FUCUSUCU EN SAN ANTONIO DE PICHINCHA.....	32
FIGURA 1. 6 UBICACIÓN DE LA CANTERA PIFO.....	32
FIGURA 2. 1 REPRESENTACIÓN DE LAS DEFORMACIONES.....	41
FIGURA 2. 2 PROCESO CARGA - DESCARGA	41
FIGURA 2. 3 MÉTODO DISCOS GIRATORIOS.....	44
FIGURA 2. 4 MÉTODO RUEDAS DENTADAS.....	45
FIGURA 2. 5 MÉTODO BALINES DE RODAMIENTO	46
FIGURA 2. 6 MÉTODO CORTADOR ROTATORIO	47
FIGURA 3. 1 PRESENTACIÓN DEL CEMENTO ARMADURO	51
FIGURA 3. 2 SEPARADOR DE MUESTRA PARA AGREGADO GRUESO	61
FIGURA 3. 3 PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DEL HORMIGÓN CORRECTAMENTE CURADO	92
FIGURA 3. 4 PRESENTACIÓN COMERCIAL DEL ADITIVO EUCON 37	101
FIGURA 3. 5 PRESENTACIÓN COMERCIAL DEL ADITIVO SIKAMENT N 100.....	102
FIGURA 5. 1 CONO TRUNCADO VISTA EN PLANTA	121
FIGURA 5. 2 CONO TRUNCADO VISTA DE PERFIL	122
FIGURA 5. 3 TIPOS DE FRACTURA EN CILINDROS A COMPRESIÓN SIMPLE	128
FIGURA 5. 4 CURVA ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 CLASIFICACIÓN 5 DE PISOS INDUSTRIALES	37
TABLA 3. 1 REQUISITOS QUÍMICOS DEL CEMENTO	51
TABLA 3. 2 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO.....	58
TABLA 3. 3 TAMAÑO DE MUESTRAS PARA AGREGADOS.....	60
TABLA 3. 4 TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ENSAYO DE AGREGADO GRUESO.	62
TABLA 3. 5 REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO	63
TABLA 3. 6 CAPACIDAD DE LOS MOLDES PARA DENSIDAD APARENTE.....	67
TABLA 3. 7 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ÁRIDO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD.....	70
TABLA 3. 8 MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	72
TABLA 3. 9 GRADACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO PARA ABRASIÓN LOS ANGELES.....	75
TABLA 3. 10 ESPECIFICACIONES PARA LA CARGA ABRASIVA	76
TABLA 3. 11 CARACTERÍSTICAS AGREGADO GRUESO	78
TABLA 3. 12 REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL ÁRIDO FINO	81
TABLA 3. 13 CARACTERÍSTICAS AGREGADO FINO	91
TABLA 3. 14 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE TOC FIBRA 500	97
TABLA 3. 15 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE TOC FIBRA 500	97
TABLA 3. 16 TAMAÑO DE FIBRA VS. TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO.....	98
TABLA 3. 17 INFORMACIÓN TÉCNICA DE ADITIVO EUCON 37.....	101
TABLA 4. 1 REVENIMIENTO PARA HORMIGONES CON Y SIN ADITIVO.....	106
TABLA 4. 2 TAMAÑO MÁXIMO SUGERIDO PARA EL AGREGADO GRUESO	107
TABLA 4. 3 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE HORMIGÓN	107
TABLA 4. 4 AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO CON BASE EN EL USO DE UNA ARENA CON 35% DE VACÍOS.....	108
TABLA 4. 5 AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE.....	109
TABLA 4. 6 RELACIÓN a/c PARA CONCRETOS ELABORADOS CON HRWR.....	110
TABLA 4. 7 RELACIONES a/c PARA TAMAÑO MÁXIMO DE 19 MM POR INTERPOLACIÓN	111
TABLA 4. 8 RELACIONES a/c PARA F'_{CR}^* A 550 KG/CM ²	111

TABLA 4. 9 CANTIDAD MATERIAL CEMENTANTE	112
TABLA 4. 10 CANTIDAD DE AGREGADO FINO.....	112
TABLA 4. 11 DOSIFICACIÓN PARA UN VOLUMEN DE 1 M ³	113
TABLA 4. 12 DOSIFICACIÓN ADITIVO Y FIBRA	113
TABLA 4. 13 CARACTERÍSTICAS AGREGADO FINO G2.....	113
TABLA 4. 14 CARACTERÍSTICAS AGREGADO GRUESO	114
TABLA 4. 15 DOSIFICACIÓN PARA UN VOLUMEN DE 1 M ³	114
TABLA 4. 16 DOSIFICACIÓN ADITIVO Y FIBRA	114
TABLA 5. 1 CONSISTENCIA VS. ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN	124
TABLA 5. 2 COSTOS HORMIGÓN G1SI - PATRÓN	141
TABLA 5. 3 COSTOS HORMIGÓN G1CI	141
TABLA 5. 4 COSTOS HORMIGÓN G1SE	142
TABLA 5. 5 COSTOS HORMIGÓN G1CE	142
TABLA 5. 6 COSTOS HORMIGÓN G2SI.....	142
TABLA 5. 7 COSTOS HORMIGÓN G2SE	143
TABLA 5. 8 COSTOS HORMIGÓN G2CI	143
TABLA 5. 9 COSTOS HORMIGÓN G2CE	143
TABLA 6. 1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN G1	146
TABLA 6. 2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN G2	146
TABLA 6. 3 RELACIÓN PORCENTUAL F'c G2/F'c G1 A LOS 28 DÍAS	146
TABLA 6. 4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1SI.....	149
TABLA 6. 5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1SE	150
TABLA 6. 6 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1CI	150
TABLA 6. 7 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1CE	150
TABLA 6. 8 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1SI ANEXO 30	155
TABLA 6. 9 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1SE	156
TABLA 6. 10 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1CI	157
TABLA 6. 11 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1CE	158
TABLA 6. 12 MÓDULO DE ELÁSTICIDAD EXPERIMENTAL Y TEÓRICO.....	158
TABLA 6. 13 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1SI	159

TABLA 6. 14 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1SE.....	160
TABLA 6. 15 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1CI.....	160
TABLA 6. 16 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1CE	161
TABLA 6. 17 REDUCCIÓN DEL ÁREA DE LAS PARTÍCULAS ABRASIVAS.....	163
TABLA 6. 18 REDUCCIÓN DEL ÁREA DE HORMIGÓN	164
TABLA 6. 19 REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE HORMIGÓN	164

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 2. 1 PISO INDUSTRIAL TRÁNSITO VEHICULAR	37
FOTOGRAFÍA 2. 2 PISO INDUSTRIAL CARGAS PUNTUALES	38
FOTOGRAFÍA 2. 3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN	40
FOTOGRAFÍA 2. 4 MÉTODO SANDBLASTING.....	43
FOTOGRAFÍA 3. 1 DENSIDAD APARENTE SUELTA CEMENTO	52
FOTOGRAFÍA 3. 2 DENSIDAD APARENTE SUELTA CEMENTO	53
FOTOGRAFÍA 3. 3 DENSIDAD APARENTE COMPACTADA CEMENTO	54
FOTOGRAFÍA 3. 4 DENSIDAD APARENTE COMPACTADA CEMENTO	55
FOTOGRAFÍA 3. 5 DENSIDAD REAL CEMENTO	57
FOTOGRAFÍA 3. 6 DENSIDAD REAL CEMENTO	57
FOTOGRAFÍA 3. 7 AGREGADO GRUESO.....	59
FOTOGRAFÍA 3. 8 TAMIZADORA PARA AGREGADO GRUESO Y SERIE DE TAMICES	65
FOTOGRAFÍA 3. 9 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL 1/2"	65
FOTOGRAFÍA 3. 10 MOLDE DE 2.8 LITROS PARA DENSIDAD APARENTE DE AGREGADO GRUESO.....	68
FOTOGRAFÍA 3. 11 DENSIDADES APARENTES DE AGREGADO GRUESO	69
FOTOGRAFÍA 3. 12 AGREGADO GRUESO EN CONDICIÓN (SSS).....	73
FOTOGRAFÍA 3. 13 CANASTILLA CON MUESTRA SUMERGIDA.....	74
FOTOGRAFÍA 3. 14 MUESTRA PARA ABRASIÓN AGREGADO GRUESO, GRADACIÓN C.....	77
FOTOGRAFÍA 3. 15 ABRASIÓN - MAQUINA DE LOS ÁNGELES.....	77
FOTOGRAFÍA 3. 16 MUESTRA DE AGREGADO FINO.....	79
FOTOGRAFÍA 3. 17 SEPARADOR DE MUESTRA PARA AGREGADO FINO	80
FOTOGRAFÍA 3. 18 TAMIZADORA PARA GRANULOMETRÍA EN AGREGADO FINO ...	82
FOTOGRAFÍA 3. 19 DENSIDADES APARENTES - AGREGADO FINO.....	84
FOTOGRAFÍA 3. 20 DENSIDAD COMPACTADA DE AGREGADO FINO	85
FOTOGRAFÍA 3. 21 AGREGADO FINO EN CONDICIÓN SSS.....	88
FOTOGRAFÍA 3. 22 EXTRACCIÓN DE AIRE ATRAPADO USANDO BOMBA DE VACÍO	89
FOTOGRAFÍA 3. 23 SOLUCIÓN AGUA + HIDRÓXIDO DE SODIO AL 3%	90
FOTOGRAFÍA 3. 24 AGREGADO FINO CON HIDRÓXIDO DE SODIO	91

FOTOGRAFÍA 3. 25 CONTENIDO ORGÁNICO - COMPARACIÓN CON ESCALA DE GARDNER.....	91
FOTOGRAFÍA 3. 26 CURADO POR INMERSIÓN EN AGUA	94
FOTOGRAFÍA 3. 27 CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA	95
FOTOGRAFÍA 3. 28 FIBRA DE POLIPROPILENO TOC FIBRA 500	98
FOTOGRAFÍA 3. 29 PRESENTACIÓN COMERCIAL DE LA ARENA DE SÍLICE	103
FOTOGRAFÍA 3. 30 APARIENCIA DE LA ARENA DE SILICE	103
FOTOGRAFÍA 4. 1 ENGRASADO DE MOLDES	116
FOTOGRAFÍA 4. 2 MEZCLA DE HORMIGÓN DESPUÉS DE VARIAS REVOLTURAS..	116
FOTOGRAFÍA 4. 3 PROCESO MANUAL DE ADICIÓN DE MICROFIBRA A LA MEZCLA DE HORMIGÓN.....	117
FOTOGRAFÍA 4. 4 CURADO INICIAL DE LAS PROBETAS (CILINDROS)	117
FOTOGRAFÍA 4. 5 CURADO INICIAL DE LAS PROBETAS (DISCOS).....	118
FOTOGRAFÍA 4. 6 CURADO POR INMERSIÓN EN AGUA	118
FOTOGRAFÍA 4. 7 CURADO MEDIANTE RECUBRIMIENTO PLÁSTICO	119
FOTOGRAFÍA 4. 8 NOMENCLATURA EN PROBETAS.....	120
FOTOGRAFÍA 5. 1 ASENTAMIENTO EN HORMIGÓN FRESCO - ENRASAR.....	123
FOTOGRAFÍA 5. 2 ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN G1 SIN ADITIVO	124
FOTOGRAFÍA 5. 3 ASENTAMIENTO CON 1.5% DE ADITIVO EUCON 37	125
FOTOGRAFÍA 5. 4 ASENTAMIENTO CON 1.0% DE ADITIVO EUCON 37	125
FOTOGRAFÍA 5. 5 ASENTAMIENTO CON 0.5% DE ADITIVO EUCON 37	126
FOTOGRAFÍA 5. 6 ASENTAMIENTO CON MICROFIBRA SIN ADITIVO	126
FOTOGRAFÍA 5. 7 ASENTAMIENTO CON MICROFIBRA Y 0.5 % DE ADITIVO	127
FOTOGRAFÍA 5. 8 HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROFIBRA	129
FOTOGRAFÍA 5. 9 PROBETA ANTES DE LA ROTURA G1SE.....	129
FOTOGRAFÍA 5. 10 PROBETA DESPUÉS DE LA ROTURA G1SE.....	130
FOTOGRAFÍA 5. 11 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE EN PROBETAS DE HORMIGÓN	133
FOTOGRAFÍA 5. 12 CICLO DE CARGA EN PROBETA CON STRAIN GAUGE	134
FOTOGRAFÍA 5. 13 MÁQUINA DE DESGASTE SANDBLASTING	135
FOTOGRAFÍA 5. 14 DISCOS - PREVIO AL ENSAYO DE ABRASIÓN	136
FOTOGRAFÍA 5. 15 DISCOS PINTADOS – PREVIO AL ENSAYO DE ABRASIÓN.....	136
FOTOGRAFÍA 5. 16 UBICACIÓN MÁQUINA DE SANDBLASTING	137
FOTOGRAFÍA 5. 17 UBICACIÓN DEL DISCO EN LA CAMARA DE ENSAYO	137

FOTOGRAFÍA 5. 18 UBICACIÓN DEL DISCO EN LA CAMARA DE ENSAYO – VISTA DE PERFIL.....	138
FOTOGRAFÍA 5. 19 SECUENCIA DE DESGASTE.....	139
FOTOGRAFÍA 5. 20 DISCOS DESGASTADOS CON RELLENO DE ARCILLA.....	140
FOTOGRAFÍA 6. 1 PARTÍCULAS ABRASIVAS ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO SANDBLASTING.....	163
FOTOGRAFÍA 6. 2 PARTÍCULAS ABRASIVAS ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO SANDBLASTING VISTAS MEDIANTE UN MICROSCOPIO.	164

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 6. 1 HORMIGÓN “SI” PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2	147
GRÁFICA 6. 2 HORMIGÓN “SE” PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2.....	147
GRÁFICA 6. 3 HORMIGÓN “CI” PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2.....	148
GRÁFICA 6. 4 HORMIGÓN “CE” PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2.....	148
GRÁFICA 6. 5 INCREMENTO (%) DEL F'c CON RESPECTO AL TEÓRICO PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2.....	149
GRÁFICA 6. 6 COMPARACIÓN ENTRE LOS HORMIGONES G1SI, G1SE, G1CI Y G1CE FRENTE AL TEÓRICO	148
GRÁFICA 6. 7 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN G1CE RESPECTO A LA RESISTENCIA TEÓRICA.....	152
GRÁFICA 6. 8 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIN FIBRA – DIFERENTE CURADO – G1.....	152
GRÁFICA 6. 9 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRA – DIFERENTE CURADO – G1.....	153
GRÁFICA 6. 10 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON Y SIN FIBRA – CURADO POR INMERSIÓN – G1	153
GRÁFICA 6. 11 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON Y SIN FIBRA – CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA – G1 ..	154
GRÁFICA 6. 12 HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN – G1	155
GRÁFICA 6. 13 HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA – G1.....	156
GRÁFICA 6. 14 HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN – G1	157
GRÁFICA 6. 15 HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA – G1.....	158
GRÁFICA 6. 16 INCREMENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (%) – G1 RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN.....	159
GRÁFICA 6. 17 COMPARACIÓN DEL DESGASTE SUPERFICIAL A LOS 28 DÍAS SEGÚN EL TIPO DE HORMIGÓN	161
GRÁFICA 6. 18 DESGASTE SUPERFICIAL A LOS 56 DÍAS SEGÚN EL TIPO DE HORMIGÓN	162
GRÁFICA 6. 19 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL DESGASTE A LOS 56 DÍAS CON RELACIÓN A LOS 28 DÍAS	162
GRÁFICA 6. 20 REDUCCIÓN DEL ÁREA Y VOLUMEN RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN A LOS 56 DÍAS DE EDAD	165
GRÁFICA 6. 21 COMPARACIÓN DE COSTOS	165

GRÁFICA 6. 22 INCREMENTO EN PORCENTAJE DE LOS COSTOS SEGÚN EL TIPO
DE HORMIGÓN CON RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN.....166

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 FICHA TÉCNICA CEMENTO ARMADURO.....	174
ANEXO 2 FICHA TÉCNICA TOC FIBRA 500	174
ANEXO 3 FICHA TÉCNICA ADITIVO EUCON 37	174
ANEXO 4 FICHA TÉCNICA ADITIVO SIKAMENT N 100.....	174
ANEXO 5 DENSIDAD REAL SUELTA Y COMPACTADA CEMENTO	174
ANEXO 6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN ARENA	174
ANEXO 7 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN RIPIO	174
ANEXO 8 DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA ARENA.....	174
ANEXO 9 DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA RIPIO	174
ANEXO 10 CONTENIDO ORGÁNICO ARENA	174
ANEXO 11 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARENA	174
ANEXO 12 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RIPIO.....	174
ANEXO 13 CONTENIDO DE HUMEDAD RIPIO	174
ANEXO 14 CONTENIDO DE HUMEDAD ARENA.....	174
ANEXO 15 ABRASIÓN RIPIO.....	174
ANEXO 16 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN RIPIO (G2)	174
ANEXO 17 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN ARENA (G2).....	174
ANEXO 18 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO RIPIO (G2).....	174
ANEXO 19 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ARENA (G2)	174
ANEXO 20 DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA RIPIO (G2).....	174
ANEXO 21 DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA ARENA (G2).....	174
ANEXO 22 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 1 - SIN FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN.....	174
ANEXO 23 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 2 - SIN FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN.....	174
ANEXO 24 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 1 - SIN FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA	174
ANEXO 25 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 2 - SIN FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA	174
ANEXO 26 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 1 - CON FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN.....	174
ANEXO 27 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 2 - CON FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN.....	174

ANEXO 28 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 1 - CON FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA	174
ANEXO 29 COMPRESIÓN DE CILINDROS DOSIFICACIÓN 2 - CON FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA	174
ANEXO 30 MÓDULO DE ELASTICIDAD HORMIGÓN G1SI.....	174
ANEXO 31 MÓDULO DE ELASTICIDAD HORMIGÓN G1SE	174
ANEXO 32 MÓDULO DE ELASTICIDAD HORMIGÓN G1CI.....	174
ANEXO 33 MÓDULO DE ELASTICIDAD HORMIGÓN G1CE	174

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Hace aproximadamente 7500 años, en la edad de piedra, se elaboraban mezclas de hormigón rudimentario, las cuales consistían de piedra caliza, arena, grava y agua, para regularizar los suelos de las viviendas.

Así, para el año 200 a.C., se utilizó la puzolana compuesta de sílice, la que fue mezclada con cal para formar un aglomerante hidráulico, que se endurece al entrar en contacto con el agua. Posteriormente, se empleó este material para la edificación del teatro de Pompeya, los baños públicos de Roma, el coliseo Romano, entre otros. [32]

FIGURA 1. 1 COLISEO ROMANO



FUENTE: <https://www.google.com.ec/search?q=coliseo+de+roma>

La tecnología de los aglomerantes y aglomerados fue avanzando, hasta que en el año de 1824 Joseph Aspdin, mezcló tres partes de piedra caliza y una parte de arcilla, la que hizo secar en el horno, la molió y pulverizó, de esta manera surgió el cemento Portland.

Conforme siguieron las investigaciones, para el año de 1845, Isaac Johnson pudo obtener un compuesto fuertemente cementante, al que denominó Clinker, que era la mezcla de caliza y arcilla expuesta a altas temperaturas de calcinación.

Siendo los componentes del cemento el punto de partida para alcanzar mejores resultados en cuanto a resistencia mecánica y debido a que en la actualidad, la resistencia y durabilidad del hormigón son los parámetros de mayor estudio y preocupación, se han ideado los hormigones de alta resistencia, para solventar estas solicitudes.

Es así que los nuevos requerimientos y demandas técnicas en el campo de la construcción promueven la investigación para aportar soluciones innovadoras, generar avances tecnológicos y desarrollo en los múltiples campos de la ingeniería civil y de construcción que se van creando.

Se dice que todo hormigón durable, se encuentra directamente ligado con la composición y propiedades de la pasta de cemento, la calidad de los agregados, la interacción entre los dos primeros componentes, junto con la temperatura, el uso de aditivos, la incorporación de fibras, el tipo de acabado y el curado a los que está expuesta la mezcla básica, todas estas variables en mayor o menor cuidado y proporción darán comportamientos y capacidades de trabajo diferentes.

En la aplicación práctica de hormigones de alta resistencia, los agregados deben tener una buena granulometría, es decir, un módulo de finura apropiado a los requerimientos de alta resistencia; además para la dosificación se requerirá calcular los datos fundamentales de la densidad aparente, absorción, peso específico, abrasión, contenido de humedad, etc.

En cuanto a la calidad de agua, ésta debe ser potable de preferencia, en una cantidad apropiada de acuerdo a la relación agua-cemento y mantenerse a una temperatura constante superior a 16 °C, lo ideal es mantener las probetas alrededor de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ para el curado final.

Cuando se trabaja con hormigones de alta resistencia, es indispensable pensar en el uso de aditivos que permitan lograr la trabajabilidad adecuada al asentamiento deseado.

Si se trata de pisos industriales también el acabado superficial es importante, por lo que se debe usar liana metálica o alisados mecánicos.

El curado debe tener un especial cuidado, tanto en la hidratación inicial, como a largo plazo, manteniendo la temperatura adecuada de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ y una humedad relativa no menor al 95%.

1.2 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Con el avance de la tecnología y los nuevos usos que se le da al hormigón, se ha visto la necesidad de incrementar la resistencia y durabilidad de las obras civiles, es por esta razón que este trabajo académico se ha enfocado en los pisos industriales FIGURA 1.2.

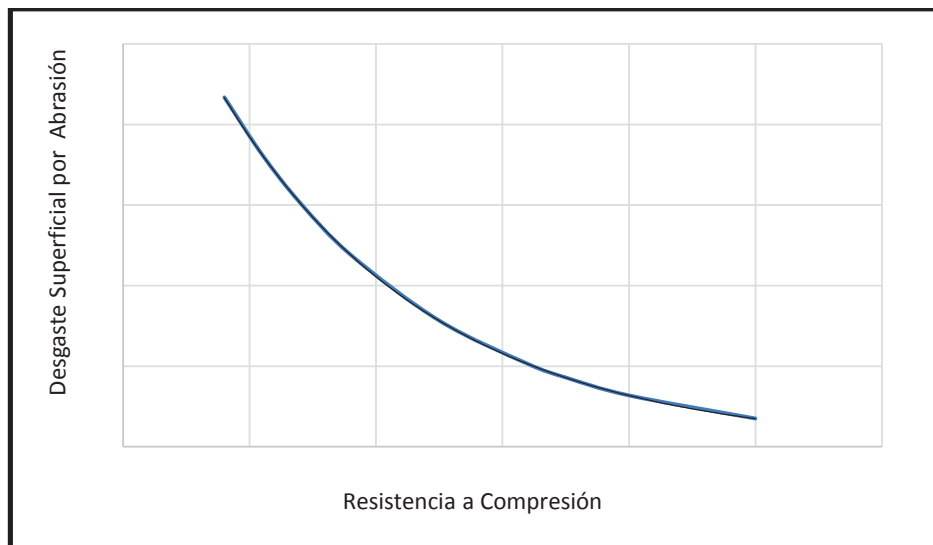
A menudo se tiene problemas con el desgaste superficial o abrasión de las superficies de hormigón, parámetro de durabilidad, que se establece como inversamente proporcional a la resistencia a compresión como se observa en la FIGURA 1.3.

FIGURA 1. 2 PISO INDUSTRIAL (PEATONAL)



FUENTE: <http://vanguardiaweb.blogspot.com>

FIGURA 1. 3 TENDENCIA USUAL ENTRE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y DESGASTE SUPERFICIAL A CONDICIONES ABRASIVAS MODERADAS



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FUENTE: UNAM-CFE

En cuanto a pisos industriales se refiere, la regularidad superficial es uno de los factores primordiales a cumplir, así como su resistencia mecánica y durabilidad, definiendo previamente cuáles serán sus solicitaciones y de esta manera mejorar el hormigón comercial, el mismo que incrementará su resistencia al ser elaborado,

con aditivos especiales que permiten trabajar con una relación agua/cemento baja y a su vez emplear cierto tipo de microfibras consideradas como un refuerzo secundario para reducir la contracción plástica del hormigón. [33]

Un menor desgaste superficial se ve reflejado en pisos que han sido fabricados cuidando los detalles de selección de los materiales a ser empleados, el diseño y por último el curado, para la elaboración de determinado piso industrial según las exigencias de la guía para la construcción de pisos y losas de concreto: ACI 302 / American Concrete Institute, brindando eficiencia, seguridad y economía a los usuarios.

Al tener un mayor cuidado especialmente en el proceso de curado, en los hormigones, se genera una mejor adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, lográndose una superficie con mayor resistencia al desgaste, evitando así grietas y haciéndole durable, es por eso que el curado inicial de 48 horas debe mantenerse a una temperatura no menor a 16 °C, ni mayor a 27 °C, para prevenir la pérdida de humedad. [50].

Una vez culminado el curado inicial para trabajo en laboratorio, se debe colocar los especímenes en tanques de almacenamiento con agua a temperaturas de 23 °C ± 2 °C, o envolver en una lámina plástica para evitar la pérdida de humedad, teniendo en cuenta las mismas condiciones de temperatura, hasta terminar el curado final, el mismo que es considerado hasta 3 horas antes del ensayo de la probeta.

En este proyecto de estudio se plantea el uso de fibras sintéticas de polipropileno, ya que su incorporación a la mezcla de hormigón minimiza las fisuras producidas por retracción plástica, debido al cambio de volumen del hormigón en su paso de hormigón fresco o estado plástico a hormigón endurecido o estado rígido; así como también reduce la exudación del hormigón, fenómeno que genera un aumento en la relación agua / cemento (a/c) en la superficie del piso, por lo tanto le hace débil a los agentes abrasivos.

La exudación se ve disminuida ya que las fibras de polipropileno retienen el agua mas no la absorben, ya que sus filamentos impiden su ascenso.

1.3 ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE PISOS

En el Ecuador se viene utilizando hormigón convencional desde hace mucho tiempo en diferentes obras de carácter industrial, el diseño que generalmente se ha empleado se encuentra en el rango entre 21 MPa y 35 MPa; sin embargo, las construcciones especiales necesitan llegar a mayores resistencias y mejores desempeños.

Los pisos industriales, ofrecen resistencia a cargas estáticas, así como también a cargas abrasivas y de impacto, éstos se diferencian de los pisos comunes ya que son construidos completamente de hormigón, cuidando su acabado para facilitar la limpieza y mantenimiento. Los pisos industriales se encuentran en lugares cerrados destinados a bodegas de almacenamiento o distribución, deben tener una superficie uniforme y continua donde no existan puntos blandos ni muy rígidos, ya que van a recibir las cargas que se transmitirán a la superficie de terreno.

Para alcanzar este objetivo, la opción lógica es reducir la relación a/c, esto permite el crecimiento notable de la resistencia mecánica del hormigón, pero se ve afectada la trabajabilidad de la mezcla; para sobrellevar este inconveniente se hace indispensable el uso de aditivos plastificantes.

Posteriormente a la colocación del hormigón se alisa la superficie que ha sido hormigonada, si este procedimiento se realiza apenas la mezcla ha sido colocada, adicionar endurecedor en polvo para que sea más plana y regular, pero si el alisamiento se realiza en una etapa tardía de endurecimiento, esto ocasiona que la superficie adquiera mayor dureza y su acabado sea más brillante. Además al realizar este método de pulido, se logra disminuir el agua de la superficie haciendo una capa más resistente, que por ningún motivo debe adicionarse agua para seguir alisando ya que en ese caso aumentaría la relación a/c y a su vez se tendría un piso débil.

Terminado este procedimiento se rocía agua como parte del curado para mantener hidratado el cemento, esta etapa debe mantenerse al menos por siete días, periodo en el cual el hormigón adquiere mayor resistencia.

Para tener pisos industriales resistentes y duraderos, se debe conocer el uso que se le dará a la superficie de hormigón ya que los sitios donde se emplean se encuentran en constante funcionamiento y es prácticamente imposible dar mantenimiento de forma recurrente o peor aún restaurar.

Uno de los fundamentos para la decisión de emplear hormigones de alta resistencia (H.A.R.) es reducir las secciones de los elementos de hormigón, y así lograr mayor facilidad de construcción.

Generalmente la vida útil de un hormigón es de alrededor de 20 años sin mantenimiento [61].

1.4 ALCANCE

Actualmente no se cuenta con la suficiente información acerca del comportamiento del hormigón frente al desgaste superficial por abrasión, siendo éste un parámetro fundamental ya que algunos pisos de establecimientos industriales o comerciales deben satisfacer ciertas condiciones excepcionales de dureza y de resistencia al desgaste, por las acciones excesivamente severas a que están sometidos, especialmente aquellos sobre los que existe un intenso tránsito de peatones o vehículos.

En lo que respecta a obras hidráulicas como: azudes, rápidas, disipadores, vertederos, etc., tampoco se tiene información sobre resistencia al desgaste superficial; es por eso que se plantea el empleo del ensayo de desgaste por el método sandblasting ya que permite obtener resultados para obras que se encuentran dentro y fuera del agua como se puede observar en la Figura 1.4.

FIGURA 1. 4 INTERVALOS DE INTENSIDAD ABRASIVA

Condiciones de servicio en la estructura	Método ASTM C418 Chorro de arena a presión	Método ASTM C779		
		A Discos Giratorios	B Rodetes Debastadores	C Balines de Rodamiento
Acción de partículas arrastradas por un flujo de agua de alta velocidad.	■			
Tráfico ligero y mediano (vehículos de todo tipo con llantas neumáticas).	■	■		
Tráfico pesado (vehículos y equipos con ruedas de hule y metálicas).		■	■	
Tráfico muy pesado (vehículos con cadenas antiderrapantes y equipos con bandas tipo oruga).			■	■

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FUENTE: Manual de tecnología del concreto/ sección 3 / UNAM-CFE

En la mayoría de los casos el desgaste por abrasión puede causar problemas de serviciabilidad (regularidad superficial) y perjudicar a la vida útil del elemento de hormigón.

La investigación tiene como enfoque solucionar un problema práctico, estableciendo un proceso adecuado y eficiente para elaborar un hormigón, cuyo desempeño en cuanto a resistencia a desgaste superficial sea mejor respecto al hormigón patrón. El diseño de la mezcla se efectuará con base a las disposiciones para el “PROPORCIONAMIENTO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA” del ACI 211 / American Concrete Institute.

El mismo que inicia con la selección del material pétreo; el agregado fino que se empleará en este proyecto fue extraído de la mina Fucusucu en San Antonio de Pichincha, mientras que el agregado grueso tiene su origen en la mina de Pifo, ambas minas, pertenecientes a la empresa “HOLCIM”, ubicadas en la provincia de Pichincha.

FIGURA 1. 5 UBICACIÓN DE LA CANTERA FUCUSUCU EN SAN ANTONIO DE PICHINCHA



FUENTE: <https://www.google.com.ec/maps/place/San+Antonio>

FIGURA 1. 6 UBICACIÓN DE LA CANTERA PIFO



FUENTE: <https://www.google.com.ec/maps/place/Pifo>

Considerando que la investigación se encuentra dirigida a la superficie de los pavimentos y el objetivo principal es generar altas resistencias a edades tempranas, se emplea el cemento “ARMADURO” de la empresa “LAFARGE”, actualmente “UNACEM”.

Además como se trata de un hormigón cuya relación agua/cemento es baja, la trabajabilidad se ve afectada, por lo tanto se hace indispensable el uso de un aditivo fluidificante en la mezcla, los aditivos a emplearse llevan el nombre de “EUCON 37”, de la empresa “TOXEMENT” y “SIKAMENT N100” de la empresa “SIKA”.

Así como la trabajabilidad, la exudación se considera un problema para el hormigón ya que aumenta la relación agua/cemento en la superficie, para ello se empleará “TOC FIBRA 500” de la empresa “TOXEMENT” para tratar de obstruir el ascenso del agua de la mezcla a la superficie.

Esta no es la única bondad que ofrece la microfibra, ya que se considera como un refuerzo secundario tridimensional cuyas propiedad más importante en el hormigón fresco es reducir los agrietamientos por contracción plástica, y en el hormigón endurecido reduce los agrietamientos por temperatura, incrementa la resistencia a flexión, tensión, corte y torsión, aparte que la superficie del hormigón llega a tener una apariencia lisa.

Una vez establecida la dosificación óptima para el hormigón, se fabricará cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura para determinar la resistencia a compresión, así como el módulo de elasticidad y discos de 20 cm de diámetro por 10 cm de altura para determinar la resistencia al desgaste por abrasión mediante el proceso de Sandblasting, siguiendo las normas INEN y ASTM así como también los siguientes procesos de fabricación con las adiciones que sean del caso.

El primer proceso se lleva a cabo considerando los agregados en su estado natural, variando los porcentajes de aditivo para llegar al asentamiento deseado, entre 5 y 10 cm, el aditivo a emplear como fluidificante es “EUCON 37”. A este proceso se le denomina **G1**, el mismo que presenta cuatro derivaciones o subprocesos con el material sin lavar:

SI: Hormigón patrón, elaborado sin la presencia de microfibra, cuyo proceso de curado es mediante inmersión.

SE: Hormigón elaborado sin la presencia de microfibras, cuyo proceso de curado es mediante envoltura plástica.

CI: Hormigón elaborado con la presencia de microfibras, cuyo proceso de curado es mediante inmersión.

CE: Hormigón elaborado con la presencia de microfibras, cuyo proceso de curado es mediante envoltura plástica.

El segundo proceso toma en consideración la modificación en las características de los agregados, mediante el lavado y secado de los mismos, empleando como fluidificante el aditivo "SIKAMENT N100". A este proceso se le denomina **G2**. La elaboración del hormigón mediante el proceso **G2** se lleva a cabo para verificar si la resistencia a compresión se incrementa de tal forma que justifique el análisis de resistencia al desgaste superficial con sus respectivos subprocesos.

Una vez que se conozca el comportamiento de parte de los subprocesos en cuanto a resistencias se refiere, se llevará a cabo el análisis comparativo entre ellos para identificar el más conveniente en la fabricación de pisos industriales. El proyecto influirá de forma positiva principalmente en industrias y empresas que deseen comercializar y garantizar un producto eficiente en cuanto a desgaste se refiere.

1.5 JUSTIFICACIÓN

En la mayoría de los casos, exceptuando las obras hidráulicas y centrándose en los pisos industriales, el desgaste por abrasión no ocasiona problemas estructurales, sin embargo puede traer consecuencias graves en el comportamiento bajo las condiciones de servicio o indirectamente propiciado por el ataque de algún otro enemigo de la durabilidad.

Debido a que las industrias requieren que sus pavimentos tengan características especiales como resistencia al impacto, resistencia a la abrasión entre otros, surge la necesidad de crear pavimentos que no se desgasten fácilmente ya que puede resultar muy costoso el volver a restablecer el pavimento cada vez que se perciban desgastes que afecten el tránsito.

1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.6.1 OBJETIVOS GENERALES

Contribuir al estado de la ciencia/tecnología de pavimentos y pisos industriales, mediante el análisis comparativo del comportamiento de la resistencia al desgaste superficial por abrasión en pavimentos de hormigón, con la incorporación de fibras sintéticas de polipropileno virgen, empleando dos formas de curado, inmersión y envoltura plástica.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las singularidades que se presentan, referente a la resistencia a la abrasión en función de sus variables.
- Dar a conocer el efecto que las fibras sintéticas generan en el hormigón.
- Conseguir la mejor dosificación para obtener un hormigón de 450 kg/cm².
- Determinar el módulo de elasticidad a los 28 días de edad, medido mediante strain gauge en condición superficie saturada seca.
- Analizar los resultados de resistencia a la compresión de las probetas en función del curado, la utilización de fibra de polipropileno virgen, y dosificación.
- Realizar ensayos de resistencia al desgaste superficial por abrasión para determinar el tipo de mezcla y condición más favorable.
- Establecer el proceso más adecuado y eficiente para evitar el desgaste acelerado de la superficie de hormigón.
- Cuantificar la resistencia al desgaste superficial por abrasión.
- Dar recomendaciones prácticas en base a las variables establecidas.
- Determinar la mejor opción en cuanto a costo – beneficio.
- Realizar el análisis comparativo de resultados

CAPÍTULO 2

PAVIMENTOS Y PISOS INDUSTRIALES

2.1 GENERALIDADES

Los pisos y pavimentos de hormigón, están conformados por varias capas que se diseñan y construyen técnicamente, éstos absorben las deformaciones debido a su alta rigidez, donde los esfuerzos poco o nada son transmitidos a las capas subsiguientes inferiores.

Las funciones principales que tienen que cumplir tanto los pavimentos como los pisos de hormigón son:

- Repartir y amortiguar las cargas.
- Proteger de los agentes químicos, físicos, mecánicos o ambientales que eviten mantener una superficie regular.
- Permitir un tránsito seguro durante el período para el que fue diseñado.

2.1.1 PISOS INDUSTRIALES

Los pisos industriales son pavimentos muy resistentes, tanto a agentes mecánicos, como químicos y de impacto; son diseñados para industrias en las que, por lo general, el mantenimiento es un factor que no se emplea frecuentemente, ya que se trata de lugares donde no se puede detener las actividades que ahí se desarrollan, se trata de superficies, muy planas donde la funcionalidad es su principal aliado.

Los pisos, así como los pavimentos se encuentran expuestos a cargas puntuales, repartidas o móviles, según sea el caso. En el presente proyecto de estudio, se considera la superficie de un piso industrial clase 5 de una capa sencilla según establece el ACI 302 (“American Concrete Institute”). Tabla 2.1.

La característica principal a estudiarse es el desgaste superficial, el mismo que se encuentra relacionado tanto a la resistencia a compresión como al módulo de elasticidad.

TABLA 2. 1 CLASIFICACIÓN 5 DE PISOS INDUSTRIALES

	TIPO ANTICIPADO DE TRANSITO	USO
5. Una capa sencilla	Superficie expuesta tránsito industrial vehicular, es decir, ruedas neumáticas y ruedas solidas moderadamente suaves.	Pisos industriales para fabricación, procesamiento de bodegas.
	CONSIDERACIONES ESPECIALES	ACABADO FINAL
	Subrasante buena y uniforme, disposición de juntas, resistencias a la abrasión, curado.	Acabado ligero alisado con llana de acero.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FUENTE: <http://blog.360gradosenconcreto.com>

FOTOGRAFÍA 2. 1 PISO INDUSTRIAL TRÁNSITO VEHICULAR



FUENTE: CODESA - Esmeraldas

FOTOGRAFÍA 2. 2 PISO INDUSTRIAL CARGAS PUNTUALES



FUENTE: CIV – FICA - EPN

En la actualidad los pisos industriales se construyen usando refuerzo principal de acero y en ciertos casos se adiciona el refuerzo secundario el cual consta de microfibras sintéticas de polipropileno o metálicas, para disminuir los problemas por contracción.

La función de las fibras es unirse de tal forma que exista una reducción en el largo y ancho de las fisuras lo cual evita el ingreso de agentes externos que puedan dañar el refuerzo principal del pavimento o piso industrial.

Los factores que afectan el comportamiento del hormigón frente al desgaste superficial son:

- Agua de mezclado excesiva.
- Relación agua / cemento mayor a 0.50.
- Mayor tiempo de amasado de la mezcla.

- Revenimientos altos, mayores a 7.5 sin aditivo.
- Curado inadecuado.
- Adición de agua al terminado o alisado.
- Variaciones excesivas en la temperatura.
- Precipitada puesta en servicio.

2.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se define como la mayor capacidad que posee el hormigón u otro material para soportar esfuerzos por carga axial.

La resistencia a compresión tiene tres objetivos bien definidos:

- Comprobar si la resistencia de la mezcla cumple con los requisitos de diseño.
- Controlar y ajustar las mezclas durante su producción.
- Verificar la resistencia cuando la mezcla sea parte de la estructura.

Generalmente el ensayo a compresión en el hormigón es utilizado para el control de calidad, pese a que se trata de un ensayo destructivo es el más común dentro del diseño y comprobación de mezclas.

La resistencia a la compresión es inversamente proporcional a la relación a/c, es decir a mayor relación a/c, menor resistencia.

La resistencia a compresión se puede determinar a partir de una muestra de al menos tres probetas cilíndricas en condición superficie saturada seca, las cuales van a ser sometidas a carga axial a una velocidad de 0.25 ± 0.05 MPa/s en forma continua, como especifican las normas NTE INEN 1573 "HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO." / ASTM C39M – 15ª "STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS" hasta llegar a la rotura, alcanzando la mayor carga en cada una de ellas, esta carga se

divide para su área, dando como resultado el valor de f'_c , después se determina el promedio a partir de los valores encontrados.

El procedimiento se realiza en muestras a diferentes edades, 3, 7, 14, 28, 56, 90 o más días. Fotografía 2.3.

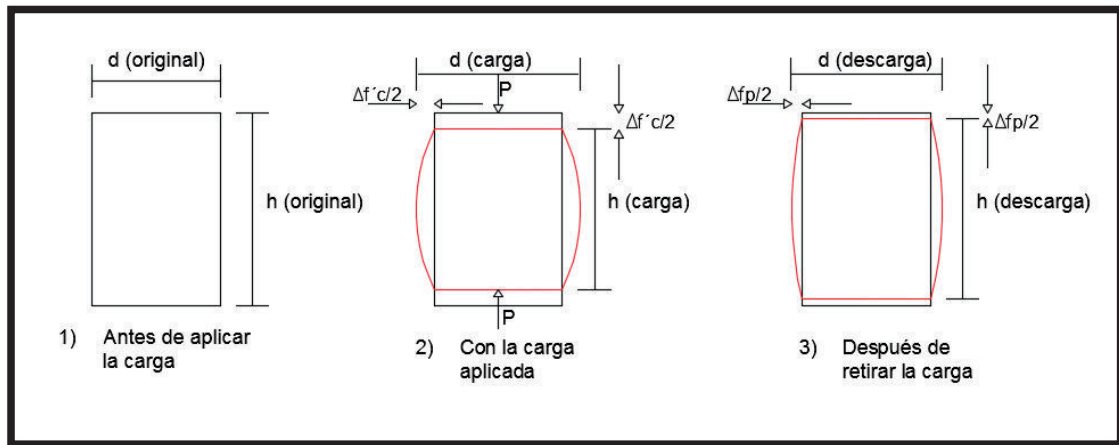
FOTOGRAFÍA 2. 3 RESISTENCIA A COMPRESIÓN



FUENTE: LEMSUR - FICA - EPN

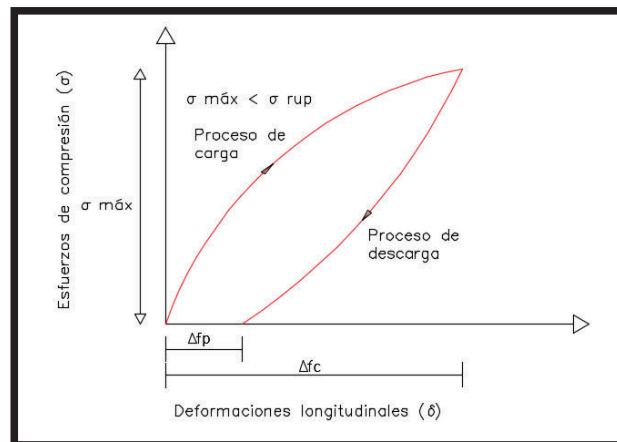
2.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Para determinar el módulo de elasticidad, se puede emplear dos métodos ya sea el empírico, en el cual se determina la carga de rotura de los especímenes cilíndricos y se adopta las ecuaciones planteadas por el ACI 318 o el ACI 363, o de lo contrario también se puede emplear el método experimental, el procedimiento consta de aplicar carga a velocidad constante de tal forma que se pueda leer los valores de deformación, al menos se debe realizar tres ciclos de carga y descarga, midiendo las deformaciones parciales en cada ciclo, a partir de dichos datos, se determina el módulo de elasticidad mediante la pendiente tangente o secante a la curva de carga.

FIGURA 2. 1 REPRESENTACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FUENTE: CFE (1994). Manual de Tecnología del Concreto. Sección 3

FIGURA 2. 2 PROCESO CARGA - DESCARGA

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FUENTE: CFE (1994). Manual de Tecnología del Concreto.

2.4 DESGASTE POR ABRASIÓN

El desgaste a la abrasión del hormigón se define como "la capacidad de una superficie de concreto para resistir el desgaste por frotamiento y fricción" (ACI 116R).

Las acciones que generan el desgaste por abrasión generalmente son del tipo mecánico, y suceden con mayor frecuencia en pisos y pavimentos, se clasifican de acuerdo a la intensidad:

- Abrasión ligera (fábricas o plantas industriales).
- Abrasión energética (muelles, zona de carga de embarcaciones).
- Abrasión muy energética (aserraderos zona de carga de troncos).

En el caso de superficies sujetas a paso de agua, como canales y vertederos, esta acción de desgaste se conoce como erosión, el efecto en la superficie de los hormigones es el mismo que la abrasión en las estructuras.

Cuando el desgaste en la superficie es de intensidad ligera o moderada, cumple con la tendencia que relaciona el comportamiento de la resistencia a compresión con la abrasión, es decir, a mayor resistencia a compresión, menor desgaste superficial. Como indica la Figura 1.3.

Para determinar la abrasión, existen tres métodos estándar cuyos procedimientos enuncian las normas ASTM.

- Método Sandblasting o Chorro de Arena (ASTM C418 “STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE BY SANDBLASTING”).
- Método compuesto, consta de tres procedimientos opcionales, Discos giratorios, rodets devastadores y balines de rodamiento (ASTM C779 “STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF HORIZONTAL CONCRETE SURFACES”).
- Método cortador rotatorio (ASTM C944 “STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE OR MORTAR SURFACES BY THE ROTATING – CUTTER METHOD”).

En las pruebas de desgaste, la profundidad del mismo es una muestra de la medida de la abrasión en el hormigón, a continuación se describen los métodos mencionados:

Método de Sandblasting

Este método consiste en proyectar un chorro de arena de sílice contra un disco de hormigón de 20 cm de diámetro, como se observa en la Figura 2.3, la arena debe pasar el tamiz N°20 (0.85 mm) para retenerse en el tamiz N° 30 (0.60 mm), la presión establecida para el ensayo es de 100 p.s.i., este procedimiento genera pequeños orificios denominados huellas, en total se debe generar 8 huellas de 1 minuto cada una, en la superficie del disco, finalmente se determina el área y volumen desgastados.

FOTOGRAFÍA 2. 4 MÉTODO SANDBLASTING



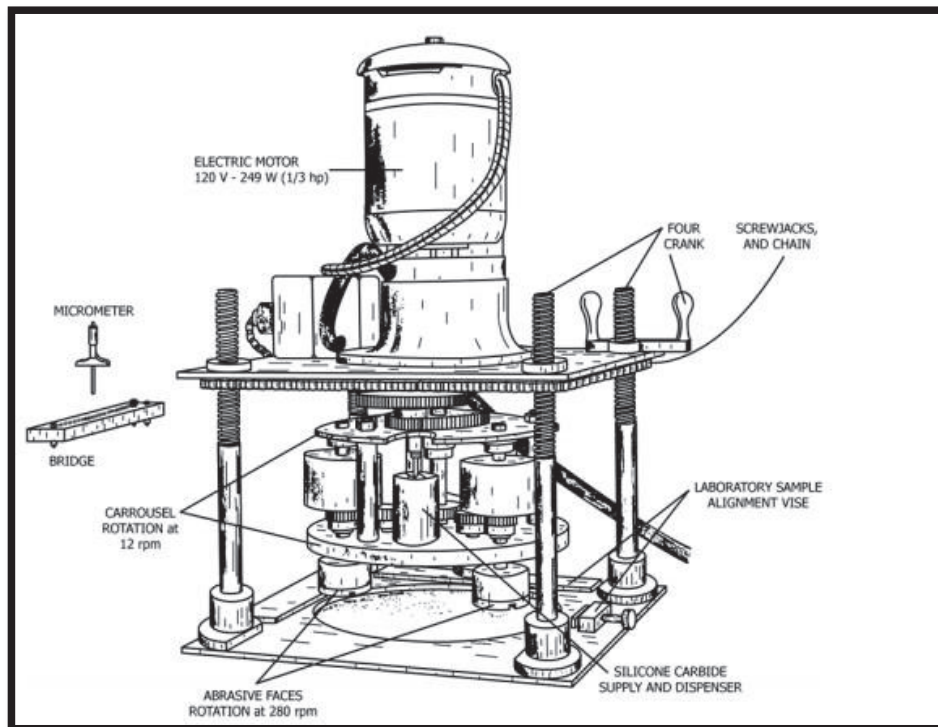
FUENTE: Laboratorio Soldadura – EPN

Método de los discos giratorios

Esta prueba consiste de un disco con tres superficies planas que giran en trayectoria circular a 0.2 ciclos/s. Cada superficie gira sobre su propio eje a 4.7 ciclos/s. Se emplea arenisca de carburo de silicio tamaño correspondiente al tamiz N° 60 (0.25 mm) como agente abrasivo.

Los especímenes (3 piezas) pueden ser de aproximadamente 30.5 cm por lado. La prueba dura 30 minutos, al final se mide la profundidad de la huella individual y se obtiene un promedio.

FIGURA 2. 3 MÉTODO DISCOS GIRATORIOS

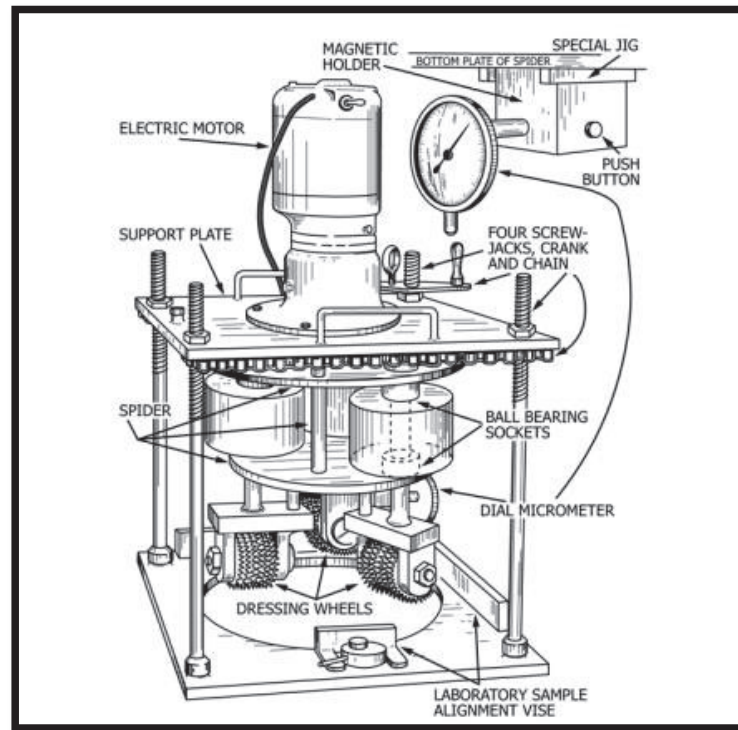


FUENTE: ASTM C 779M-12.

Método de las ruedas dentadas

Este procedimiento consta de la acción de tres ruedas dentadas de acero que giran libremente y a su vez están sujetas a un árbol vertical. Las muestras usadas pueden ser de 30.5 cm. por lado. La prueba tiene una duración de 30 a 60 minutos dependiendo del tipo de simulación. El informe reporta la profundidad de la huella obtenida con respecto al tiempo a intervalos de 15 minutos.

FIGURA 2. 4 MÉTODO RUEDAS DENTADAS



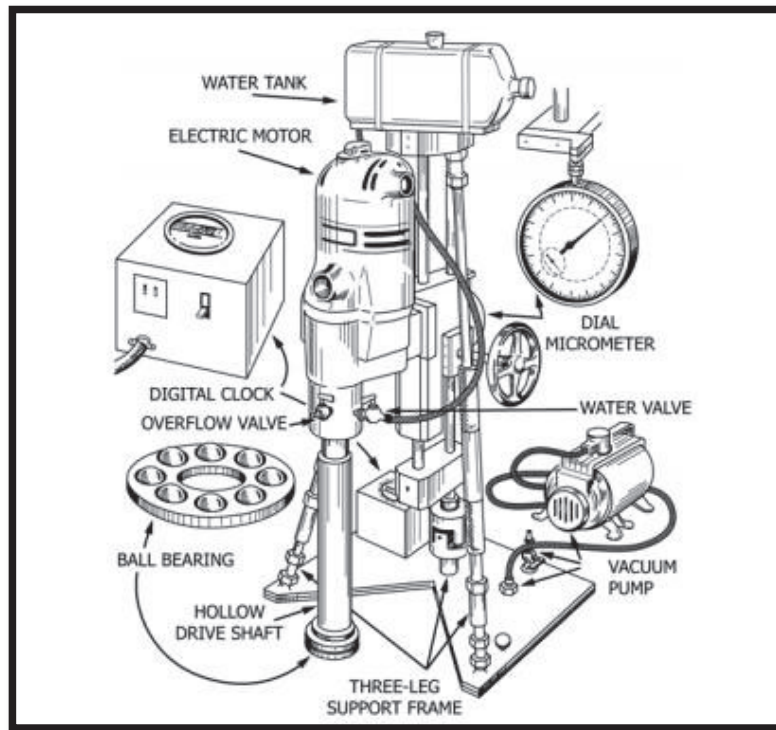
FUENTE: ASTM C 779M-12.

Método balines de rodamiento

La función de este aparato es dependiente de la acción abrasiva de un arreglo de baleros que giran a 17 ciclos/s, con una carga en una superficie húmeda. La acción del agua con las partículas sueltas durante la prueba proporciona impacto, generando así una fricción deslizante.

El tamaño de las probetas es igual al de los procedimientos anteriores. El informe consistirá en obtener la profundidad a cada 50 segundos durante 1200 segundos que dura la prueba.

FIGURA 2. 5 MÉTODO BALINES DE RODAMIENTO

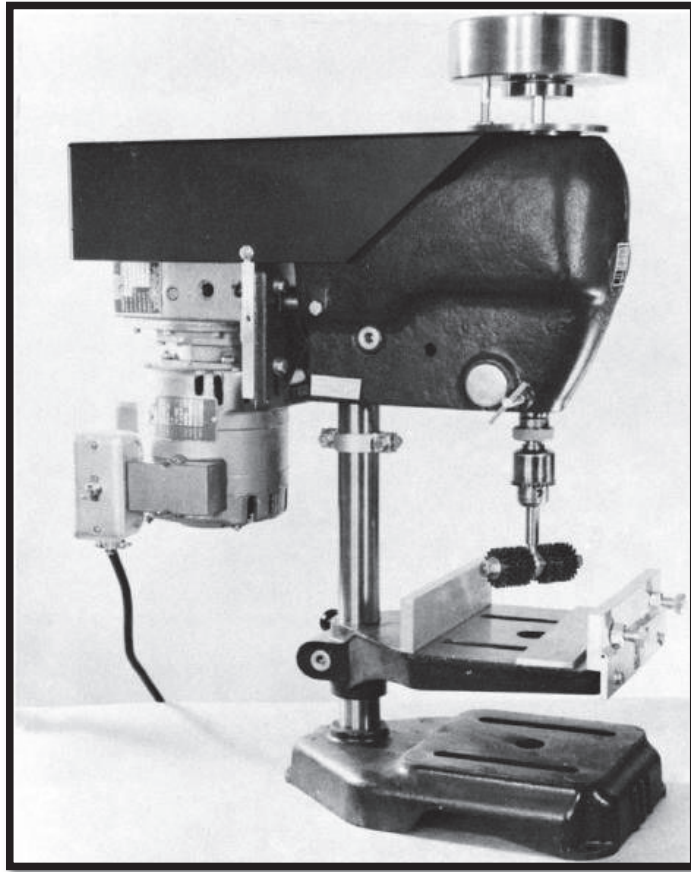


FUENTE: ASTM C 779M-12.

Método cortador rotatorio

La pérdida de peso, es una segunda forma de medir el desgaste del hormigón. La norma ASTM-C-944 describe el método del cortador rotatorio, el cual consiste en un dispositivo similar a un taladro con broca, el cual gira a una velocidad de 200 rpm. Este procedimiento, es apropiado para “almas” de hormigón obtenidas de morteros u hormigones.

Durante la prueba se aplica una carga de 10 kgf en el espécimen durante 2 minutos y en tres periodos. Por medio de una balanza se obtienen los pesos de la muestra al final de cada periodo.

FIGURA 2. 6 MÉTODO CORTADOR ROTATORIO

FUENTE: ASTM C 944M-12.

En la realización de los ensayos para determinar el desgaste, se puede tomar en consideración cualquiera de los métodos antes descritos, en base al grado de abrasión.

CAPÍTULO 3

PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIALES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE PROCESOS BÁSICOS

3.1 CEMENTO

El cemento es un material que presenta propiedades de adherencia y cohesión por su efecto aglutinante, para formar un sistema duro y compacto. Este material fragua y endurece con la presencia de agua desencadenando una serie de reacciones químicas.

Para obtener un hormigón de alta resistencia, la selección de un cemento que cumpla los requerimientos establecidos según el proyecto, es un punto muy importante, ya que las variaciones tanto en la composición química cuanto en las propiedades físicas del cemento pueden afectar significativamente la resistencia a la compresión. [59]

La influencia del cemento en el hormigón se deriva de la composición química del clínker y de su finura así como las características físicas y químicas de la puzolana y su contenido en el cemento.

Los diferentes tipos de cemento, se pueden identificar a partir de ciertas variaciones de sus cuatro componentes principales:

- Silicato tricálcico (C₃S)
- Silicato dicálcico (C₂S)
- Aluminato tricálcico (C₃A)
- Ferroaluminato tetracálcico (C₄AF)

Cada componente cumple una función especial, es así que:

Los silicatos son los responsables de la resistencia mecánica del hormigón.

El aluminato tiene la facultad de hidratarse con mayor rapidez, incrementando la velocidad de fraguado y el calor de hidratación, es importante no exceder las cantidades mínimas del componente, ya que puede tornarse susceptible a sufrir daños por el ataque de los sulfatos.

El ferroaluminato tetracálcico es un compuesto indispensable para la fundición durante el proceso de calcinación del Clinker, éste colabora con la hidratación de los otros compuestos.

El cemento Portland se encuentra compuesto de minerales calcáreos como la caliza así como materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice.

Generalmente la caliza se encuentra en el orden de cuatro veces la arcilla, pero ésta es perjudicial si contiene grandes cantidades de magnesio, lo que ocasiona cambios de volumen en la pasta de cemento, que a su vez da lugar al fisuramiento y propiedades mecánicas deficientes en el hormigón. [59]

Existen varios tipos de cemento para satisfacer las diferentes necesidades según los requerimientos específicos.

Según la norma NTE INEN 2380 "CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS" reconoce 6 tipos de cemento:

- Tipo GU: Uso general.
- Tipo HE: Alta resistencia inicial.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación

Según la norma NTE INEN 490 "CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS" reconoce 3 tipos de cemento compuesto, binario o ternario:

- Tipo IS: Cemento portland y escoria de altos hornos.
- Tipo IP: Cemento portland y una puzolana.
- Tipo IT: Cemento portland y dos tipos de puzolana o cemento IS y una puzolana.

En este proyecto de estudio, se empleó el cemento Armaduro, que corresponde al tipo IP de la norma NTE INEN 490 “CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS”, según especifica su ficha técnica, la característica principal es su elevada resistencia inicial, un requerimiento importante si se trata de estructuras masivas que deben ser puestas en servicio rápidamente.

El cemento puede ser expedido a granel o mediante sacos de 50 kg o 42.5 kg. Para mantener el cemento en buenas condiciones, es indispensable un correcto almacenamiento, si éste se encuentra en silos en condiciones óptimas, puede llegar a durar hasta 3 meses sin cambiar su resistencia, pero si se encuentra almacenado en sacos de papel, a las 4 o 6 semanas puede llegar a perder cerca del 20% de su resistencia mecánica. [59].

Si se llega a observar que el cemento presenta grumos, es posible que se haya dado un fraguado por aire, para evitar que esto suceda, es importante mantener los sacos de cemento lejos de la humedad, en sitios cerrados sobre una cama de madera con ventilación adecuada sin que esté en contacto con el piso, de preferencia dentro de fundas plásticas.

3.1.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO

Las propiedades pueden ser físicas, químicas o mecánicas, las mismas que determinan los beneficios de los componentes para tener una pasta cementante de buena calidad. Es por eso que en esta sección se enuncia las propiedades físicas más representativas.

3.1.1.1 Cemento Armaduro

Genera un moderado calor de hidratación, si se trata de grandes cantidades de hormigón esto se consideraría un aspecto a favor, ya que a diferencia del cemento IP de uso general, éste además proporciona altas resistencias a edades tempranas.

TABLA 3. 1 REQUISITOS QUÍMICOS DEL CEMENTO

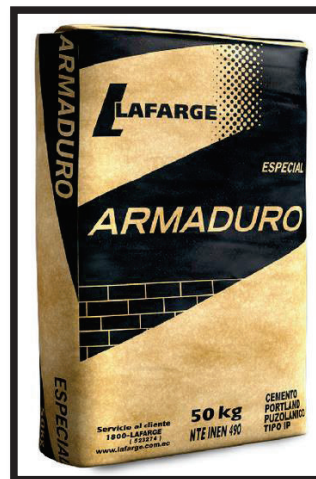
PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Pérdida por calcinación	≤ 5%	1,40%
Magnesio (MgO)	≤ 6%	2,30%
Sulfatos (SO ₃)	≤ 4%	2,40%

FUENTE: Hoja Técnica ARMADURO UNACEM

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

En el ANEXO 1 se encuentra un resumen de las características físicas y químicas del cemento.

FIGURA 3. 1 PRESENTACIÓN DEL CEMENTO ARMADURO



FUENTE: <http://eloficial.com.ec>

3.1.1.2 Densidad Aparente Suelta

Se denomina densidad aparente al peso volumétrico, varía de acuerdo al grado de compactación, el procedimiento para el ensayo de densidad aparente suelta del cemento fue tomado de la Guía didáctica para el diseño de mezclas [60].

Equipo:

- Moldes prismáticos.
- Espátula.
- Calibrador 0.02 centésimas de mm.
- Balanza 0.01 g.
- Bandeja.
- Brocha.

Procedimiento de ensayo:

- Pesar los moldes cilíndricos.
- Determinar el volumen de los moldes a partir de sus dimensiones.
- Colocar el cemento cuidadosamente en el molde, hasta llenarlo.
- Enrasar el molde de tal forma que no se compacte el cemento por vibración.
- Limpiar el exceso de cemento alrededor del molde con una brocha y pesar.
- Repetir el ensayo dos veces por lo menos para obtener un valor promedio.

FOTOGRAFÍA 3. 1 DENSIDAD APARENTE SUELTA CEMENTO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 2 DENSIDAD APARENTE SUELTA CEMENTO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$W_{CS} = P_2 - P_1 \quad (3.1)$$

$$V_r = \frac{\pi * \Phi^2 * h}{4} \quad (3.2)$$

$$\gamma_s = \frac{W_{cs}}{V_r} \quad (3.3)$$

$$\gamma_{ts} = \frac{\gamma_{s1} + \gamma_{s2}}{2} \quad (3.4)$$

Donde:

P_1 = Peso del molde vacío.

P_2 = Peso del molde con cemento.

W_{cs} = Peso cemento suelto.

V_r = Volumen del recipiente.

γ_s = Densidad suelta del cemento.

γ_{ts} = Promedio densidad suelta del cemento.

3.1.1.3 Densidad Aparente Compactada

Tiene el mismo principio de la densidad aparente suelta, con la única diferencia que en el presente procedimiento de ensayo es necesario compactar la muestra de cemento, el equipo a emplear es el mismo que el de la sección 3.1.1.2., el procedimiento para el ensayo de densidad aparente compactada del cemento fue tomado de la Guía didáctica para el diseño de mezclas [60].

Procedimiento:

- Pesar y medir los moldes cilíndricos.
- Calcular el volumen de los moldes.
- Llenar con cemento cada molde hasta la tercera parte de su altura.
- Dejar caer 25 veces el molde de una altura de 2 cm aproximadamente, para compactar el cemento dentro del molde.
- Repetir los dos pasos anteriores para las dos terceras partes del molde y cuando éste se encuentre lleno completamente.
- Enrasar el molde, limpiar los excesos y pesar.
- Repetir mínimo dos veces el ensayo para obtener un promedio.

FOTOGRAFÍA 3. 3 DENSIDAD APARENTE COMPACTADA CEMENTO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 4 DENSIDAD APARENTE COMPACTADA CEMENTO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$W_{cc} = P_2 - P_1 \quad (3.5)$$

$$V_r = \frac{\pi * \Phi^2 * h}{4} \quad (3.6)$$

$$\gamma_c = \frac{W_{cc}}{V_r} \quad (3.7)$$

$$\gamma_{tc} = \frac{\gamma_{c1} + \gamma_{c2}}{2} \quad (3.8)$$

Donde:

P_1 = Peso del molde vacío.

P_2 = Peso del molde con cemento.

W_{cc} = Peso cemento compactado.

V_r = Volumen del recipiente.

γ_c = Densidad compactada del cemento.

γ_{tc} = Promedio densidad compactada del cemento.

3.1.1.4 Densidad Real

El valor que se obtiene de este ensayo es muy importante, permite realizar los cálculos volumétricos usados en el diseño de la mezcla de hormigón, para determinar la densidad real en el cemento se consideró las normas NTE INEN 156 “CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD” / ASTM C188 “STANDARD TEST METHOD FOR DENSITY OF HYDRAULIC CEMENT”.

Equipo:

- Frasco de Le Chatelier.
- Balanza 0.01 g.
- Embudo.
- Espátula.
- Muestra de cemento.
- Reactivo (gasolina).

Procedimiento:

- Llenar con gasolina el frasco de Le Chatelier hasta el intervalo entre 0 y 1 en la sección inferior del cuello del frasco.
- Tomar el dato de volumen y peso inicial del frasco con reactivo.
- Introducir 64 g de la muestra de cemento, hasta que el reactivo con cemento alcance la sección superior del cuello del frasco, entre 18 y 24 cm³.
- Tapar el frasco y extraer el aire atrapado mediante baño María.
- Dejar reposar alrededor de 3 minutos.
- Verificar que la temperatura no presente variaciones.
- Tomar el dato de volumen.
- Pesar el frasco con reactivo y cemento.
- Repetir el procedimiento por lo menos dos veces.

FOTOGRAFÍA 3. 5 DENSIDAD REAL CEMENTO

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 6 DENSIDAD REAL CEMENTO

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$D_{\text{REAL}} = \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1} (g / cm^3) \quad (3.9)$$

$$D_{\text{REAL TOTAL}} = \frac{D_{R1} + D_{R2}}{2} \text{ (g / cm}^3\text{)} \quad (3.10)$$

Donde:

D_{REAL} = Densidad real del cemento.

P_1 = Peso del frasco con reactivo.

P_2 = Peso del frasco con reactivo y cemento.

L_1 = Lectura del volumen inicial.

L_2 = Lectura del volumen final.

$D_{\text{REAL TOTAL}}$ = Promedio de los ensayos realizados.

A continuación se presenta la tabla con el resumen de los ensayos realizados en el cemento, los mismos que se encuentran descritos en el ANEXO 5

TABLA 3. 2 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

Fabrica	UNACEM
Nombre	Armadero
Densidad Suelta	1,045 g/cm ³
Densidad Compactada	1,298 g/cm ³
Densidad Real	2,993 g/cm ³

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

3.2 AGREGADO GRUESO

El agregado grueso junto con la pasta, generan una mayor resistencia mecánica y controlan los cambios volumétricos cuando empieza a fraguar el cemento.

Para generar mayores resistencias mecánicas, en lo posible las partículas deben ser poliédricas de material triturado, evitando así el material cuyas partículas sean alargadas, éstas disminuyen la durabilidad porque se orientan en un solo plano, o esféricas, ya que se ve afectada la adherencia mecánica entre los componentes del hormigón.

FOTOGRAFÍA 3. 7 AGREGADO GRUESO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Como el agregado grueso representa la mayor proporción en la mezcla, es mejor considerar un agregado grueso que no presente fisuras o planos débiles, debido a que las propiedades del agregado grueso afectan significativamente las características de adherencia entre el agregado y la pasta, así como el requerimiento de agua para el mezclado. [57]

El agregado se clasifica en chispa o grava según su tamaño. El rango para chispa es 4.75 mm a 19 mm, generalmente para hormigones de alta resistencia se utiliza chispa debido a que está comprobado que proporciona mayor resistencia potencial [57], mientras que la grava que se encuentra entre 19mm y 51mm, se utiliza para hormigón convencional. [59]

3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas de los agregados que influyen en el comportamiento del hormigón son: granulometría, contenido de humedad, densidades aparentes, peso específico, absorción, abrasión, porosidad y forma del agregado.

En la TABLA 3.3 se establece la cantidad adecuada en función del tamaño máximo nominal del agregado para realizar los ensayos de laboratorio.

TABLA 3. 3 TAMAÑO DE MUESTRAS PARA AGREGADOS

Tamaño del árido (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)	Volumen mínimo de la muestra (litros)
Áridos finos		
2,36	10	8
4,75	10	8
Áridos gruesos		
9,5	10	8
12,5	15	12
19	25	20
25	50	40
37,5	75	60
50	100	80
63	125	100
75	150	120
90	175	140

FUENTE: NTE INEN 695 - 2010 y ASTM D 75 - 09.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

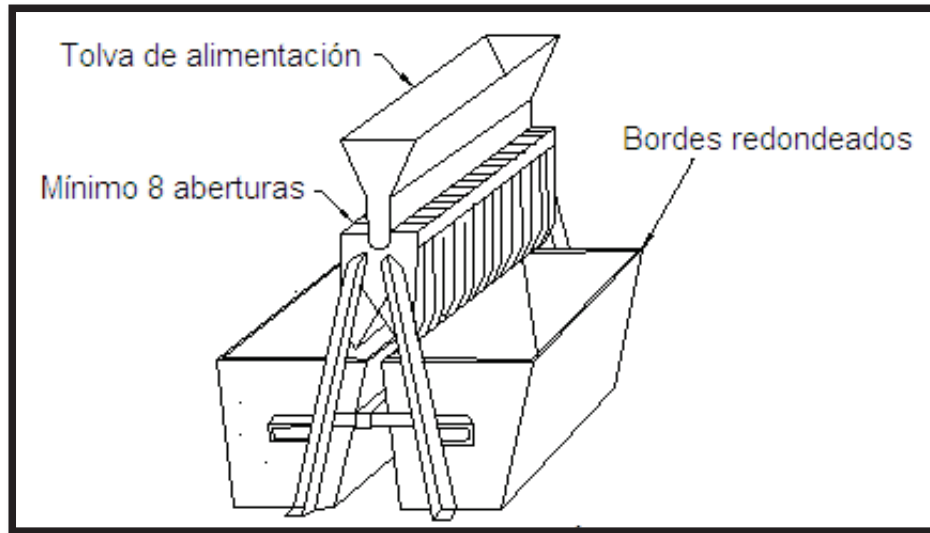
Para realizar los ensayos antes mencionados, se establece una masa mínima de la muestra para reducirla al tamaño de ensayo, la separación de la muestra se realiza de forma mecánica a partir del método A, descrito en las normas NTE INEN 2566 (2010) "ÁRIDOS. REDUCCIÓN DE MUESTRA A TAMAÑO DE ENSAYO", y ASTM C702M-11 "REDUCING SAMPLES OF AGGREGATE TO TESTING SIZE"; el procedimiento establece que:

- La muestra original debe ser colocada en una tolva de alimentación como la de la FIGURA 3.2; esta muestra es de 15 kg ya que en el presente proyecto el tamaño máximo nominal del agregado es 12.5 mm.
- Distribuir uniformemente la muestra a lo largo de la tolva de alimentación a una velocidad que permita que la muestra caiga libremente.
- Volver a introducir la muestra de uno de los separadores cuantas veces sea necesario hasta reducir la muestra al tamaño de ensayo.

- Reservar el material del otro separador para utilizar en otro ensayo.

Para agregado grueso el separador de muestras debe tener mínimo 8 conductos del mismo ancho.

FIGURA 3. 2 SEPARADOR DE MUESTRA PARA AGREGADO GRUESO



FUENTE: NTE INEN 2566 - 2010 y ASTM C 702 – 03

3.2.2 GRANULOMETRÍA

Este ensayo se realiza para determinar la distribución porcentual de las partículas del agregado grueso en función de sus proporciones por tamiz (gradación), para su desarrollo se utiliza las normas NTE INEN 696 (2011) “ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO” y ASTM C136 – 14 “SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES”, el agregado previamente debe estar seco y muestreado.

A partir del tamaño de la muestra de la TABLA 3.4, el número de tamaño y el intervalo de tamaño nominal de la muestra, de la TABLA 3.5, se selecciona los tamices a emplear en el ensayo.

La serie de tamices, generalmente se ordena de tal manera que el tamiz superior es el doble del tamiz subsiguiente como estableció Duff Abrams en el juego de tamices americano Tyler, para determinar la granulometría, muchas veces se incluyen también otros tamices que no cumplen dicha relación. [64]

TABLA 3. 4 TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ENSAYO DE AGREGADO GRUESO.

Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas (mm)	Tamaño mínimo de la muestra de ensayo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
125,0	300

FUENTE: NTE INEN 696 - 2011 y ASTM C 136 - 14.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 3. 5 REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Size Number	Nominal Size	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 μm
		4 in.	3 1/2 in.	3 in.	2 1/2 in.	2 in.	1 1/2 in.	1 in.	3/4 in.	1/2 in.	3/8 in.	No. 4	No. 8	No. 16	No. 50
1	90 a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in.)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50,0 a 25,0 mm (2 a 1 in.)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	50 a 4,75 mm (2 in. a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37,5 a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4 in.)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	37,5 a 4,75 mm (1 1/2 in. a No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25,0 a 12,5 mm (1 a 1/2 in.)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25,0 a 9,5 mm (1 a 3/8 in.)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25,0 a 4,75 mm (1 in. a No. 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19,0 a 9,5 mm (3/4 a 3/8 in.)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19,0 a 4,75 mm (3/4 in. a No.4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5 a 4,75 mm (1/2 in. a No. 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 a 2,36 mm (3/8 in a No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9,5 a 1,18 mm (3/8 in. a No. 16)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A (Terminology C 125)	4,75 a 1,18 mm (No. 4 a No.16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

FUENTE: NTE INEN 872 - 2011 y

ASTM C 33 - 13.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Equipo:

- Tamizadora.
- Juego de tamices.
- Bandeja.
- Balanza 0.01 g.
- Cepillo metálico
- Brocha.
- Recipiente.
- Horno $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Procedimiento:

- Cuartear la muestra y secar en el horno a una temperatura alrededor de los $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 18 y 24 horas.
- Tomar la muestra de agregado correspondiente al tamaño máximo nominal según la TABLA 3.4.
- Colocar la serie de tamices de menor a mayor, es decir desde la bandeja hasta el tamiz con mayor abertura, según el número de tamaño de la TABLA 3.5, en la tamizadora.
- Colocar la muestra en el tamiz de mayor abertura y cerrar las compuertas.
- Agitar los tamices en la tamizadora entre 5 y 10 minutos.
- Pesar el material retenido en cada tamiz.
- Registrar los valores para determinar el porcentaje retenido de cada tamiz y el módulo de finura del agregado.

Con la suma de porcentajes retenidos acumulados de la serie normalizada de Tyler dividido para 100 se puede determinar el índice módulo de finura.

La serie se emplea en función del tamaño máximo nominal de la muestra. Cuando el agregado tiene partículas más gruesas el módulo es mayor.

FOTOGRAFÍA 3. 8 TAMIZADORA PARA AGREGADO GRUESO Y SERIE DE TAMICES



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 9 GRANULOMETRÍA DE AGREGADO GRUESO TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL 1/2"



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$P_R = \sum p_r \quad (3.11)$$

$$\%R = \frac{p_r}{P_R} * 100 \quad (3.12)$$

$$\%RA = \sum \%R \quad (3.13)$$

$$\%Pasa = 100 - \sum \%RA \quad (3.14)$$

$$MF = \frac{[\sum \%RA]_{ST}}{100} \quad (3.15)$$

Donde:

p_r = Peso retenido en cada tamiz.

P_R = Peso retenido acumulado.

$\%R$ = Porcentaje retenido en cada tamiz.

$\%RA$ = Porcentaje retenido acumulado.

MF = Módulo de finura.

ST = Serie módulo de finura o serie de Tyler

La serie módulo de finura comprende los siguientes tamices:

3" (75.00 mm), 1 ½" (37.50 mm), ¾" (19.00 mm), 3/8" (9.50 mm), N°4 (4.75 mm), N°8 (2.36 mm), N°16 (1.18 mm), N°30 (0.60 mm), N°50 (0.30 mm), N°100 (0.15 mm).

3.2.3 DENSIDADES APARENTES

La densidad se encuentra definida como la relación entre una masa de agregado para determinado volumen unitario.

Para realizar el ensayo de laboratorio y determinar el valor de la densidad aparente del agregado grueso, se hace uso de las normas NTE INEN 858 (2010) "ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL

PORCENTAJE DE VACÍOS” y ASTM C29M – 09 “STANDARD TEST METHOD FOR BULK DENSITY (“UNIT WEIGHT”) AND VOIDS IN AGGREGATE”.

En cuanto a densidad aparente, existen dos procedimientos de ensayo: uno para densidad suelta y otro para densidad compactada del agregado; según el tamaño máximo nominal, se puede determinar el volumen del molde a utilizar en la prueba de laboratorio como indica la TABLA 3.6.

TABLA 3. 6 CAPACIDAD DE LOS MOLDES PARA DENSIDAD APARENTE

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Capacidad nominal del molde (litros)
12,5	2,8
25	9,3
37,5	14
75	28
100	70
125	100

FUENTE: NTE INEN 858 - 2010 y ASTM C29 - 09.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

A continuación se puede observar el equipo y los procedimientos de ensayo, así como las fórmulas a emplear en el cálculo.

Equipo:

- Balanza 0.05 Kg.
- Molde cilíndrico en función de la TABLA 3.6.
- Barra de compactación punta semiesférica (16 mm de diámetro y 600 mm de longitud).
- Flexómetro.
- Pala.
- Brocha.
- Bandeja.

3.2.3.1 Densidad Aparente Suelta

- Se mide y pesa el molde vacío.
- Se llena cuidadosamente el molde de tal forma que no exista posibilidad alguna de vibración, y no produzca polvo.
- Colmar de material y enrasar el recipiente cuidadosamente.
- Limpiar los excesos del molde con la brocha.
- Pesarse el molde con material.

3.2.3.2 Densidad Aparente Compactada

- Se mide y pesa el molde vacío.
- Se deja caer libremente el material en el molde metálico hasta la tercera parte del mismo.
- Se compacta con 25 golpes generados por una varilla de acero de 16 mm de diámetro.
- Realizar el paso anterior con cada uno de los dos tercios restantes del molde.
- Colmar el recipiente con material y enrasar.
- Limpiar los excesos del molde con la brocha.
- Pesarse el molde con material.

FOTOGRAFÍA 3. 10 MOLDE DE 2.8 LITROS PARA DENSIDAD APARENTE DE AGREGADO GRUESO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 11 DENSIDADES APARENTES DE AGREGADO GRUESO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Tanto para la densidad suelta como para la densidad compactada se utiliza el mismo equipo y la misma fórmula de cálculo, la única diferencia se encuentra en los procedimientos de ensayo antes descritos para encontrar el peso del molde con agregado.

Cálculos:

$$D_a = \frac{P_2 - P_1}{V} \quad (3.16)$$

Donde:

P_1 = Peso del molde vacío.

P_2 = Peso del molde con agregado.

V = Volumen del molde metálico.

3.2.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

En el hormigón, el factor humedad juega un rol importante y delicado, debido a las variaciones que puede presentar la muestra original, influyendo así en el

comportamiento de la resistencia mecánica. El contenido de humedad se representa como la relación entre el peso del agua retenida en los poros abiertos y superficie, con el peso seco de la muestra. Para realizar el ensayo y determinar el contenido de humedad del agregado grueso se tomó como referencia la norma NTE INEN 862 (2011) “ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD” y ASTM C566 – 13 “STANDARD TEST METHOD FOR TOTAL EVAPORABLE MOISTURE CONTENT OF AGGREGATE BY DRYING”.

En la TABLA 3.7 se puede determinar la cantidad de muestra que requiere el ensayo, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

TABLA 3. 7 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ÁRIDO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg)
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19	3
25	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

FUENTE: NTE INEN 862 - 2011 y ASTM C566 - 13.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Equipo:

- Balanza 0.05 Kg.
- Horno 110 °C ± 5 °C.
- Recipientes.

Procedimiento

- Pesar el recipiente vacío.
- Seleccionar la cantidad de agregado en función a su tamaño máximo nominal como indica la TABLA 3.7, con una aproximación de 0.1 %.
- Dejar secar al horno a una temperatura de 110 °C entre 18 y 24 horas.
- Pesar la muestra seca y fría.
- Realizar el procedimiento al menos dos veces para tener un valor promedio.

Cálculos:

$$P_a = P_3 - P_2 \quad (3.17)$$

$$P_s = P_3 - P_1 \quad (3.18)$$

$$\% w = \frac{P_a}{P_s} * 100 \quad (3.19)$$

Donde:

P_1 = Peso del recipiente vacío.

P_2 = Peso del recipiente con agregado en condiciones naturales.

P_3 = Peso del recipiente con agregado seco.

P_a = Peso del agua.

P_s = Peso seco.

%w = Porcentaje de humedad.

3.2.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico es la relación entre la masa de las partículas para su volumen real en condición de superficie saturada seca, sin considerar los espacios entre ellas, mientras que la absorción es la capacidad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de la estructura. [60]. A menor absorción, mejor calidad y mientras más poroso, menor resistencia mecánica.

Para realizar el ensayo de laboratorio, se empleó las normas NTE INEN 857 (2010) “ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO” y ASTM C127 – 15 “STANDARD TEST METHOD FOR RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY) AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE”.

La TABLA 3.8 define la cantidad de muestra para el ensayo, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

TABLA 3. 8 MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de la muestra para ensayo (kg)
12,5 o menor	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

FUENTE: NTE INEN 857 - 2010 y ASTM C 127 - 15.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

A continuación se describe el equipo, procedimiento de ensayo y sus respectivos cálculos para encontrar los valores de las características antes mencionadas.

Equipo:

- Balanza 0.05 Kg.
- Recipiente.
- Horno 110 °C ± 5 °C.
- Bandeja.
- Franela.

- Canasta metálica.
- Contenedor con agua.

Procedimiento

- Tomar la cantidad de agregado necesario para la prueba de laboratorio.
- Lavar el material y dejar la muestra sumergida en agua por un período de 24 horas.
- Drenar el agua de la muestra y secar con la franela hasta llegar a la condición de superficie saturada seca, es decir húmeda pero sin brillo superficial.
- Pesar el material en condición sss.
- Sumergir la canasta metálica en agua y determinar su peso sumergido.
- Introducir la muestra de agregado en la canasta y determinar su peso sumergido.
- Extraer la muestra del agua y poner al horno a una temperatura de 110 °C entre 18 y 24 horas.
- Pesar el material seco.

FOTOGRAFÍA 3. 12 AGREGADO GRUESO EN CONDICIÓN (SSS)



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 13 CANASTILLA CON MUESTRA SUMERGIDA



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$P_{\text{específico}} = \frac{P_3}{P_1 - P_2} \quad (3.20)$$

$$P_{\text{sss}} = \frac{P_1}{P_1 - P_2} \quad (3.21)$$

$$A_{\text{agua}} = \frac{P_1 - P_3}{P_3} * 100 \quad (3.22)$$

Donde:

P_1 = Peso del agregado en condición sss.

P_2 = Peso del agregado sumergido sin el peso de la canasta.

P_3 = Peso del agregado seco.

$P_{\text{específico}}$ = Peso específico.

P_{sss} = Peso específico en condición sss.

A_{agua} = Absorción de agua, en porcentaje.

3.2.6 ABRASIÓN

El ensayo de abrasión permite determinar el porcentaje de pérdida de material por desgaste de las partículas y el coeficiente de uniformidad de las mismas.

Para realizar el ensayo de abrasión se tomó en consideración las normas NTE INEN 860 (2011) “ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA GRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES” y ASTM C131M – 14 “STANDARD TEST METHOD FOR RESISTANCE TO DEGRADATION OF SMALL – SIZE COARSE AGGREGATE BY ABRASION AND IMPACT IN THE LOS ANGELES MACHINE”.

Se hace uso de estas normas ya que las partículas del material son menores a 37.5 mm, a continuación se encuentra las tablas para identificar tanto la carga abrasiva como el tipo de gradación según la muestra.

TABLA 3. 9 GRADACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO PARA ABRASIÓN LOS ANGELES

Tamaño de las aberturas de tamiz (aberturas cuadradas) (mm)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25	1250 ± 25			
25	19	1250 ± 25			
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	6,3			2500 ± 10	
6,3	4,75			2500 ± 10	
4,75	2,36				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

FUENTE: NTE INEN 860 - 2011 y ASTM C 131M - 14.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 3. 10 ESPECIFICACIONES PARA LA CARGA ABRASIVA

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4580 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

FUENTE: NTE INEN 860 - 2011 y ASTM C 131M - 14.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Equipo:

- Máquina de Los Ángeles con un diámetro interno de 711 mm ± 5 mm y una longitud interna de 508 mm ± 5 mm, con puerta hermética y tambor giratorio.
- Tamices desde el N.- 12 (1.70 mm) hasta de tamiz de 1 ½" (37.5 mm).
- Carga abrasiva (esferas de acero).
- Balanza 0.05 Kg.
- Horno de 110 °C ± 5 °C.

Procedimiento

- Se determina la gradación a la que pertenece el material en función de la TABLA 3.9.
- Se pesa el material necesario para el ensayo.
- Colocar el agregado en la máquina de Los Ángeles junto la carga abrasiva que establece la TABLA 3.10.
- Permitir que la máquina de Los Ángeles gire 100 revoluciones.
- Tamizar la muestra por las mallas N.- 8 (2.36 mm) y N.- 12 (1.70 mm).
- Pesar el material retenido en las mallas.
- Regresar todo el material a la máquina de Los Ángeles y completar las 500 revoluciones.
- Sacar el material y tamizar nuevamente por las mallas N.- 8 (2.36 mm) y N.- 12 (1.70 mm).
- Pesar el material retenido en las mallas.
- Determinar el porcentaje de desgaste y el coeficiente de uniformidad.

FOTOGRAFÍA 3. 14 MUESTRA PARA ABRASIÓN AGREGADO GRUESO, GRADACIÓN C.



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 15 ABRASIÓN - MAQUINA DE LOS ÁNGELES



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$D = \frac{B - C}{B} * 100 \quad (3.23)$$

$$\text{Coef. Unif} = \frac{B - C'}{B - C} \quad (3.24)$$

Donde:

D= Valor de la degradación, en porcentaje.

B = Masa inicial de la muestra de ensayo.

C´= Masa de la muestra retenida en el tamiz N.- 12 (1.70 mm), luego de 100 rev.

C = Masa de la muestra retenida en el tamiz N.- 12 (1.70 mm), luego de 500 rev.

A continuación en la Tabla 3.11 se encuentra el resumen de las características del agregado grueso, éstas se pueden visualizar en los ANEXOS 7, 9, 12, 13 y 15.

TABLA 3. 11 CARACTERÍSTICAS AGREGADO GRUESO

Mina	Pifo
Tamaño Máximo	19 mm
Densidad Compactada	1,459 g/cm ³
Densidad Suelta	1,359 g/cm ³
Peso Específico _{sss}	2,708 g/cm ³
Contenido de Humedad	1,66 %
Absorción	3,09 %
Abrasión (500 rev)	27,46 %
MF	6

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

3.3 AGREGADO FINO

Se considera agregado fino al material cuyas partículas son menores a 4.75 mm. A diferencia del agregado grueso, es preferible que la textura sea suave y redonda, verificando que no existan altas cantidades de arcilla [60].

Para fabricar hormigones de alta resistencia, el porcentaje de finos debe encontrarse en cantidades bajas o moderadas, para no generar problemas en cuanto a trabajabilidad, segregación o disminución del módulo de finura.

FOTOGRAFÍA 3. 16 MUESTRA DE AGREGADO FINO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas que permiten caracterizar el agregado fino para su uso en mezclas de hormigón son: granulometría, contenido de humedad, densidad, absorción, peso específico, contenido orgánico.

Al igual que con el agregado grueso, es necesario reducir la muestra de agregado fino a tamaño de ensayo, por lo cual se realiza el procedimiento descrito en el numeral 3.2.1, La muestra necesaria se establece en la sección superior de la TABLA 3.3. En el caso del agregado fino, se utiliza un separador mecánico de 12 conductos del mismo ancho según el método A de las normas NTE INEN 2566 (2010) “ÁRIDOS. REDUCCIÓN DE MUESTRA A TAMAÑO DE ENSAYO”, y ASTM C702M-11 “REDUCING SAMPLES OF AGGREGATE TO TESTING SIZE”.

FOTOGRAFÍA 3. 17 SEPARADOR DE MUESTRA PARA AGREGADO FINO

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Esta muestra se reduce al tamaño requerido para los respectivos ensayos antes mencionados.

3.3.2 GRANULOMETRÍA

La granulometría refleja las variaciones de tamaño de una muestra determinada. El procedimiento de ensayo está expresado en las normas NTE INEN 696 (2011) “ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO” y ASTM C136 – 14 “SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES”, la muestra mínima debe ser de 300 g para agregado fino.

Los límites a considerar para la curva granulométrica se establecen en la TABLA 3.12.

TABLA 3. 12 REQUISITOS DE GRADACIÓN DEL ÁRIDO FINO

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
0,60 mm	25 a 60
0,30 mm	10 a 30
0,15 mm	2 a 10

FUENTE: NTE INEN 872 - 2011 y ASTM C 33 - 13.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Equipo:

- Tamizadora de arena.
- Juego de tamices serie Tyler.
- Balanza 0.05 Kg.
- Recipientes.
- Bocha.
- Cepillo metálico.

Procedimiento

- Obtener una muestra cuarteada y seca mayor a 300 g.
- Colocar los tamices, de menor a mayor abertura en la tamizadora.
- Tamizar la muestra alrededor de 5 minutos.
- Pesar el material retenido en los tamices.
- Determinar el módulo de finura y la curva granulométrica.

La serie módulo de finura para agregado fino comprende los siguientes tamices:

3/8" (9.50 mm), N.- 4 (4.75 mm), N.- 8 (2.36 mm), N.- 16 (1.18 mm), N.- 30 (0.60 mm), N.- 50 (0.30 mm), N.- 100 (0.15 mm).

**FOTOGRAFÍA 3. 18 TAMIZADORA PARA GRANULOMETRÍA EN AGREGADO
FINO**



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$P_R = \sum p_r \quad (3.25)$$

$$\%R = \frac{p_r}{P_R} * 100 \quad (3.26)$$

$$\%RA = \sum \%R \quad (3.27)$$

$$\%Pasa = 100 - \sum \%RA \quad (3.28)$$

$$MF = \frac{[\sum \%RA]_{ST}}{100} \quad (3.29)$$

Donde:

p_r = Peso retenido en cada tamiz.

P_R = Peso retenido total.

$\%R$ = Porcentaje retenido en cada tamiz.

$\%RA$ = Porcentaje retenido acumulado.

MF = Módulo de finura.

ST = Serie módulo de finura o serie de Tyler.

3.3.3 DENSIDADES APARENTES

La densidad se encuentra definida como la relación entre una masa de agregado para determinado volumen unitario.

Para realizar el ensayo de laboratorio y determinar el valor de la densidad aparente del agregado grueso, se hace uso de las normas NTE INEN 858 (2010) “ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS” y ASTM C29M – 09 “STANDARD TEST METHOD FOR BULK DENSITY (“UNIT WEIGHT”) AND VOIDS IN AGGREGATE”.

En cuanto a densidad aparente, existen dos procedimientos de ensayo: uno para densidad suelta y otro para densidad compactada del agregado; según el tamaño máximo nominal, se puede determinar el volumen del molde a utilizar en la prueba de laboratorio como indica la TABLA 3.6.

Equipo:

- Balanza 0.05 Kg.
- Molde cilíndrico en función de la TABLA 3.6.
- Barra de compactación punta semiesférica (16 mm de diámetro y 600 mm de longitud).
- Flexómetro.
- Pala.
- Brocha.
- Bandeja.

3.3.3.1 Densidad Aparente Suelta

- Se mide y pesa el molde vacío.
- Se llena cuidadosamente el molde de tal forma que no exista posibilidad alguna de vibración, y no produzca polvo.
- Colmar de material y enrasar el recipiente cuidadosamente.

- Limpiar los excesos del molde con la brocha.
- Pesarse el molde con material.

3.3.3.2 Densidad Aparente Compactada

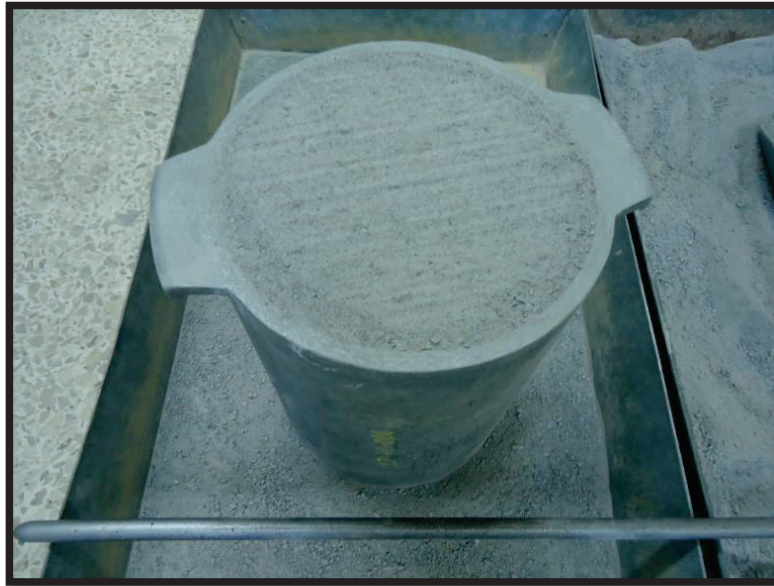
- Se mide y pesa el molde vacío.
- Se deja caer libremente el material en el molde metálico hasta la tercera parte del mismo.
- Se compacta con 25 golpes generados por una varilla de acero de 16 mm de diámetro.
- Realizar el paso anterior para cada uno de los dos tercios restantes del molde.
- Colmar el recipiente con material y enrasar.
- Limpiar los excesos del molde con la brocha.
- Pesarse el molde con material.

FOTOGRAFÍA 3. 19 DENSIDADES APARENTES - AGREGADO FINO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 20 DENSIDAD COMPACTADA DE AGREGADO FINO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

En el caso de densidad aparente suelta y compactada del agregado fino, se considera el mismo equipo, así como la misma fórmula de cálculo, la diferencia se presenta únicamente en los procedimientos de ensayo y a su vez en el peso del molde con agregado.

Cálculos:

$$D_a = \frac{P_2 - P_1}{V} \quad (3.30)$$

Donde:

P_1 = Peso del molde vacío.

P_2 = Peso del molde con agregado.

V = Volumen del molde metálico.

3.3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

El factor agua es el componente más delicado en una mezcla de hormigón, es por eso que se tiene un especial cuidado en cuanto a éste se refiere, si se encuentra

en exceso, el asentamiento será mayor y por lo tanto su consistencia será muy fluida, pero si por el contrario es escaso, las partículas no se hidratarán lo suficiente y la mezcla tendrá una consistencia muy seca.

Para el agregado fino, las normas para el ensayo se enuncian a continuación, NTE INEN 862 (2011) “ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD” y ASTM C566 – 13 “STANDARD TEST METHOD FOR TOTAL EVAPORABLE MOISTURE CONTENT OF AGGREGATE BY DRYING”.

Equipo:

- Balanza 0.05 Kg.
- Horno 110 °C ± 5 °C.
- Recipientes.

Procedimiento

- Pesar el recipiente vacío.
- Seleccionar la cantidad de agregado en función a su tamaño máximo nominal como indica la TABLA 3.7, con una aproximación de 0.1 %.
- Dejar secar al horno a una temperatura de 110 °C entre 18 y 24 horas.
- Pesar la muestra seca y fría.
- Realizar el procedimiento al menos dos veces para tener un valor promedio.

Cálculos:

$$P_a = P_3 - P_2 \quad (3.31)$$

$$P_s = P_3 - P_1 \quad (3.32)$$

$$\% w = \frac{P_a}{P_s} * 100 \quad (3.33)$$

Donde:

P_1 = Peso del recipiente vacío.

P_2 = Peso del recipiente con agregado en condiciones naturales.

P_3 = Peso del recipiente con agregado seco.

P_a = Peso del agua.

P_s = Peso seco.

%w = Porcentaje de humedad.

3.3.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Para determinar el peso específico y absorción de la arena, las definiciones son las mismas que para el agregado grueso, salvo que el ensayo se basa en las normas, NTE INEN 856 (2010) "ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) y ABSORCIÓN DEL "ARIDO FINO y ASTM C 128 – 15 "STANDARD TEST METHOD FOR RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY) AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE".

Equipo

- Picnómetro de 500 ml.
- Molde cono truncado con compactador.
- Bomba de vacío.
- Balanza 0.01 g.
- Horno $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Recipientes.
- Embudo
- Espátula

Procedimiento

- Tomar 1 kg de arena de arena en estado natural para lavarla.
- Dejar saturando la muestra en agua por 24 horas.
- Drenar el agua de la muestra y dejar secar hasta llegar a la condición de superficie saturada seca.

- Realizar la prueba de humedad con un molde en forma de cono truncado.
- Colocar el molde sobre una superficie lisa con el diámetro mayor hacia abajo.
- Llenar el molde constantemente con material y dejar caer el compactador de una altura de 5 mm sobre la superficie de arena hasta completar 25 golpes.
- Retirar los excesos y extraer el molde, si la muestra se disgrega, el agregado ha llegado a la condición sss.
- Tomar 500 g de muestra en condición sss.
- Llenar el picnómetro hasta la marca de aforo y pesar, luego vaciarlo.
- Llenar el picnómetro parcialmente con agua e introducir los 500 g de muestra.
- Extraer las burbujas de aire atrapado, con la bomba de vacío por 2 minutos aproximadamente.
- Completar con agua hasta la marca de aforo, extraer el aire nuevamente y pesar.
- Sacar la muestra con agua del picnómetro en un recipiente.
- Poner a secar entre 18 y 24 horas a una temperatura de 110 °C y pesar la muestra fría.

FOTOGRAFÍA 3. 21 AGREGADO FINO EN CONDICIÓN SSS



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 22 EXTRACCIÓN DE AIRE ATRAPADO USANDO BOMBA DE VACÍO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos:

$$P_{\text{esoespecifico}} = \frac{A}{B + S - C} \quad (3.34)$$

$$D_{\text{sss}} = \frac{S}{B + S - C} \quad (3.35)$$

$$A_{\text{bsorción de agua}} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad (3.36)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca al horno.

B = Peso del picnómetro lleno hasta la marca de aforo.

C = Peso del picnómetro con agua y muestra hasta la marca de aforo.

S = Peso de la muestra en condición superficie saturada seca.

3.3.6 CONTENIDO ORGÁNICO

Este procedimiento permite determinar si la arena que se va a utilizar en la dosificación tiene impurezas que afecten el comportamiento del hormigón. Las

normas NTE INEN 855 (2010) “ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN” y ASTM C 40M – 11 “STANDARD TEST METHOD FOR ORGANIC IMPURITIES IN FINE AGGREGATES FOR CONCRETE” se utilizan para desarrollar el ensayo.

Equipo:

- Botellas de vidrio graduadas, de aproximadamente 350 ml.
- Reactivo (hidróxido de sodio).
- Muestra de arena en condición natural, alrededor de 450 g.
- Comparador de colores Gardner.

Procedimiento

- Preparar el reactivo, disolviendo de 3 partes de hidróxido de sodio en 97 partes de agua, en una probeta de 1 litro.
- Tomar 450 g de muestra de arena y verter en una botella de vidrio hasta que alcance un volumen de 130 ml.
- Añadir reactivo hasta la marca equivalente a 200 ml y cerrar la botella.
- Agitar fuertemente la botella y dejar reposar por 24 horas.
- Comparar el color de la solución de la botella con el color normalizado de la escala de Gardner.

FOTOGRAFÍA 3. 23 SOLUCIÓN AGUA + HIDRÓXIDO DE SODIO AL 3%



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 24 AGREGADO FINO CON HIDRÓXIDO DE SODIO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 3. 25 CONTENIDO ORGÁNICO - COMPARACIÓN CON ESCALA DE GARDNER



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

En la Tabla 3.13. Se encuentra el resumen de las características del agregado fino, descritas en los ANEXOS 6, 8, 10, 11, 14.

TABLA 3. 13 CARACTERÍSTICAS AGREGADO FINO

Mina	Fucusucu - San Antonio
Densidad Suelta	1,608 g/cm ³
Densidad Compactada	1,786 g/cm ³
Peso Específico _{sss}	2,577 g/cm ³
Contenido de Humedad	2,75 %
Absorción	4,33 %
Contenido orgánico	0
MF	2,3

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

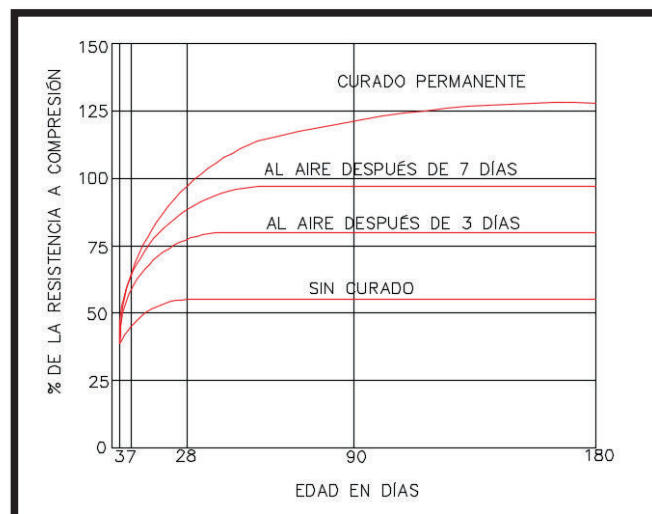
3.4 CURADO

El curado se considera como un factor externo de vital importancia para el hormigón, si se tiene especial control y cuidado en cuanto a la hidratación continua del cemento, así como la temperatura durante los 7 primeros días, tiempo en el que alcanza aproximadamente entre el 70 % y 80% de la resistencia mecánica de diseño, será indudable pensar que llegará al 100% o más a los 28 días.

El período de curado depende de múltiples variables como son: el tipo de cemento, las condiciones ambientales, la dosificación, la forma y tamaño de los agregados, la resistencia requerida, etc.

Es por eso que mientras más tiempo se pueda hidratar un elemento de hormigón, mejor será el desempeño estructural, en caso contrario, si se tiene curados pobres, se verá comprometida la resistencia y durabilidad de la superficie de hormigón, siendo vulnerable al desgaste, la bibliografía especializada ilustra este efecto mediante la FIGURA 3.3.

FIGURA 3. 3 PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DEL HORMIGÓN CORRECTAMENTE CURADO



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FUENTE: <http://www.icpa.org.ar>

Adicionalmente el hormigón debe ser protegido de la evaporación, ya que este fenómeno provoca retracción plástica, lo que hace que se generen tensiones de tracción en la superficie, y por lo tanto presente fisuras. Para este proyecto se siguieron las especificaciones que establece la norma NTE INEN 1576 (2011) “HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO” y ASTM C 31M – 12 “STANDARD PRACTICE FOR MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE FIELD”, se elabora las probetas con la ayuda de moldes metálicos previamente engrasados, se somete a un período de varillado o vibración en 2 o 3 capas según sea el caso, posteriormente las probetas pasarán por un curado inicial de hasta 48 horas, luego de ello se desencofra las probetas las mismas que serán sometidas a un curado final, de preferencia hasta el día del ensayo a compresión.

Las probetas fueron estudiadas dentro de dos aspectos:

- La forma de curado.
- Composición del hormigón.

Aparte se implementó una dosificación denominada G2 la misma que se diseñó, eliminando por lavado la fracción de finos de la arena, los agregados se encontraban totalmente secos y se empleó otro tipo de aditivo, para verificar si la resistencia mecánica disminuía, aumentaba o se mantenía con relación a la dosificación base.

3.4.1 CURADO POR INMERSIÓN

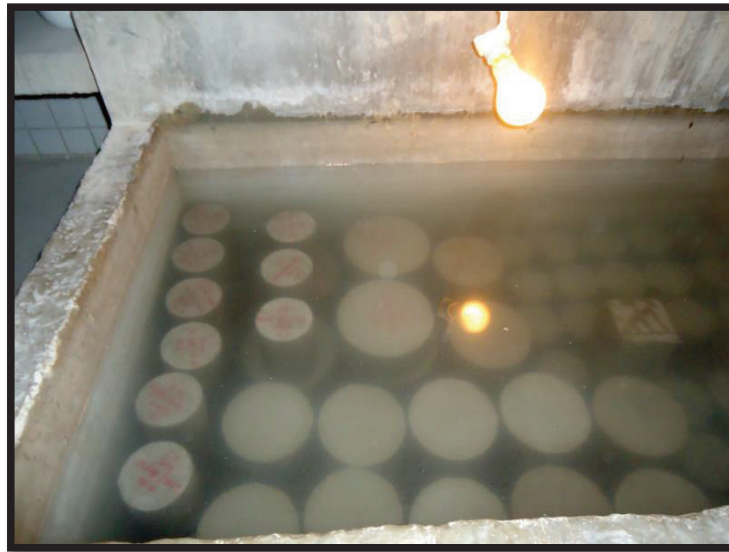
El curado por inmersión es comúnmente usado en trabajos de laboratorio, por ser el más antiguo y confiable, pero no es adecuado dentro de la práctica de campo, como en superficies que no son horizontales totalmente o si se desea seguir trabajando mientras se cura el hormigón.

Este método genera una humedad adicional en la etapa temprana del endurecimiento, enfría la superficie evitando el efecto de la evaporación, la misma

que disminuye si la superficie no se encuentra saturada, esto permite mantener una temperatura uniforme. Pero la temperatura no debe ser inferior a 11 °C ya que puede generar fisuras [67].

El curado por inmersión generalmente se considera para veredas, pisos, pavimentos, prefabricados, obras pequeñas y probetas de laboratorio.

FOTOGRAFÍA 3. 26 CURADO POR INMERSIÓN EN AGUA



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

3.4.2 CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA

El curado por envoltura plástica responde a la norma ASTM C -171 "STANDARD SPECIFICATION FOR SHEET MATERIALS FOR CURING CONCRETE" en la que establece que el espesor debe ser menor a 0.1 mm y el color de la lámina plástica; según la necesidad, la lámina oscura generalmente se debe utilizar en espacios cerrados y fríos, mientras que la transparente tiene poca influencia en la absorción de calor. [67]

Este método es aceptable debido a que mantiene sellada o impermeabilizada la superficie de hormigón, evitando la evaporación o pérdida de humedad y las

variaciones excesivas de temperatura, claro que solamente se aplica a elementos hormigonados que permiten su confinamiento con plástico.

Si se observa que el hormigón está perdiendo humedad se debe rociar agua y volver a colocar las láminas plásticas, el mejor signo para saber si el curado está siendo desarrollado correctamente es que presente condensación en la parte interna entre el elemento de hormigón y el plástico.

FOTOGRAFÍA 3. 27 CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

3.5 FIBRAS SINTÉTICAS

Las fibras sintéticas empleadas están formadas de polipropileno, son las aptas para mezclarse con el hormigón y cumplen con la norma ASTM C1116 “STANDARD SPECIFICATION FOR FIBER REINFORCED CONCRETE AND SHOTCRETE”, éstas pueden ser estructurales y no estructurales, las segundas generalmente se emplean en pavimentos ya que permiten reducir la fisuración por retracción plástica y controlan el comportamiento frente al fuego, las fibras poseen un diámetro menor a 0.3 mm y se denominan microfibras, las macro fibras al contrario, colaboran con la estructura y sus diámetros son mayores a 0.3 mm, su longitud debe ser 3 veces el tamaño máximo del agregado.

3.5.1 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS

En el proyecto de estudio, por tratarse de pisos industriales, se ha tomado como referencia las fibras no estructurales o microfibras, ya que controlan la fisuración por retracción, incrementan la resistencia al fuego, abrasión e impacto.

Las principales ventajas de mezclar el hormigón con las fibras es que éstas no reaccionan químicamente al interactuar con el hormigón, son impermeables por lo tanto no existe variación en la relación agua-cemento, son livianas, no aumenta considerablemente el peso propio de los elementos de hormigón y a diferencia de las fibras metálicas, estas son más económicas.

3.5.2 FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO VIRGEN (TOC FIBRA 500)

La información que se presenta a continuación, fue tomada de la hoja técnica de TOC FIBRA 500 (Euclid Chemical TOXEMENT). TOC FIBRA 500 es un material compuesto 100% por polipropileno virgen, se emplea como un refuerzo secundario de hormigón o mortero, no reacciona químicamente, posee una buena resistencia al moho y a los microorganismos.

Se considera como refuerzo secundario, generalmente, a las microfibras de polipropileno virgen, nylon o poliéster, este refuerzo aporta poco o nada a la resistencia pero actúa en el hormigón en estado plástico o endurecido disminuyendo las fisuras por contracción, no puede reemplazar a la armadura principal pese a que ésta actúa solo hasta que el hormigón llegue al estado endurecido.

A continuación en la TABLA 3.14 se presentan las características mecánicas y en la TABLA 3.15 las características físico-químicas de la microfibra de polipropileno.

TABLA 3. 14 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE TOC FIBRA 500

Módulo de elasticidad	0,7 x 10 ⁶ psi.
Resistencia a la tensión	80 K.S.I.
Resistencia a la tracción	70000 psi.
Elongación hasta el rompimiento	8% mínimo
Resistencia a la abrasión	Buena
Conductividad térmica y eléctrica	Baja

FUENTE: Hoja Técnica TOC FIBRA 500 Euclid Chemical Toxement

TABLA 3. 15 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE TOC FIBRA 500

Gravedad específica	0,91 G/m ³ (ASTM D-1505)
Índice de fluidez	0,3 g / seg (ASTM D-1238)
Punto de fusión	166 ° C (300 ° F)
Punto de ignición	590 ° C (1100 ° F)
Absorción de agua a 20 °C	Ninguna
Corte de fibra	3/4, 1, 1 1/2, 2 1/2 pulgadas
Resistencia química a bases y agentes oxidantes	Inerte
Resistencia química a ácidos y álcalis	Inerte

FUENTE: Hoja Técnica TOC FIBRA 500 Euclid Chemical Toxement
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Se dosifica en función de 1 kg de fibra por metro cúbico de hormigón como establece la ficha técnica del ANEXO 2, a diferencia de las macro fibras éstas no necesitan un rango de tasas de uso para su rendimiento, además no requiere cambios en las cantidades de los componentes del diseño original de la mezcla de hormigón, se adiciona junto con los agregados, en caso contrario, si se añade a la mezcla húmeda, es necesario aumentar el tiempo de mezcla entre 3 y 5 minutos.

Para seleccionar el tamaño de la fibra es importante identificar el tamaño máximo del agregado como establece la TABLA 3.16.

TABLA 3. 16 TAMAÑO DE FIBRA VS. TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño de agregado en Pulgadas	Tamaño de la fibra en pulgadas
Hasta 1"	3/4
Mayor a 1"	1 1/2

FUENTE: Hoja Técnica TOC FIBRA 500 Euclid Chemical Toxement
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Las fibras deben ser almacenadas en su envase original, herméticamente cerrado y bajo techo, su vida útil en almacenamiento es de un año y puede ser comercializada en bolsas de 1 kg o 10 kg.

FOTOGRAFÍA 3. 28 FIBRA DE POLIPROPILENO TOC FIBRA 500

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

3.6 ADITIVO

En cuanto a aditivos se refiere, éstos existen desde la época de Imperio Romano. Ahora el objetivo primordial es modificar las características del hormigón de tal forma que cumplan los requisitos específicos de cada estructura. La eficiencia del aditivo puede ser máxima si todos los componentes de la mezcla de hormigón son cuidadosamente seleccionados.

Generalmente lo que se busca conseguir con los aditivos es:

- Reducir agua.
- Incluir aire.
- Mejorar la trabajabilidad.
- Modificar los tiempos de fraguado.
- Mejorar la resistencia mecánica.

Para este caso en particular, el objetivo del uso de los aditivos empleados es mejorar la trabajabilidad de la mezcla, haciéndoles actuar como fluidificante.

En este proyecto se utilizó el aditivo EUCON 37 para determinar su comportamiento en hormigón de alta resistencia, en el límite inferior de su rango de uso como fluidificante, esto es al 0.5% del peso del cemento ANEXO 3.

Por otra parte se utilizó también el aditivo SIKAMENT N 100 por ser una marca conocida en el mercado, en las mismas condiciones que el aditivo antes mencionado ANEXO 4.

3.6.1 PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS

La propiedad de los aditivos es que permite que el hormigón sea más manejable y/o resistente, ya que permite modificar las características del hormigón cuando está fresco, durante el fraguado o en la etapa de endurecimiento.

Hormigón Fresco

- Mejora la trabajabilidad y el tiempo en que se desarrolla.
- Reduce la segregación.
- Permite disminuir la presión de bombeo.

Fraguado del hormigón

- Disminuye o aumenta el tiempo de fraguado, al igual que el calor de hidratación.
- Disminuye el efecto de contracción.
- Permite controlar la exudación.

Hormigón endurecido

- Incrementa la resistencia mecánica.
- Reduce la permeabilidad.
- Mejora la durabilidad.

Los aditivos más utilizados se clasifican de la siguiente forma:

- Plastificantes.
- Retardantes.
- Acelerantes.
- Plastificantes Retardantes.
- Plastificantes Acelerantes.
- Superplastificantes

3.6.2 ADITIVO EUCON 37

En base a la hoja técnica de EUCON 37 ANEXO 3 Euclid Chemical Toxement se obtuvo la información siguiente:

Es un aditivo tipo A reductor de agua, se utiliza generalmente para hormigones de alta resistencia, aumenta la resistencia mecánica a edades tempranas, mantiene las características plásticas entre 15 y 45 minutos.

TABLA 3. 17 INFORMACIÓN TÉCNICA DE ADITIVO EUCON 37

Apariencia	Líquido de baja viscosidad
Color	Café
Contenido de Cloruros	Ninguno
Densidad	1,185 kg/l \pm 0,02 kg/l

FUENTE: Hoja Técnica Eucon 37 Euclid Chemical Toxement

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Si se desea producir hormigones de alta resistencia la dosificación de aditivo como reductor de agua varía entre 0.9 % y 1.5% del peso del cemento, pero si se desea obtener un hormigón fluido, la dosificación varía entre 0.5% y 1% del peso del cemento, para este trabajo se empleará la segunda opción, los aditivos usados en hormigones de alta resistencia son conocidos como HRWR (aditivos reductores de agua de alto rango o también superfluidificantes) [57].

Si se emplea como fluidificante, el aditivo se mezcla por 5 minutos hasta alcanzar un asentamiento de 7.5 a 10 cm. Si por el contrario se emplea como reductor de agua, se puede alcanzar reducciones entre el 20% y 30%, incrementando las resistencias mecánicas a toda edad. El aditivo EUCON 37 no es tóxico, ni corrosivo, ni inflamable. Debe permanecer en su envase original, herméticamente cerrado, bajo techo para que alcance la duración de 1 año, pero a granel únicamente dura 6 meses.

FIGURA 3. 4 PRESENTACIÓN COMERCIAL DEL ADITIVO EUCON 37

FUENTE: <http://macasamx.com>

3.6.3 ADITIVO SIKAMENT- N 100

Según la ficha técnica de Sikament N-100 ANEXO 4, es un aditivo líquido superplastificante, reductor de agua que no contiene cloruros y pertenece al tipo F. Su densidad es de 1.22 kg/l aproximadamente.

Se puede usar como superplastificante para fluidificar la mezcla normal, como reductor de agua que permite reducir hasta un 30% el agua de la mezcla, o como economizador de cemento ajustando la relación agua-cemento en base a la reducción de agua.

Si se considera el aditivo como superplastificante, éste se debe adicionar a la mezcla cuando tenga un asentamiento entre 5 y 7 cm, una vez que se añade el aditivo es importante seguir mezclando por 4 minutos más, pero si se utiliza como reductor de agua, el aditivo se coloca en la última agua de amasado.

FIGURA 3. 5 PRESENTACIÓN COMERCIAL DEL ADITIVO SIKAMENT N 100



FUENTE: <http://aplitec.mx>

La dosificación es de 0.5% a 1% del peso de cemento, como superplastificante y de 1% a 2% del peso de cemento como reductor, se puede mantener en un sitio fresco bajo techo hasta un período de 2 años. [65].

3.7 ARENA DE SILICE

La arena de sílice, es generada a partir de la combinación de oxígeno y sílice, generalmente su forma es angular, se caracteriza por ser un mineral de alta dureza, alto punto de fusión, transparencia y resistencia química. En este proyecto fue empleada como material abrasivo. Se le denomina también arena normalizada 20-30, su nombre se refiere a que se trata de una arena que pasa el tamiz N.- 20 (0.85 mm) y se retiene en el tamiz N.- 30 (0.6 mm) conforme a la norma NTE INEN 873 “ARENA NORMALIZADA. REQUISITOS” y ASTM C778 “STANDARD SPECIFICATION FOR STANDARD SAND”.

FOTOGRAFÍA 3. 29 PRESENTACIÓN COMERCIAL DE LA ARENA DE SÍLICE



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

La arena viene envasada en sacos de papel con recubrimiento interno plástico para evitar que la arena se contamine al entrar en contacto con el aire, debido a una alteración en su composición química (SiO_2). [39]

FOTOGRAFÍA 3. 30 APARIENCIA DE LA ARENA DE SILICE



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

CAPÍTULO 4

DOSIFICACIÓN Y FABRICACIÓN DE PROBETAS

4.1 INTRODUCCIÓN

La dosificación del hormigón tiene como objetivo principal, encontrar las proporciones de los componentes a ser utilizados en la mezcla, la misma que debe garantizar la compacidad, consistencia y trabajabilidad en estado fresco, resistencia y durabilidad del hormigón en estado endurecido.

A simple vista el hormigón está dividido en dos partes: Matriz y áridos, la matriz está constituida por la pasta de cemento, mientras que los áridos son agregados finos y gruesos constituidos por partículas de diversos tamaños.

Adicional a esto se puede considerar la utilización de aditivos y fibras ya sean éstas para refuerzo principal o secundario.

Hoy en día la evolución de las técnicas permite trabajar con hormigones de mejor calidad, puesto que se ha pasado de una dosificación convencional ACI 211.1, en la cual establece los requisitos de diseño, a una dosificación descrita en el ACI 211.4R, que define el procedimiento para conseguir mezclas de alta resistencia.

El procedimiento consiste en una serie de pasos que dan como resultado una mezcla de hormigón, que satisface las condiciones de trabajabilidad y resistencia deseada en el estudio.

4.2 PROCESO DE DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

En la elaboración del hormigón, se deben identificar los requerimientos de serviciabilidad y funcionalidad para los cuales va a ser diseñado. En este caso la

dosificación de la mezcla para pisos industriales, fue elaborada conforme a la norma ACI 211.4.

Procedimiento:

- Seleccionar el tipo de material que se va a emplear.
- Determinar las características de los agregados.
- Determinar las características del cemento.
- Calcular los valores de densidad aparente, absorción, peso específico, contenido orgánico, abrasión, contenido de humedad, granulometría. Como los descritos escritos en el Cap. 3.
- Realizar el procedimiento para diseñar una mezcla de 450 Kg/cm² y elaborar las probetas de hormigón.

4.2.1 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN PATRÓN O G1

La proporción de la mezcla es más crítica para hormigones de alta resistencia, cuyos valores de $f'c$ son mayores que 420 kg/cm², que para hormigones de resistencias convencionales, comúnmente usadas en el sector de la construcción.

Generalmente se utilizan agregados, y aditivos químicos especialmente seleccionados, de tal forma que no alteren la relación agua – cemento baja.

Para la elaboración de hormigón de alta resistencia es indispensable contar con los valores de las características del cemento a emplear así como, las de los agregados, las Tablas 3.2., 3.11., y 3.13., presentan el resumen de las características del cemento Armaduro, del agregado grueso y del agregado fino respectivamente.

Una vez obtenidas las características de los componentes que formarán parte del hormigón, procedemos como indica el (American Concrete Institute) ACI 211.4R a diseñar hormigones de alta resistencia. Los pasos a seguir se encuentran descritos a continuación:

Paso 1.- Selección del revenimiento y la resistencia del hormigón requerido.

El revenimiento inicial debe encontrarse entre 25 y 50 mm previo a la adición de superplastificantes.

Esto asegurará una cantidad adecuada de agua para el mezclado y permitirá que sea efectivo el superfluidificante. Tabla 4.1

TABLA 4. 1 REVENIMIENTO PARA HORMIGONES CON Y SIN ADITIVO.

Concreto hecho usando HRWR*	
Revenimiento antes de añadir HRWR	25 a 50 mm
Concreto hecho sin HRWR	
Revenimiento	50 a 100 mm
* Ajuste el revenimiento al deseado en el campo por medio de la adición de HRWR	

FUENTE: ACI 211. 4R - 1988 e IMCYC A.C. - 2005.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Para el presente proyecto, la proporción de los componentes de la mezcla de hormigón de alta resistencia se basó en revolturas de laboratorio, por lo cual se recomienda que la resistencia promedio requerida f'_{cr} sea determinada a partir de la Ecuación 4.1.

$$f'_{cr} = \frac{(f'_c + 100)}{0.90} \quad (4.2)$$

$$f'_{cr} = \frac{(450 + 100)}{0.90} = 611 \text{ Kg/cm}^2$$

Paso 2.- Selección del tamaño máximo del agregado.

TABLA 4. 2 TAMAÑO MÁXIMO SUGERIDO PARA EL AGREGADO GRUESO

Resistencia requerida del concreto, kg/cm ²	Tamaño máximos sugerido para agregado grueso, mm
< 650	20 a 25
> 650	9,5 a 12,5*
* Cuando se usa HRWR y agregados gruesos seleccionados, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 650 a 850 kg/cm ² pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el recomendado, pero no mayor de 25 mm.	

FUENTE: ACI 211. 4R - 1988 e IMCYC A.C. - 2005.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Como la resistencia requerida debe ser 450 kg/cm², el tamaño del agregado debe encontrarse entre 20 y 25 mm. Tabla 4.2.

Paso 3.- Selección del contenido óptimo de agregado grueso, en función del tamaño máximo nominal de las partículas.

TABLA 4. 3 VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE HORMIGÓN

Contenidos óptimos de agregado grueso para tamaños máximos nominales de agregados que han de ser usados con arena con un módulo de finura de 2,5 a 3,2				
Tamaño máximo nominal, mm	9.5	12.5	20	25
Volumen fraccionario* de agregado grueso varillado y secado al horno	0.65	0.68	0.72	0.75
* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado secado al horno tal como se describe en ASTM C29 para la masa unitaria de los agregados.				

FUENTE: ACI 211. 4R - 1988 e IMCYC A.C. 2005.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

En el caso de no cumplir con el módulo de finura que establece la Tabla 4.3., de igual forma se continúa con el procedimiento hasta verificar que sucede con la consistencia de la mezcla de hormigón, es posible que la mezcla tenga una consistencia pegajosa debido a la fracción extra de finos o puede producir una

trabajabilidad deficiente, para lo cual se hace indispensable una corrección por agua, la misma que para este caso, necesitó un incremento del 4.5%.

Paso 4.- Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

El agua de mezclado, se puede determinar conforme a la Tabla 4.4, mientras que el contenido de vacíos de un agregado fino puede ser calculado usando la Ecuación 4.2.

$$V\% = \left(1 - \frac{D_c}{P_{sss} * 1000}\right) * 100 \quad (4.2)$$

Donde:

V% = contenido de vacíos.

D_c = densidad compactada.

P_{sss} = peso específico sss.

TABLA 4. 4 AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE DEL CONCRETO FRESCO CON BASE EN EL USO DE UNA ARENA CON 35% DE VACÍOS

Revenimiento, mm	Agua para mezclado, kg/m ³				
	Tamaño máximo del agregado grueso, mm				
	9,5	13	19	20	25
25 50	185	175	171	170	165
50 75	190	185	177	175	170
75 100	195	190	182	180	180
Contenido del aire atrapado*	3 (2,50) t	2,5 (2,0) t	2,1 (1,6)t	2 (1,5) t	1,5 (1,0) t

FUENTE: ACI 211. 4R - 1988 e IMCYC A.C. - 2005.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Si el contenido de vacíos en el agregado fino no es igual al 35%, debe hacerse un ajuste al contenido recomendado del agua de mezclado con la Ecuación 4.4. [57].

$$A = (V - 35) * 5 \quad (4.3)$$

Donde:

A = Ajuste de agua de mezclado (Kg/m³).

V = Contenido de vacíos del agregado fino.

Para determinar los valores de la Tabla 4.5 se considera lo siguiente:

- El valor de 171.00 Kg/m³ del agua de mezclado corresponde a la Tabla 4.4, considerando el tamaño máximo del agregado con el revenimiento correspondiente, en este caso entre 25 y 50 mm, valor considerado antes de la adición de aditivo.
- De la misma Tabla 4.4 se determina el contenido de aire atrapado, en función del tamaño máximo del agregado que para este caso es 2.1%.
- Para determinar el contenido de vacíos del agregado fino, se considera la Ecuación 4.2.
- Para el ajuste de agua de mezclado, se calcula mediante la Ecuación 4.3.
- Por último para encontrar el agua total requerida para la mezcla, al agua de mezclado se le reduce el ajuste del agua de mezclado.

En la Tabla 4.5., se presenta el resumen de lo antes expuesto, así como el porcentaje con relación a la mezcla.

TABLA 4. 5 AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

Agua de mezclado	171,00 Kg/m ³	17.2%
Contenido de aire atrapado	2,10 %	2.1%
Contenido de vacíos del agregado fino	30,69 %	30.7%
Ajuste del agua de mezclado	21,53 Kg/m ³	2.2%
Agua total requerida para la mezcla	149,31 Kg/m ³	15%

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Paso 5.- Selección de la relación a/c, conforme a la resistencia y el tamaño del agregado, la misma que debe ser interpolada para valores de 19 mm.

TABLA 4. 6 RELACIÓN a/c PARA CONCRETOS ELABORADOS CON HRWR

Resistencia de campo f'_{cr} , Kg/cm ²		a/c			
		Tamaño máximo del agregado grueso de, mm			
		9,5	13	20	25
490	28 días	0,50	0,48	0,45	0,43
	56 días	0,55	0,58	0,48	0,46
560	28 días	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 días	0,48	0,45	0,42	0,40
635	28 días	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 días	0,42	0,39	0,37	0,36
700	28 días	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 días	0,37	0,35	0,33	0,32
775	28 días	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 días	0,33	0,31	0,29	0,29
845	28 días	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 días	0,30	0,28	0,27	0,26

* $f'_{cr} = f'_c + 100$

FUENTE: ACI 211. 4R - 1988 y IMCYC A.C. - 2005.

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

$$f'_{cr} = f'_c + 100 \quad (4.4)$$

Donde:

f'_{cr} = resistencia de diseño.

f'_c = resistencia requerida.

Por lo tanto $f'_{cr} = 550 \text{ Kg/cm}^2$

Cuando se diseña hormigón de alta resistencia con base en revolturas en el Laboratorio, la resistencia promedio requerida puede ser determinada con la Ecuación 4.1, en cambio la Tabla 4.6, enlista resistencias de campo promedio requeridas. Por lo tanto para que exista sincronización de valores se establece que las resistencia de campo promedio requerida es igual a la resistencia promedio requerida con base en revolturas multiplicado por el 90%. [57].

TABLA 4. 7 RELACIONES a/c PARA TAMAÑO MÁXIMO DE 19 mm POR INTERPOLACIÓN

Resistencia de campo f'_{cr} *, Kg/cm ²		a/c
		Tamaño máximo del agregado grueso de, mm
		19
490	28 días	0,45
	56 días	0,49
560	28 días	0,40
	56 días	0,42
635	28 días	0,35
	56 días	0,37
700	28 días	0,31
	56 días	0,33
775	28 días	0,27
	56 días	0,29
845	28 días	0,25
	56 días	0,27
* $f'_{cr}=f'_c+100$		

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Dado que en la Tabla 4.6 no se encuentran determinados los valores de a/c correspondientes a 550 Kg/cm², para su determinación se realiza una interpolación en base a datos conocidos.

TABLA 4. 8 RELACIONES a/c PARA f'_{cr} * a 550 Kg/cm²

Resistencia de campo f'_{cr} *, Kg/cm ²		a/c
490	28 días	0,45
550	28 días	0,41
560	28 días	0,40

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Esto quiere decir que para una resistencia promedio de campo de 550 Kg/cm², le corresponde una relación a/c de 0.41.

La cantidad de material cementante se determina con base a la cantidad de agua de mezcla dividida para la relación a/c recomendada, los valores de agua total requerida para la mezcla se refleja en la Tabla 4.6., mientras que la relación a/c es parte de la Tabla 4.8.

TABLA 4. 9 CANTIDAD MATERIAL CEMENTANTE

Agua total requerida para la mezcla	149,31 Kg/m ³
a/c	0,41
Cantidad material cementante	366,72 Kg/m ³

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

La cantidad de agregado fino, se determina a partir de los volúmenes de los demás componentes que intervienen en la mezcla, para obtener 1 m³.

$$\text{El Vol. agregado fino} = 1 \text{ m}^3 - \text{Vol. agua} - \text{Vol. cemento} - \text{Vol. agregado grueso} - \text{Vol. aire}$$

Para determinar la cantidad de arena en peso, se multiplica el Vol. agregado fino por el peso específico de la arena.

TABLA 4. 10 CANTIDAD DE AGREGADO FINO

Material	Peso	Vol.	% en la mezcla en vol.
Agua	149,31 Kg	0,149 m ³	15
Cemento	366,72 Kg	0,123 m ³	12
Agregado grueso	1040,75 Kg	0,366 m ³	37
Aire	0,00 Kg	0,021 m ³	2
Total		0,659 m ³	66
Cantidad de Arena		878,62 Kg	34

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Con los datos de los materiales empleados, se llega a la dosificación en peso de la Tabla 4.11.

TABLA 4. 11 DOSIFICACIÓN PARA UN VOLUMEN DE 1 m³

Material	Peso SSS	Peso	Peso Ensayo	% de la mezcla en peso
Agua	149,31 Kg	177,38 Kg	177375,00 g	7.4
Cemento	366,72 Kg	366,72 Kg	366716,00 g	15.4
Agregado grueso	992,12 Kg	977,93 Kg	977928,00 g	41.0
Agregado fino	878,62 Kg	864,74 Kg	864738,00 g	36.2
	Total	2386,77 Kg		

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 4. 12 DOSIFICACIÓN ADITIVO Y FIBRA

Fibra	1000,00 g
Aditivo 0,5 %	1833,58 g

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Sacos de cemento/m³ = 7.33

Dosificación: (agua : cemento : arena : ripio) respectivamente.

Dosificación en Peso: (0.48 : 1 : 2.36 : 2.67),

Dosificación en Volumen: (0.51 : 1 : 1.53 : 2.05),

4.2.2 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN G2

Para la dosificación del hormigón G2, las características iniciales de los agregados fueron modificadas por efecto del lavado. A continuación se presenta las características de los agregados que se usaron de base para la dosificación #2, para las características del cemento se considera de igual forma la Tabla 3.2.

TABLA 4. 13 CARACTERÍSTICAS AGREGADO FINO G2

Cantera	Fucusucu - San Antonio
Densidad Suelta	1,414 g/cm ³
Densidad Compactada	1,608 g/cm ³
Peso Específico _{SSS}	2,625 g/cm ³
Contenido de Humedad	0,00 %
Absorción	3,11 %
Contenido orgánico	0
MF	2,92

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 4. 14 CARACTERÍSTICAS AGREGADO GRUESO

Cantera	Pifo
Tamaño Máximo	19 mm
Densidad Compactada	1,488 g/cm ³
Densidad Suelta	1,256 g/cm ³
Peso Específico ^{sss}	2,633 g/cm ³
Contenido de Humedad	0,00 %
Absorción	2,96 %
Abrasión (500 rev)	27,46 %
MF	6,2

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Para esta dosificación, se siguen exactamente los pasos de la dosificación patrón, ya que el procedimiento descrito es el mismo.

En cuanto a las proporciones de la mezcla se puede observar en la Tabla 4.15.

TABLA 4. 15 DOSIFICACIÓN PARA UN VOLUMEN DE 1 m³

Volumen: **1000,00** litros

Material	Peso SSS	Peso Kg	P. Ensayo	% de la mezcla en Peso
Agua	189,55	239,38	239381 gr	10.3
Cemento	486,02	486,02	486018 gr	20.9
Piedra	1061,44	1030,02	1030017 gr	44.2
Arena	591,38	572,97	572965 gr	24.6
Total		2328,39 Kg		

Elaborado por: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 4. 16 DOSIFICACIÓN ADITIVO Y FIBRA

Fibra	1000,00 g
Aditivo 0,5 %	2430,09 g

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

Esta dosificación se empleó para determinar si las probetas de hormigón ganaron resistencia mecánica.

Sacos de cemento/m³ = 9.72

Dosificación: (agua : cemento : arena : ripio) respectivamente.

Dosificación en Peso: (0.49 : 1 : 1.18 : 2.12),

Dosificación en Volumen: (0.51 : 1 : 1.23 : 2.22),

4.3 FABRICACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN

Una vez que el diseño de las mezclas sea el adecuado, se debe fabricar las probetas para ensayo, conforme a la norma NTE INEN 1576 "HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. ELABORACIÓN Y CURADO EN OBRA DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO."

Para la fabricación de cilindros, se empleó moldes metálicos de 10 cm de diámetro, y 20 cm de altura, el diámetro del cilindro debe ser como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso que se empleará en la mezcla de hormigón, en cambio para la elaboración de los discos se utilizó moldes de plástico PVC, de 20 cm de diámetro y 10 cm de altura.

Equipo

- Bandeja metálica grande para fundición.
- 2 Palas.
- Cono de Abrams para realizar la prueba de asentamiento.
- Moldes para la fabricación de probetas.
- Varilla de compactación de 16 mm de diámetro.
- Mazo.
- Bailejo.

Procedimiento

- Engrasar los moldes con aceite quemado.

FOTOGRAFÍA 4. 1 ENGRASADO DE MOLDES



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

- Colocar los materiales secos en la bandeja metálica y revolver.
- Añadir poco a poco el agua de mezcla conforme se sigue revolviendo.
- Mezclar el aditivo con la última porción de agua de mezclado.

FOTOGRAFÍA 4. 2 MEZCLA DE HORMIGÓN DESPUÉS DE VARIAS REVOLTURAS



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

- Comprobar si el asentamiento es el adecuado para pavimentos, es decir, si éste se encuentra entre 7.5 cm y 10 cm.
- Si es del caso, colocar la porción de microfibra de forma manual sobre la mezcla húmeda y revolver 5 minutos adicionales.

FOTOGRAFÍA 4. 3 PROCESO MANUAL DE ADICIÓN DE MICROFIBRA A LA MEZCLA DE HORMIGÓN



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

- Colocar la primera capa de hormigón en el molde y compactar con 25 golpes de la varilla.
- Golpear el exterior del molde 10 veces con un mazo.
- Repetir los dos pasos anteriores para la segunda capa de hormigón.
- Enrasar los moldes y colocar en un sitio específico para el curado inicial.
- Después de haber transcurrido entre 24 y 48 horas, desencofrar los especímenes.

FOTOGRAFÍA 4. 4 CURADO INICIAL DE LAS PROBETAS (CILINDROS)



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 4. 5 CURADO INICIAL DE LAS PROBETAS (DISCOS)

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

- Llevar las probetas a cumplir el curado final sea este por inmersión en agua o recubrimiento plástico hasta la edad de ensayo requerida.

FOTOGRAFÍA 4. 6 CURADO POR INMERSIÓN EN AGUA

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 4. 7 CURADO MEDIANTE RECUBRIMIENTO PLÁSTICO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Para el presente estudio se elaboró 3 cilindros de cada tipo de hormigón (SI, CI, SE, CE).

La resistencia a compresión de la mezcla G1 se determinó a los 3, 7, 28, 56 y 100 días, así como a los 3, 7, 28 y 56 días para la mezcla G2, de igual forma para el módulo de elasticidad de la mezcla G1 determinado a los 28 días, llegando a un total de 120 cilindros, en cambio en el caso de los discos se elaboró 4 por cada tipo de hormigón (SI, CI, SE, CE), para ser ensayados a los 28, 29, 56 y 57 días, esto por cada operador, los discos ensayados pertenecieron únicamente a la dosificación G1, llegando a un total de 64 discos.

En la nomenclatura para el reconocimiento tanto de cilindros como de discos, consta del tipo de curado, la fecha de hormigonado, la edad a la cual deben ser ensayados, la descripción que se especifica en la sección lateral de las probetas establece si este cuenta o no con la adición de fibras, aparte de un número para su reconocimiento, como se observa en la FOTOGRAFÍA 4.8.

FOTOGRAFÍA 4. 8 NOMENCLATURA EN PROBETAS



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Para fines prácticos la nomenclatura se simplifico como se observa en las descripciones a continuación:

G1: Hormigón elaborado con los agregados en estado natural.

G2: Hormigón elaborado con agregados lavados y secos.

G1SI: Hormigón patrón, elaborado sin la presencia de microfibra, cuyo proceso de curado es mediante inmersión.

G1SE: Hormigón elaborado sin la presencia de microfibra, cuyo proceso de curado es mediante envoltura plástica.

G1CI: Hormigón elaborado con la presencia de microfibra, cuyo proceso de curado es mediante inmersión.

G1CE: Hormigón elaborado con la presencia de microfibra, cuyo proceso de curado es mediante envoltura plástica.

CAPÍTULO 5

ENSAYOS

5.1 HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO

En cuanto a hormigón se refiere, las características que éste refleja después de su fabricación denota el comportamiento a lo largo de su vida útil, a continuación se describe cada ensayo practicado en el estudio.

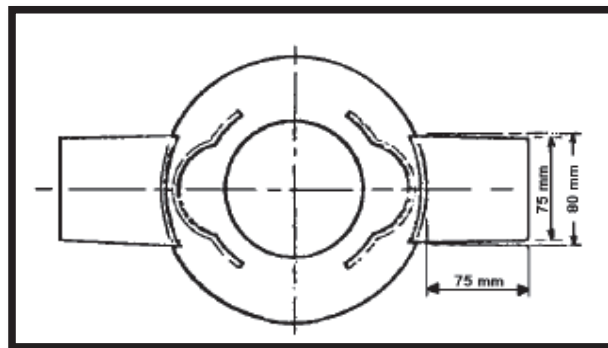
5.2 ASENTAMIENTO

El asentamiento se mide en el hormigón cuando está en estado fresco, determina la consistencia o habilidad que tiene la mezcla para fluir, este ensayo únicamente se puede realizar en hormigones preparados con agregado grueso no mayor a 37.5 mm, este ensayo, no aplica en hormigones no plásticos o no cohesivos. [41]

Equipo:

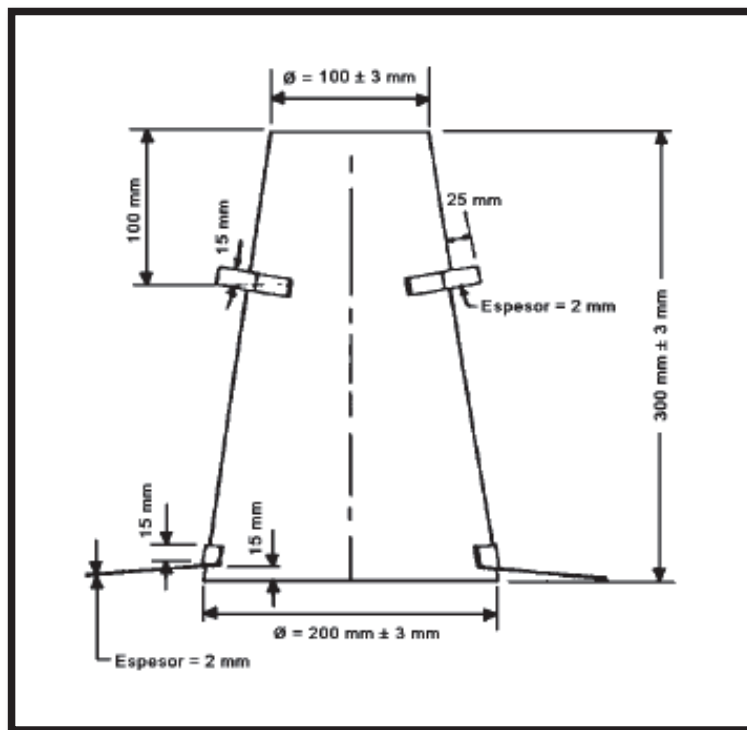
- Cono truncado, diámetro interno superior de 100 mm, diámetro interno inferior de 200 mm y altura de 300 mm, todos ellos con una tolerancia de ± 3 mm.

FIGURA 5. 1 CONO TRUNCADO VISTA EN PLANTA



FUENTE: NTE INEN 1578 - 2010 y ASTM C 143M - 12.

FIGURA 5. 2 CONO TRUNCADO VISTA DE PERFIL



FUENTE: NTE INEN 1578 - 2010 y ASTM C 143M – 12

- Varilla de compactación de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud con punta redondeada semiesférica.
- Flexómetro.
- Pala de jardinero.
- Bandeja metálica.
- guantes

Este ensayo se lleva a cabo conforme a las normas, NTE INEN 1578 “HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.”

Procedimiento:

- Humedecer el cono, la bandeja y todos los implementos necesarios para el desarrollo del ensayo.
- Colocar sobre una superficie plana.

- Colocar los pies sobre los estribos laterales del cono.
- Llenar con hormigón muestreado según la norma NTE INEN 1763 “HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. MUESTREO”, en la cual especifica que el hormigón debe ser seleccionado de 5 partes de la mezcla, en el caso de pavimentos, hasta la tercera parte del molde.
- Compactar la primera capa con 25 golpes, en forma uniforme alrededor del molde.
- Realizar el mismo procedimiento en las dos capas siguientes.
- Enrasar con la varilla de compactación Fotografía 5.1.
- Retirar el molde cuidadosamente evitando vibración, torsión o movimientos laterales y colocarlo junto a la mezcla.
- Medir el asentamiento, como la diferencia entre la altura del molde y la sección superior de la mezcla Fotografía 5.2.
- Si se desprende o se evidencia corte en la muestra ensayada, se debe repetir el ensayo con otra porción de muestra.
- El ensayo no debe demorar más de dos minutos y medio.
- Determinar la consistencia.

FOTOGRAFÍA 5. 1 ASENTAMIENTO EN HORMIGÓN FRESCO - ENRASAR



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

En la Tabla 5.1 se presenta la clasificación de la consistencia.

TABLA 5. 1 CONSISTENCIA VS. ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN

Consistencia	Asentamiento (cm)
Muy Seca	***
Seca	$2.0 < A < 5.0 \pm 1.0$
Plástica	$5.0 < A < 10.0 \pm 2.0$
Muy plástica	$10.0 < A < 15.0 \pm 2.0$
Fluida	$15.0 < A < 18.0 \pm 3.0(*)$
(*) La tolerancia en + es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20 cm.	

FUENTE: <http://usuarios.fceia.unr.edu.ar>

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

En el caso de pavimentos, cuando el asentamiento o el revenimiento se encuentra en el intervalo entre 2.0 y 5.0 cm, a un hormigón se le considera de consistencia seca, como se observa en la Tabla 5.1, es por ello que se hace fundamental el uso de aditivos fluidificantes, para así disminuir la fricción interna de la mezcla y por lo tanto mejorar la trabajabilidad, la misma que se encuentra estrechamente ligada con la consistencia. En el proyecto de estudio, el asentamiento sin aditivo, fue de 3 cm, como se observa en la Fotografía 5.2.

FOTOGRAFÍA 5. 2 ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN G1 SIN ADITIVO

FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Después de conseguir el asentamiento requerido sin aditivo, se realizó varias pruebas para establecer el porcentaje adecuado de aditivo EUCON 37 necesario para que el hormigón patrón en estado fresco sea manejable, al colocar el 1.5% de aditivo EUCON 37, la mezcla se hizo muy fluida cuyo asentamiento fue de 17 cm. Figura 5.3.

FOTOGRAFÍA 5. 3 ASENTAMIENTO CON 1.5% DE ADITIVO EUCON 37



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Para tratar de acercarnos al valor requerido de asentamiento, se probó un porcentaje menor de aditivo EUCON 37, en este caso la adición del aditivo fue del 1.0% del peso del cemento, de esta manera se obtuvo un asentamiento de 11 cm.

FOTOGRAFÍA 5. 4 ASENTAMIENTO CON 1.0% DE ADITIVO EUCON 37



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Y finalmente se determinó que con el 0.5% de aditivo EUCON 37, se pudo alcanzar una mezcla trabajable de consistencia plástica, cuyo revenimiento alcanzó 8.5 cm, considerado como el adecuado para pavimentos.

FOTOGRAFÍA 5. 5 ASENTAMIENTO CON 0.5% DE ADITIVO EUCON 37



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Adicionalmente se tuvo que establecer la influencia de la adición de microfibras de polipropileno sobre el asentamiento de la mezcla sin aditivo, para lo que se elaboró una mezcla con la adición de microfibra, el comportamiento del asentamiento no se vio afectado, ya que al igual que el revenimiento del hormigón patrón, éste fue de 3 cm. Figura 5.6.

FOTOGRAFÍA 5. 6 ASENTAMIENTO CON MICROFIBRA SIN ADITIVO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

La combinación de adiciones: aditivo EUCON al 0.5% y microfibra de polipropileno al 1%, logró un asentamiento de 8 cm que es lo adecuado para un manejo práctico de la mezcla de hormigón.

FOTOGRAFÍA 5. 7 ASENTAMIENTO CON MICROFIBRA Y 0.5 % DE ADITIVO



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Como resultado se obtiene que a la mezcla patrón es necesario añadir el 0.5% del peso de cemento en aditivo, para alcanzar un revenimiento de 8 cm si la mezcla contiene el 1% de microfibra, si no contiene microfibra el revenimiento es de 8.5 cm.

5.3 ENSAYO A COMPRESIÓN

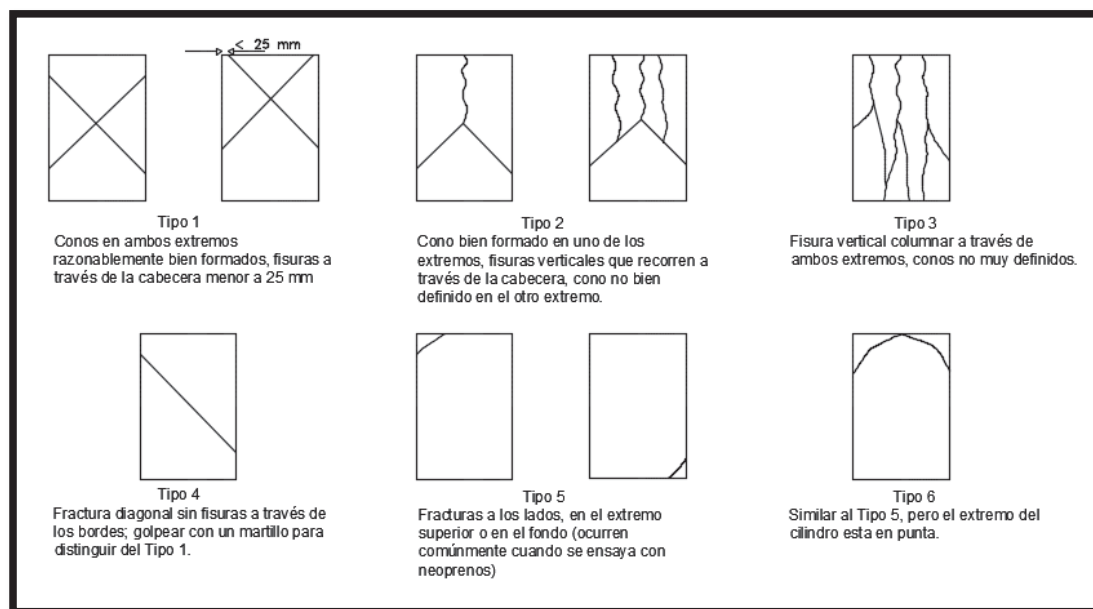
Básicamente el ensayo a compresión se realiza en hormigón endurecido, se establece de tal forma que cumpla los requerimientos estructurales ya que las propiedades mecánicas y la durabilidad según el diseño del hormigón, son diversas. El ensayo para determinar la resistencia a compresión sigue los lineamientos de las normas NTE INEN 1573 “HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO” ASTM C39 “STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS”, en la cual establece que los cilindros deben ser medidos y pesados previamente al ensayo, las dimensiones no deben diferir más allá de un 2% como máximo, de lo contrario el cilindro no puede ser

ensayado [58]. Los especímenes, son colocados en una máquina de compresión, correctamente centrados, donde se aplica una carga a una velocidad constante de 0.25 ± 0.05 MPa/s hasta que el cilindro llega a la rotura, con la carga máxima alcanzada y el área de la sección transversal o cara expuesta se determina el esfuerzo f'_c , es importante determinar el tipo de fractura como indica la Figura 5.3.

$$f'_c = \frac{\text{CargaMáxima}}{\pi * \Phi^2 / 4} \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (5.1)$$

Generalmente se determina la resistencia a compresión del hormigón para estimar la resistencia a compresión de estructuras existentes, para efectos de aceptación de concreto o para control de calidad. Los ensayos se realizan a la edad de 28 días con mayor frecuencia, pero las pruebas a los 3, 7 o 14 días, pueden detectar posibles problemas en la calidad del hormigón, la muestra a ser ensayada debe de ser al menos de 3 cilindros para luego obtener un promedio representativo.

FIGURA 5. 3 TIPOS DE FRACTURA EN CILINDROS A COMPRESIÓN SIMPLE



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.
FUENTE: NTE INEN 1573 - 2010 y ASTM C 39.

5.3.1 HORMIGÓN CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO

Para el control de calidad del hormigón con microfibras de polipropileno se procede de la misma manera que para el hormigón convencional, puesto que lo único adicional, es que en la etapa final de la fabricación del hormigón se añaden fibras no estructurales a razón de 1 Kg/m^3 como se puede observar en la Fotografía 5.8.

FOTOGRAFÍA 5. 8 HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROFIBRA



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Para cilindros con fibra, no requieren un tratamiento especial, las probetas se ensayan de igual forma en una máquina de compresión hasta su rotura. Figura 5.10.

FOTOGRAFÍA 5. 9 PROBETA ANTES DE LA ROTURA G1SE



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Las probetas deben permanecer en su curado final hasta que alcancen al menos las 3 horas antes del ensayo a compresión, como indica la norma NTE INEN 1573 “HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO”.

FOTOGRAFÍA 5. 10 PROBETA DESPUÉS DE LA ROTURA G1SE



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

5.3.2 EDADES PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

Una de las principales características del hormigón es alcanzar la resistencia requerida de diseño a los 28 días. Actualmente las técnicas de endurecimiento son más aceleradas, debido a cementos de alta resistencia inicial o aditivos. Es por ello que para alcanzar este objetivo se estima otras edades de prueba, como por ejemplo 3, 7, 14, 28, 56, 90 días o más.

Si la edad de prueba se encuentra entre los 3, 7 a 14 días del hormigonado, el resultado de la resistencia en este punto, permite conocer la evolución de la resistencia inicial del hormigón en curado normal y así extrapolar para estimar la resistencia a edades posteriores. Los ensayos en hormigones a edad temprana, permiten realizar correcciones en las dosificaciones si en ellas hubiere.

En cuanto a que la edad de ensayo se encuentre entre los 28, 56 y/o 90 días, permite verificar el cumplimiento de las especificaciones de resistencia y a su vez se indaga las causas, si existen diferencias objetables. [36] y [63].

Los ensayos después de los 90 días, se hacen necesarios ya que mientras más acelerado es el período de endurecimiento del hormigón, existen mayores probabilidades de riesgo en su calidad a edades finales. [63].

5.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD

La elasticidad se define como la propiedad que posee un material de volver parcial o totalmente a su forma inicial una vez que desaparece la carga aplicada, experimentalmente ciertos materiales como el acero, la madera, el aluminio o el hormigón, se consideran perfectamente elásticos dentro de cierto rango, es decir si no se encuentran excesivamente cargados [66].

El módulo de elasticidad se define como la pendiente del diagrama esfuerzo – deformación en el rango de la proporcionalidad como se observa en la Figura 5.4. En la que la pendiente de la curva en el punto B es el módulo tangente, mientras que la pendiente de la recta OC es el modulo secante o módulo cuerda, el punto C se denomina como $0.45 \cdot f'c$.

Con las Ecuaciones 5.2 y 5.3 se puede calcular los módulos, tangente y secante respectivamente.

$$E = \frac{\Delta_{\sigma}}{\Delta_{\epsilon}} \quad (5.2)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5.3)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad.

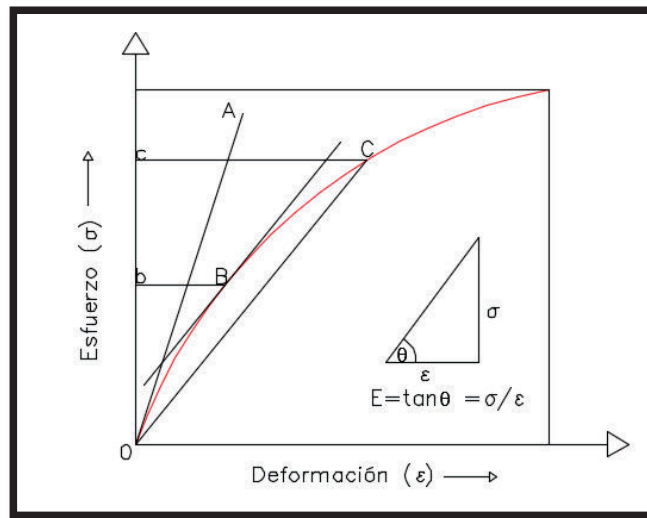
Δ_{σ} = Diferencial de esfuerzo.

Δ_ε = Diferencial de deformación.

σ = Esfuerzo.

ε = Deformación unitaria.

FIGURA 5. 4 CURVA ESFUERZO VS. DEFORMACIÓN



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.
FUENTE: Davis H., Troxell G. y Wiskocil. (1964).

Para determinar el módulo de elasticidad en el hormigón según como establece la Norma ASTM C469M-14. "STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION", las muestras deben haber llegado a cumplir con los 28 días de edad.

Para el desarrollo del ensayo, es necesario un proceso de carga y descarga de al menos 3 ciclos, empleando strain gauges para la medición de las deformaciones.

Equipo:

- Máquina de compresión.
- Puente de Wheatstone.
- Strain gauges.
- Regla o flexómetro.

Procedimiento:

- Determinar la sección central longitudinal del cilindro. Fotografía 5.16
- Pegar el strain gauge con súper pegamento.
- Colocar los alambres que conectan al puente de Wheatstone.
- Centrar el cilindro en las dos direcciones, en la máquina de compresión.
- Realizar el proceso de carga y descarga en 5 ciclos.
- El primer ciclo hasta 10% de la carga máxima estimada, el segundo hasta 15%, el tercero hasta el 40%, el cuarto hasta el 60% y el quinto hasta la rotura, los dos primeros ciclos se realizan para estabilizar las lecturas en cuanto a carga y deformación.
- Se toman los datos en un registro apropiado y se determina el módulo de elasticidad.

FOTOGRAFÍA 5. 11 UBICACIÓN DEL STRAIN GAUGE EN PROBETAS DE HORMIGÓN



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

Cálculos

Para el cálculo del módulo de elasticidad teórico, se toman en consideración las formulas recomendadas por el ACI 318, que son las Ecuaciones 5.4 y 5.5 en las que los valores de w_c , varían entre 1440 y 2560 kg/cm³; además se puede usar el ACI 363, que provee la Ecuación 5.6.

En todas estas ecuaciones tanto los datos de f'_c como los resultados de E se representan en Mpa.

$$E = w_c^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'_c} \quad (5.4)$$

$$E = 4700 * \sqrt{f'_c} \quad (5.5)$$

$$E = 3320 * \sqrt{f'_c} + 6900 \quad (5.6)$$

Donde:

E = Módulo de Elasticidad,

W_c = Peso Específico de las probetas de hormigón.

f'_c = Resistencia a compresión.

FOTOGRAFÍA 5. 12 CICLO DE CARGA EN PROBETA CON STRAIN GAUGE



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

5.5 ENSAYO POR ABRASIÓN

El ensayo por abrasión se guía por la norma ASTM C418 “STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE BY SANDBLASTING”,

que identifica el desgaste por el método comúnmente denominado “Chorro de arena”.

FOTOGRAFÍA 5. 13 MÁQUINA DE DESGASTE SANDBLASTING



FUENTE: LAB. SOLDADURA – EPN

EQUIPO

- Cámara de Sandblasting.
- Pintura de aerosol.
- Balanza 0.05 Kg.
- 11 Boquillas metálicas de 6 mm de diámetro.
- Compresor con capacidad mayor a 200 p.s.i.
- Recipientes.
- Flexómetro.

PROCEDIMIENTO

- Se toma los discos de la cámara de curado para el secarlos de tal forma que alcancen la condición de superficie saturada seca.
- Se mide y pesa las probetas.

- Se pinta la sección transversal superior del disco con pintura de aerosol para observar claramente los orificios producidos por el agente abrasivo.

FOTOGRAFÍA 5. 14 DISCOS - PREVIO AL ENSAYO DE ABRASIÓN



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

FOTOGRAFÍA 5. 15 DISCOS PINTADOS – PREVIO AL ENSAYO DE ABRASIÓN



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

- Los ensayos por desgaste se realizaron en el Laboratorio de Soldadura de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, por contar con un compresor con la capacidad necesaria para el ensayo.

FOTOGRAFÍA 5. 16 UBICACIÓN MÁQUINA DE SANDBLASTING

FUENTE: LAB. SOLDADURA – EPN

- Se coloca cuidadosamente, centrando el disco en la máquina de desgaste sandblasting, de tal forma que la distancia entre la cara del disco y la boquilla sea de $75 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$.

FOTOGRAFÍA 5. 17 UBICACIÓN DEL DISCO EN LA CAMARA DE ENSAYO

FUENTE: LAB. SOLDADURA – EPN

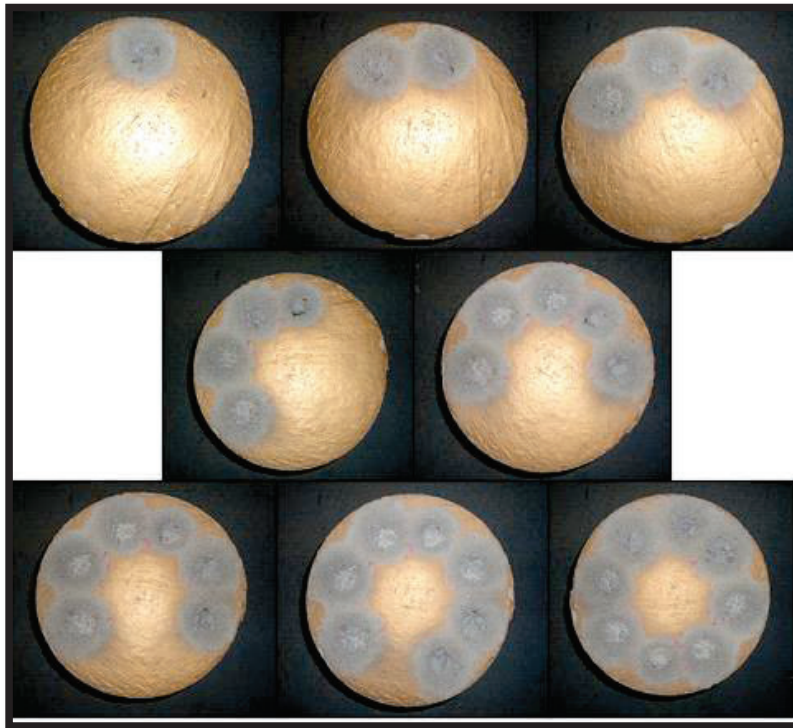
**FOTOGRAFÍA 5. 18 UBICACIÓN DEL DISCO EN LA CAMARA DE ENSAYO –
VISTA DE PERFIL**



FUENTE: LAB. SOLDADURA – EPN

- Se cierra la compuerta de la cámara y se acciona la descarga mediante la pistola de aplicación, ésta expulsa arena de sílice a una presión de 100 p.s.i., por un minuto.
- Se abre la compuerta nuevamente se rota el disco de tal forma que cumpla los dos pasos anteriores hasta completar 8 orificios a los cuales se les denomina huellas.
- En la secuencia de imágenes de la Fotografía 5.19 se puede apreciar el resultado de la aplicación de los ocho puntos de desgaste sobre la superficie del espécimen de prueba.
- Luego del proceso de desgaste abrasivo, cada espécimen es pesado y se determina el diámetro promedio de las huellas dejadas por el chorro abrasivo, para lo que ayuda el pintado previo.
- Para la determinación del volumen de material perdido, se emplea la técnica de llenado con arcilla; al conocer su peso específico y el peso incorporado al llenar con ella las oquedades generadas, se podrá determinar el volumen de desgaste producido.

FOTOGRAFÍA 5. 19 SECUENCIA DE DESGASTE



FUENTE: LAB. SOLDADURA – EPN

Para determinar el peso específico de la arcilla, se sigue el procedimiento de cálculo establecido en la norma ASTM C127 – 15 “STANDARD TEST METHOD FOR RELATIVE DENSITY (SPECIFIC GRAVITY) AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE”.

Cálculos:

$$D = \frac{B}{B - C} \quad (5.7)$$

Donde:

D = Gravedad específica de la arcilla.

B = Peso de arcilla en el aire.

C = Peso de arcilla en agua.

FOTOGRAFÍA 5. 20 DISCOS DESGASTADOS CON RELLENO DE ARCILLA



FUENTE: LEMSUR – FICA – EPN

5.5.1 HORMIGÓN CON FIBRA SINTÉTICA DE POLIPROPILENO

Para el ensayo de abrasión para discos de hormigón con microfibras, se procede de la misma manera que para el hormigón convencional, y así después, con los resultados obtenidos, realizar el análisis comparativo de sus comportamientos.

5.5.2 EDADES PARA ENSAYO SANDBLASTING

Las edades de ensayo para los discos de hormigón, eventualmente no se realizan a edades tempranas, debido a que es necesario que se encuentre totalmente desarrollada la resistencia del hormigón.

Las edades de ensayo para desgaste por abrasión, se establece 28 y 56 días, pero además según la norma ASTM C418 “STANDARD TEST METHOD FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE BY SANDBLASTING”, nota 6, establece que el ensayo debe ser realizado por dos operadores en muestras del mismo lote, y repetida otro día, utilizando el mismo equipo, es por ello que adicionalmente se realizó la prueba a los 29 y 57 días.

5.6 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Para complementar el estudio técnico de este proyecto de titulación, se ve conveniente llevar a cabo el análisis de costos de los materiales empleados por metro cúbico de hormigón, los costos a continuación descritos pertenecen a la Revista N.- 242 de la Cámara de la Industria de la Construcción, los precios se encuentran libres de impuestos.

TABLA 5. 2 COSTOS HORMIGÓN G1SI - PATRÓN

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m ³
Agua	177,375	0,17
Cemento Armaduro	366,716	61,75
Piedra	977,928	1,52
Arena Natural	864,738	3,44
Arena Lavada	0	0,00
Aditivo Eucon	1,8336	4,13
Aditivo Sikament N 100	0	0,00
TOC FIBRA 500	0	0,00
Envoltura Plástica	0	0,00
Total		71,01

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 3 COSTOS HORMIGÓN G1CI

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m ³
Agua	177,375	0,17
Cemento	366,716	61,75
Piedra	977,928	1,52
Arena Natural	864,738	3,44
Arena Lavada	0	0,00
Aditivo Eucon	1,8336	4,13
Aditivo Sikament N 100	0	0,00
TOC FIBRA 500	1	6,25
Envoltura Plástica	0	0,00
Total		77,26

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 4 COSTOS HORMIGÓN G1SE

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m³
Agua	177,38	0,17
Cemento	366,72	61,75
Piedra	977,93	1,52
Arena Natural	864,74	3,44
Arena Lavada	0,00	0,00
Aditivo Eucon	1,83	4,13
Aditivo Sikament N 100	0,00	0,00
TOC FIBRA 500	0,00	0,00
Envoltura Plástica	0,80	1,51
Total		72,52

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 5 COSTOS HORMIGÓN G1CE

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m³
Agua	177,38	0,17
Cemento	366,72	61,75
Piedra	977,93	1,52
Arena Natural	864,74	3,44
Arena Lavada	0,00	0,00
Aditivo Eucon	1,83	4,13
Aditivo Sikament N 100	0,00	0,00
TOC FIBRA 500	1,00	6,25
Envoltura Plástica	0,80	1,51
Total		78,77

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 6 COSTOS HORMIGÓN G2SI

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m³
Agua	239,38	0,24
Cemento Armaduro	486,02	81,85
Piedra	1030,02	1,65
Arena Natural	0	0,00
Arena Lavada	572,97	2,40
Aditivo Eucon	0	0,00
Aditivo Sikament N 100	2,43	6,37
TOC FIBRA 500	0	0,00
Envoltura Plástica	0	0,00
Total		92,51

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 7 COSTOS HORMIGÓN G2SE

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m ³
Agua	239,38	0,24
Cemento Armaduro	486,02	81,85
Piedra	1030,02	1,65
Arena Natural	0	0,00
Arena Lavada	572,97	2,40
Aditivo Eucon	0	0,00
Aditivo Sikament N 100	2,43	6,37
TOC FIBRA 500	0	0,00
Envoltura Plástica	0,8	1,51
Total		94,02

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 8 COSTOS HORMIGÓN G2CI

Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m ³
Agua	239,38	0,24
Cemento Armaduro	486,02	81,85
Piedra	1030,02	1,65
Arena Natural	0	0,00
Arena Lavada	572,97	2,40
Aditivo Eucon	0	0,00
Aditivo Sikament N 100	2,43	6,37
TOC FIBRA 500	1	6,25
Envoltura Plástica	0	0,00
Total		98,76

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 5. 9 COSTOS HORMIGÓN G2CE

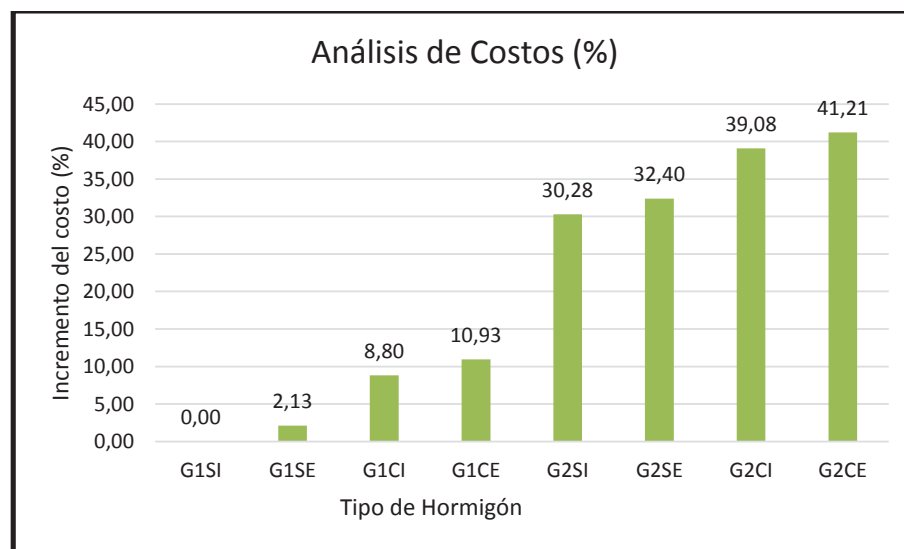
Material	Cantidad (Kg)	Costo (\$)/m ³
Agua	239,38	0,24
Cemento Armaduro	486,02	81,85
Piedra	1030,02	1,65
Arena Natural	0	0,00
Arena Lavada	572,97	2,40
Aditivo Eucon	0	0,00
Aditivo Sikament N 100	2,43	6,37
TOC FIBRA 500	1	6,25
Envoltura Plástica	0,8	1,51
Total		100,27

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

- La diferencia entre el hormigón patrón y el hormigón G2, es que el hormigón G2 presenta un incremento de 21.50 dólares por cada metro cúbico.
- El hormigón con microfibra, curado mediante recubrimiento plástico presenta un costo mayor, a razón de 1.51 dólares con respecto al hormigón con microfibra curado mediante inmersión en agua.
- El costo del hormigón con microfibra presenta un incremento de 6.25 dólares por metro cúbico frente al hormigón sin ella curado mediante inmersión en agua.

En la Gráfica 5.1. se observa el incremento en los costos de los materiales empleados en las mezclas con respecto a la mezcla patrón.

GRÁFICA 5. 1 COSTOS DEL HORMIGÓN



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente proyecto de titulación se realizaron varias pruebas de resistencia, con algunas variables a considerar, entre ellas, el tratamiento previo a los materiales, el tipo de curado y la utilización de microfibras, para así establecer la mejor opción de diseño, es decir, de manera que se logren mejores resultados, en cuanto a resistencia al desgaste para superficies de pavimentos industriales.

Para desarrollar esta investigación, se utilizaron 3 probetas de hormigón para cada variable, unas cilíndricas cuyas dimensiones eran 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, que fueron ensayadas a compresión a los 3, 7, 28, 56 y 100 días, con esto se estableció la máxima resistencia y a su vez la gráfica de la curva característica del incremento de la resistencia a lo largo del tiempo, de igual forma se elaboraron probetas de las mismas dimensiones para someterlas al ensayo de carga y descarga de 5 ciclos, para la determinación de Módulo de Elasticidad. Como el objetivo principal es observar el comportamiento de la superficie de los pisos industriales, con cada tipo de hormigón se elaboraron discos de 20 cm de diámetro y 10 cm de altura, éstos fueron sometidos al ensayo de sandblasting, así se determinó el área y volumen afectados, para calcular el coeficiente de desgaste de dicho procedimiento de ensayo.

Se llevaron a cabo dos dosificaciones, en la primera se consideró la humedad natural de los agregados, el aditivo Eucon 37 y el agregado fino con módulo de finura de 2.3. En la segunda dosificación el agregado fino fue lavado para eliminar las partículas más finas alcanzando un módulo de finura de 2.9, el porcentaje de humedad fue de 0 % para los agregados y el aditivo utilizado fue Sikament N 100. En el presente capítulo se presentan únicamente los resultados de comparación para desgaste superficial en pisos fabricados con la dosificación G1, (agregados conservan las condiciones de humedad ambiente sin eliminar los finos de la arena),

ya que al ensayar a compresión las probetas de la dosificación G2, (agregados lavados) el mayor incremento en porcentaje a los 28 días se presentó en las probetas fabricadas con microfibra, donde el curado fue de envoltura plástica, siendo éste del 7%, en comparación con el hormigón patrón, mientras que el incremento de la resistencia G2 no va más allá del 3.6%, es por eso que se consideró que estos valores no justifican el tiempo y dinero que se va a emplear si se lava el agregado fino, se cambia de aditivo o se elimina la humedad en los agregados.

TABLA 6. 1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN G1

EDAD (días)	Sin Fibra Inmersión (kg/cm2)	Sin Fibra Envoltura P. (kg/cm2)	Con Fibra Inmersión (kg/cm2)	Con Fibra Envoltura P. (kg/cm2)	Resistencia Teórica (kg/cm2)
0	0	0	0	0	0
3	301	300	306	315	248
7	418	410	403	416	338
28	453	451	453	462	450
56	480	466	474	486	501
100	508	501	509	506	518

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DOSIFICACIÓN G2

EDAD (días)	Sin Fibra Inmersión (kg/cm2)	Sin Fibra Envoltura P. (kg/cm2)	Con Fibra Inmersión (kg/cm2)	Con Fibra Envoltura P. (kg/cm2)	Resistencia Teórica (kg/cm2)
0	0	0	0	0	0
3	318	320	325	315	248
7	401	433	420	426	338
28	469	469	475	493	450
56	498	504	503	504	501

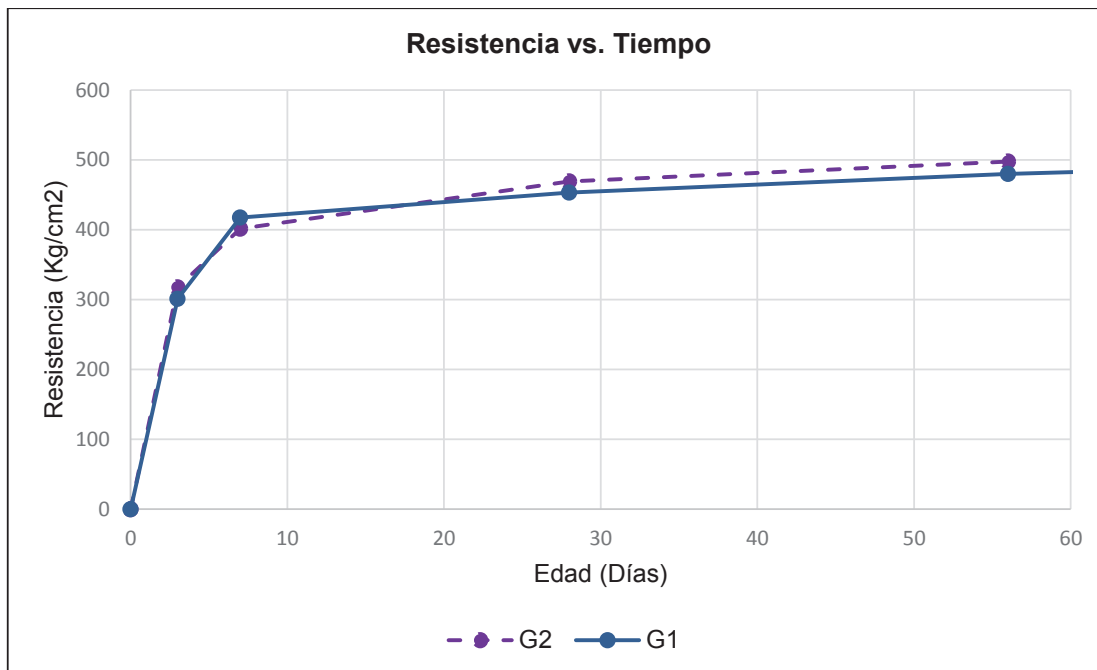
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 3 RELACIÓN PORCENTUAL $f'c$ G2/ $f'c$ G1 A LOS 28 DÍAS

EDAD (días)	SI	SE	CI	CE
28	3,6	3,9	4,8	7,0

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

GRÁFICA 6. 1 HORMIGÓN "SI" PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2



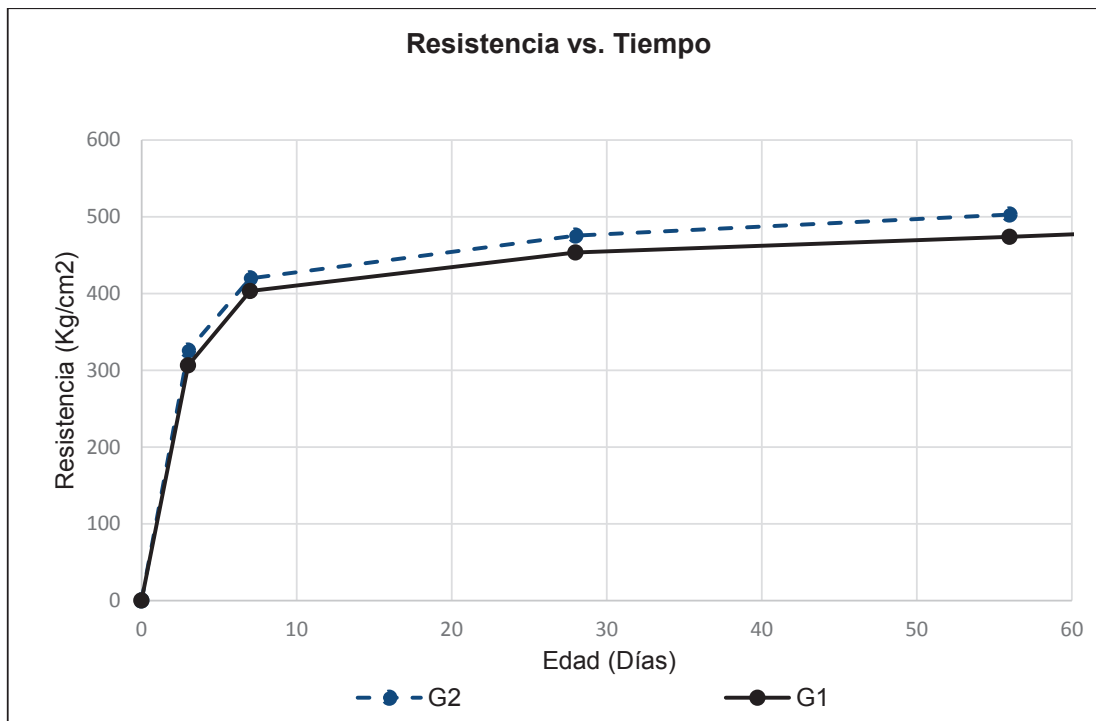
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

GRÁFICA 6. 2 HORMIGÓN "SE" PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2



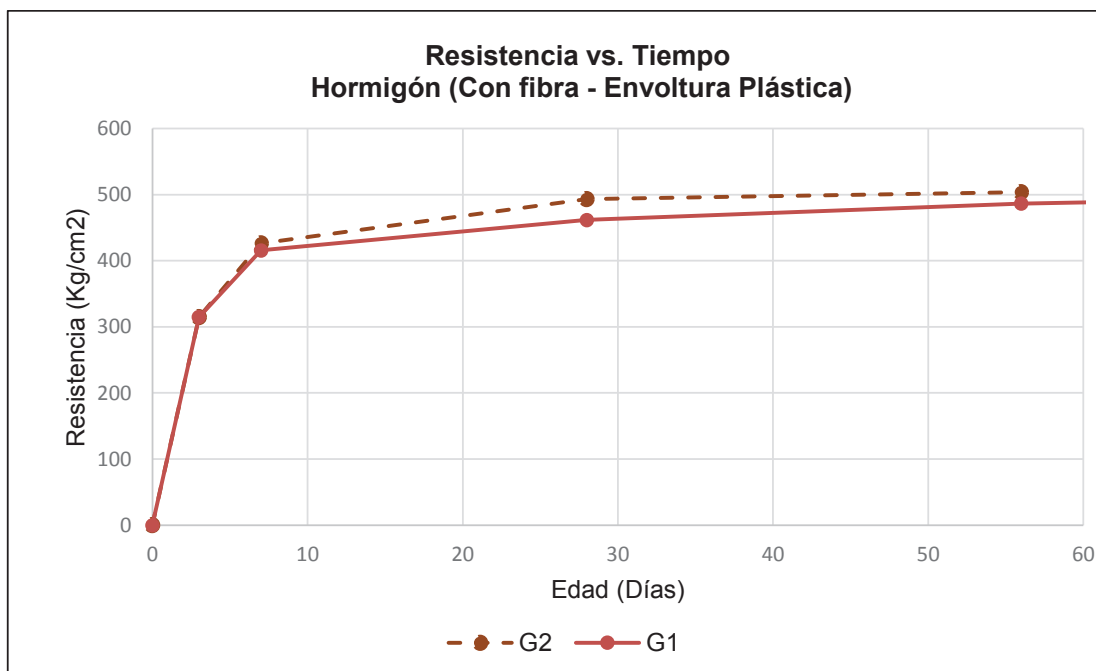
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

GRÁFICA 6. 3 HORMIGÓN "CI" PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

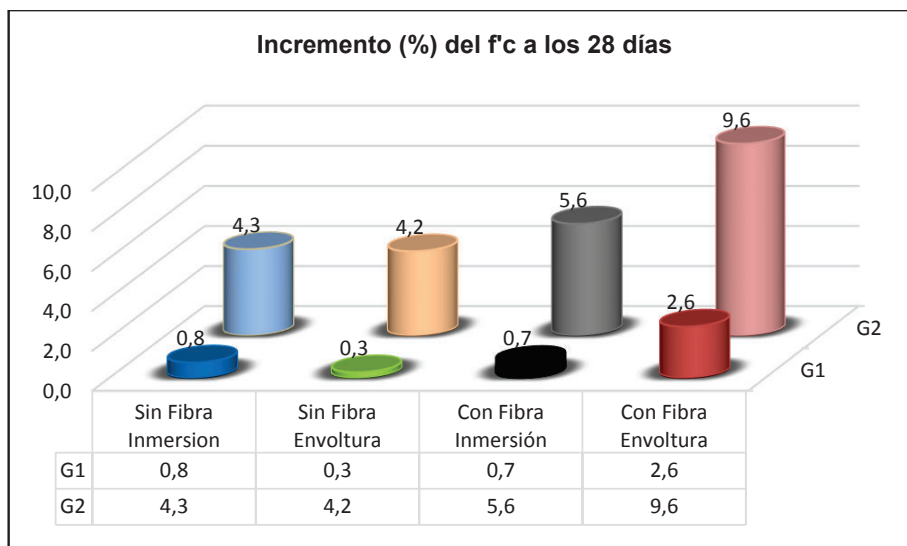
GRÁFICA 6. 4 HORMIGÓN "CE" PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

El incremento en porcentaje con respecto a la resistencia teórica se establece en la Grafica 6.5, siendo más notorio para la dosificación denominada G2, a su vez con los datos que describe la gráfica es posible establecer el porcentaje de incremento al relacionar las dosificaciones entre sí.

GRÁFICA 6. 5 INCREMENTO (%) DEL f'_c CON RESPECTO AL TEÓRICO PARA LA DOSIFICACIÓN G1 Y G2



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

6.1.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

A continuación se realiza el análisis comparativo de la resistencia a compresión, entre los hormigones fabricados frente al hormigón teórico.

TABLA 6. 4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1SI

EDAD (días)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)	CARGA (t)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	R. Teórica (Kg/cm ²)	Incremento %
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00	2333	24,12	301	248	21,6
7,00	2360	33,02	418	338	23,8
28,00	2323	36,09	453	450	0,8
56,00	2360	37,97	480	501	-4,1
100,00	2337	40,45	508	518	-1,8

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 5 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1SE

EDAD	PESO ESPECÍFICO	CARGA	RESISTENCIA	R. Teórica	Incremento
(días)	(Kg/m ³)	(t)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0	0	0	0	0	0
3	2323	23,72	300	248	21,2
7	2330	32,80	410	338	21,4
28	2330	35,68	451	450	0,3
56	2320	37,12	466	501	-6,9
100	2323	39,84	501	518	-3,3

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 6 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1CI

EDAD	PESO ESPECÍFICO	CARGA	RESISTENCIA	R. Teórica	Incremento
(días)	(kg/m ³)	(t)	(kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0	0	0	0	0	0
3	2347	24,06	306	248	23,8
7	2320	31,89	403	338	19,5
28	2323	36,32	453	450	0,7
56	2317	37,46	474	501	-5,4
100	2307	40,24	509	518	-1,6

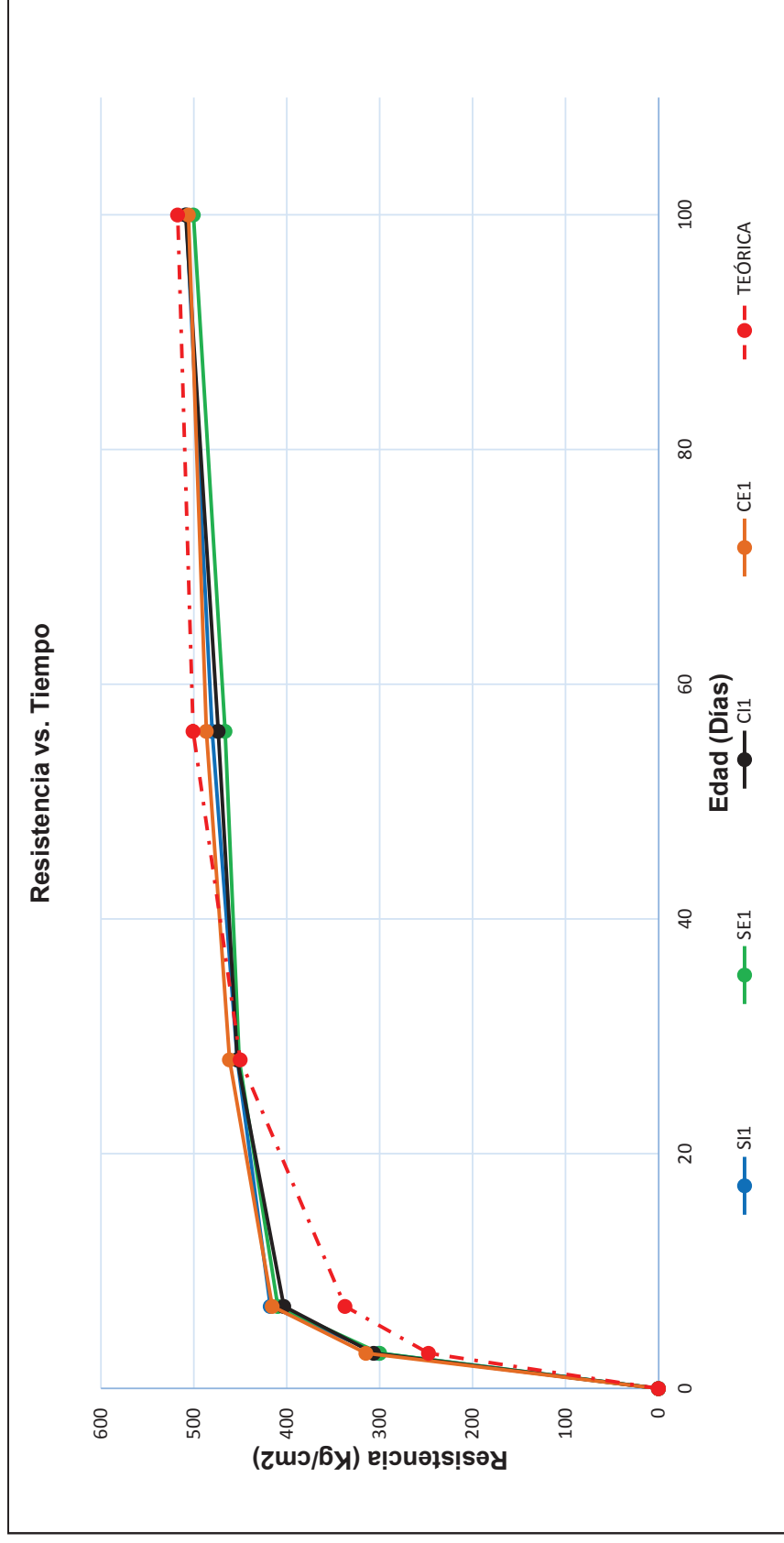
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 7 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN G1CE

EDAD	PESO ESPECÍFICO	CARGA	RESISTENCIA	R. Teórica	Incremento
(días)	(kg/m ³)	(t)	(kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	%
0	0	0	0	0	0
3	2347	24,73	315	248	27,2
7	2323	32,65	416	338	23,2
28	2303	36,99	462	450	2,6
56	2337	38,47	486	501	-2,9
100	2320	40,00	506	518	-2,2

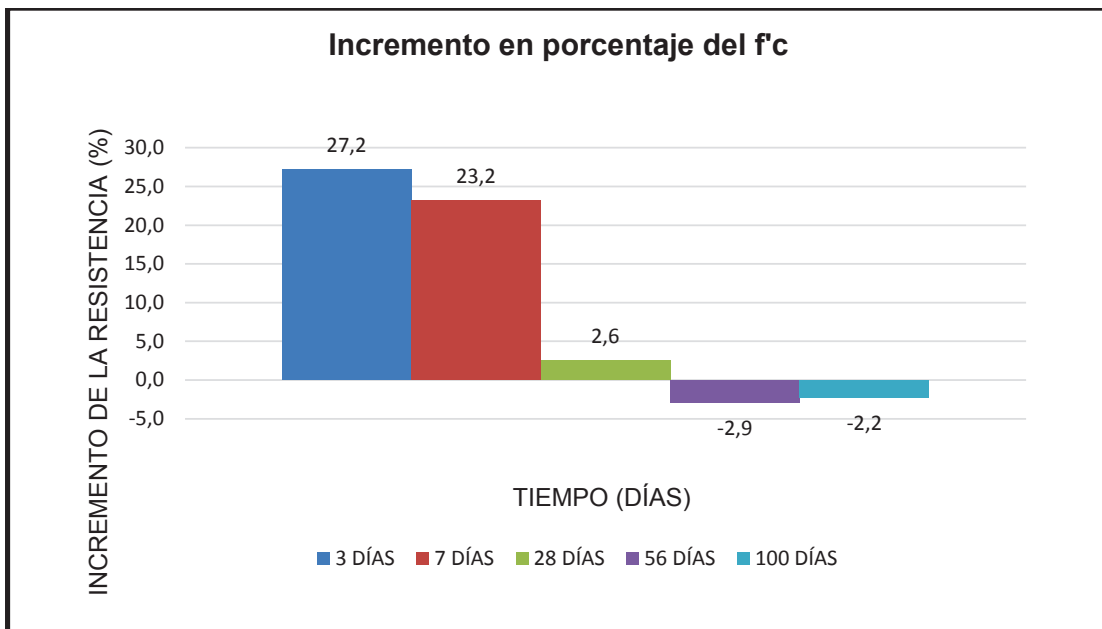
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

GRÁFICA 6. 6 COMPARACIÓN ENTRE LOS HORMIGONES G1SI, G1SE, G1CI Y G1CE FRENTE AL TEÓRICO



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

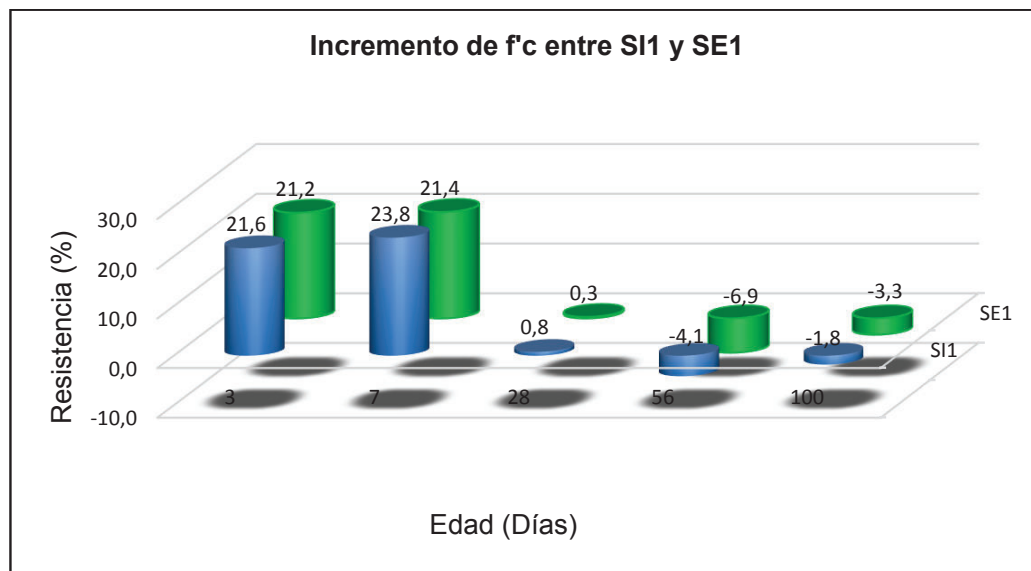
GRÁFICA 6. 7 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN G1CE RESPECTO A LA RESISTENCIA TEÓRICA



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

La comparación entre las variables se establece a continuación:

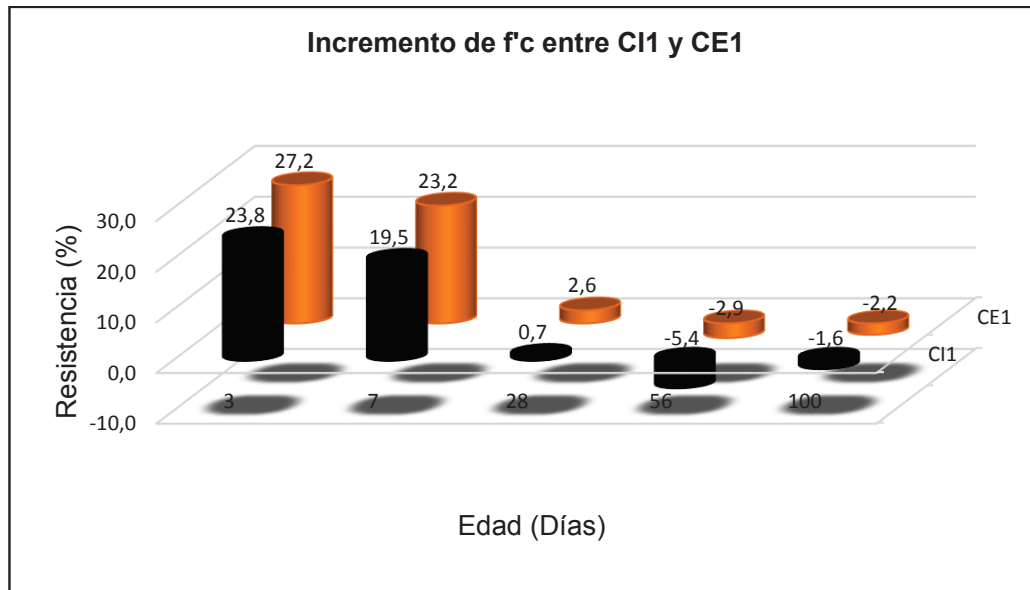
GRÁFICA 6. 8 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SIN FIBRA – DIFERENTE CURADO – G1



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

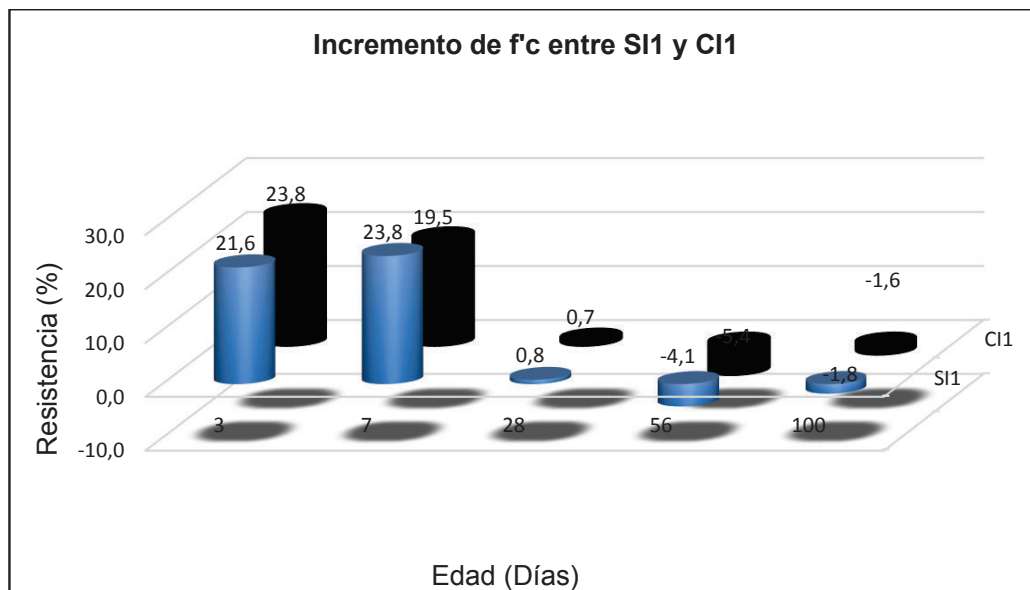
El mayor incremento con respecto a la resistencia teórica a los 28 días, con un valor de 0.8%, pertenece al hormigón sin microfibra curado mediante inmersión.

GRÁFICA 6. 9 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON FIBRA – DIFERENTE CURADO – G1



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 10 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON Y SIN FIBRA – CURADO POR INMERSIÓN – G1

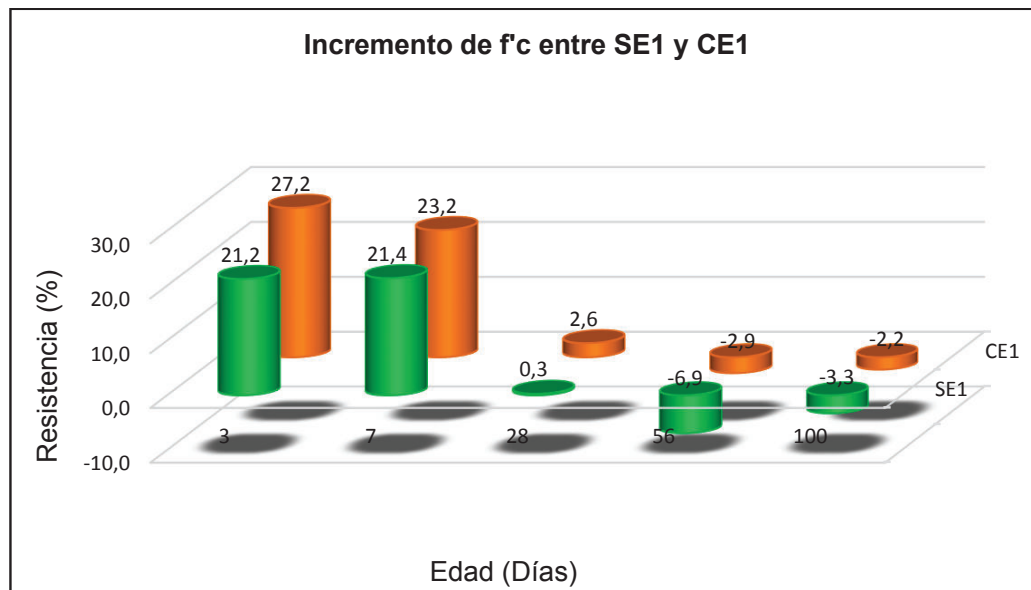


ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

En la Gráfica 6.9., el incremento a los 28 días es de 2.6%, perteneciente al hormigón con microfibra curado mediante envoltura plástica respecto a la resistencia teórica.

El mayor incremento en la resistencia se presenta en el hormigón sin microfibra curado mediante inmersión siendo éste de 0.8%., respecto a la resistencia teórica.

GRÁFICA 6. 11 INCREMENTO (%) DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON Y SIN FIBRA – CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA – G1



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

El mayor incremento en la resistencia a los 28 días se observa en el hormigón con microfibra, curado mediante envoltura plástica, siendo éste de 2.6%, frente al hormigón patrón.

Desde la Gráfica 6.6. hasta la Gráfica 6.11., los incrementos que se presentaron, fueron considerados con respecto a la resistencia a compresión teórica.

6.1.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD

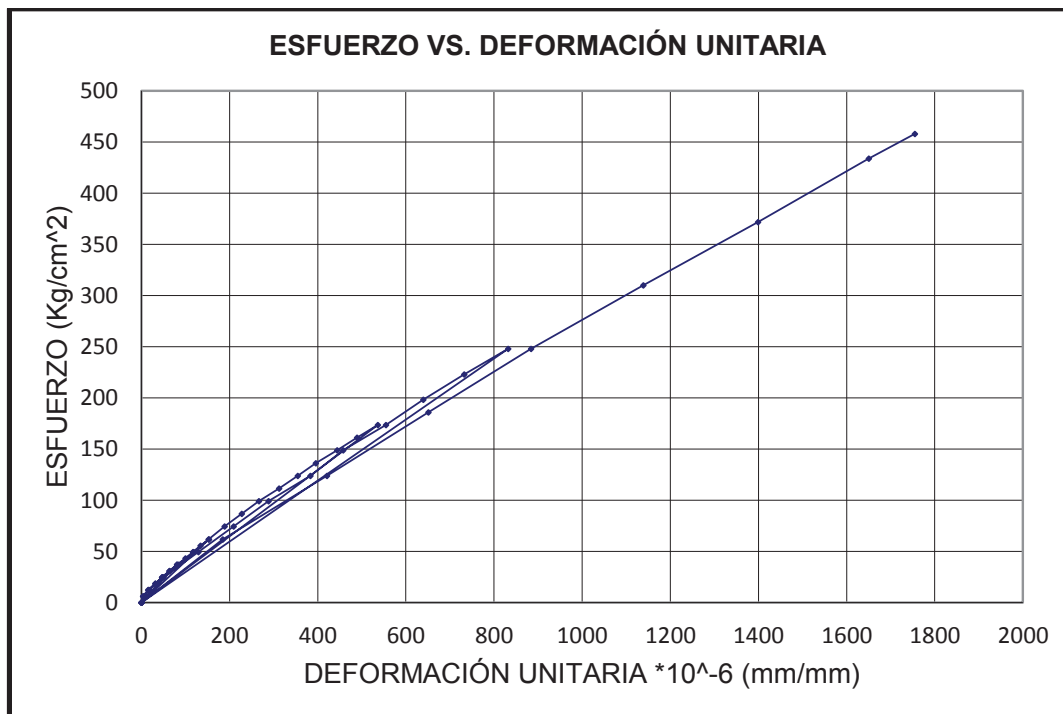
TABLA 6. 8 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1SI

ANEXO 30

MUESTRA	SIN FIBRA INMERSIÓN (SI)	
DIÁMETRO	10,13 cm	
ALTURA	20,00 cm	
ÁREA	80,65 cm ²	
Carga máxima (Kg)		36953
Módulo Elástico G1SI (Kg/cm²)		280628
Esfuerzo máximo(Kg/cm²)		458

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 12 HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN – G1



Elaborado por: Carrera Gisela y Guachamín Luis

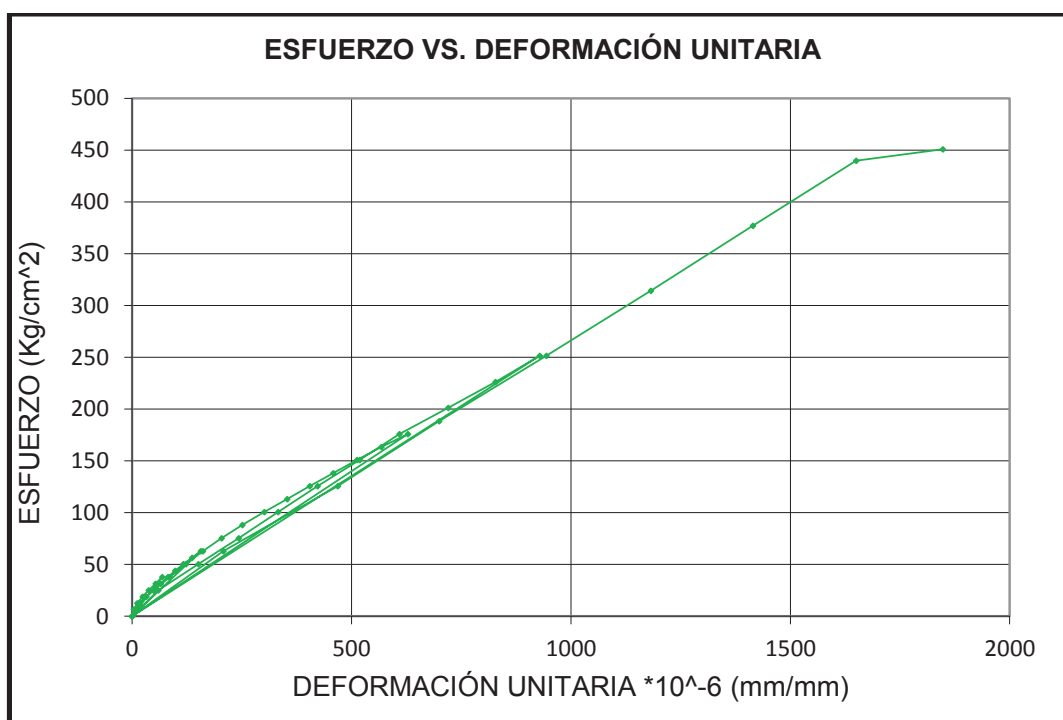
TABLA 6. 9 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1SE

ANEXO 31

MUESTRA	SIN FIBRA ENVOLTURA (SE)	
DIÁMETRO	10,07 cm	
ALTURA	19,93 cm	
ÁREA	79,59 cm ²	
Carga máxima (Kg)		35877
Módulo Elástico G1SE (Kg/cm²)		266222
Esfuerzo máximo(Kg/cm²)		451

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 13 HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA – G1



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

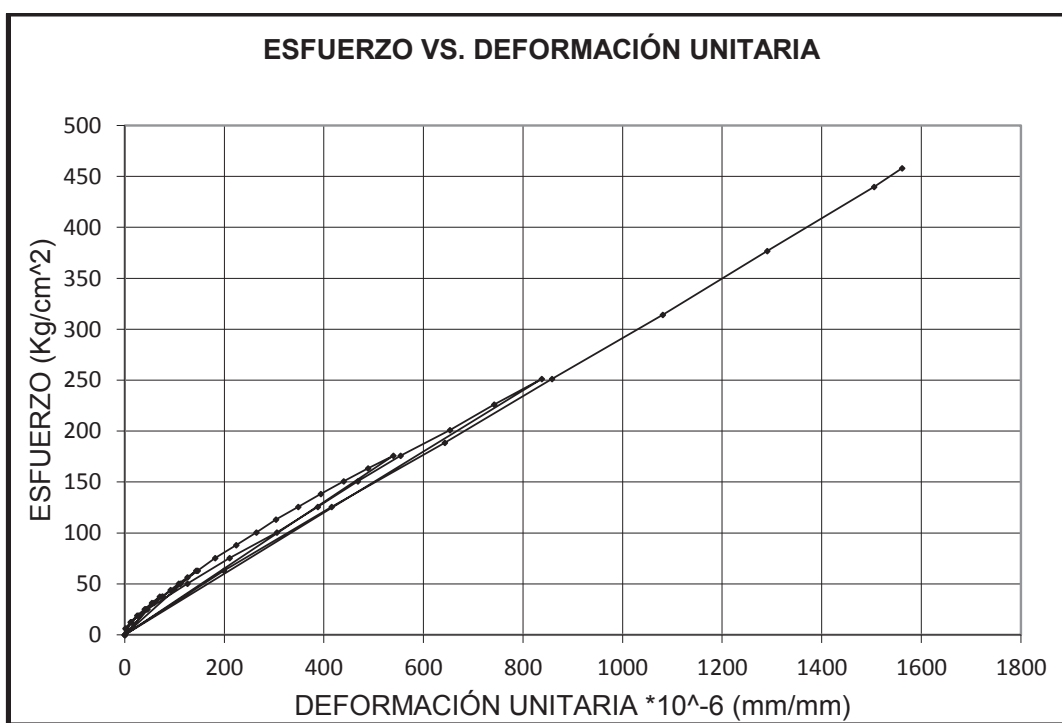
TABLA 6. 10 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1CI

ANEXO 32

MUESTRA	CON FIBRA INMERSIÓN (CI)	
DIÁMETRO	10,07 cm	
ALTURA	19,97 cm	
ÁREA	79,59 cm ²	
Carga máxima (Kg)		36450
Módulo Elástico G1CI (Kg/cm²)		292775
Esfuerzo máximo(Kg/cm²)		458

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 14 HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN – G1

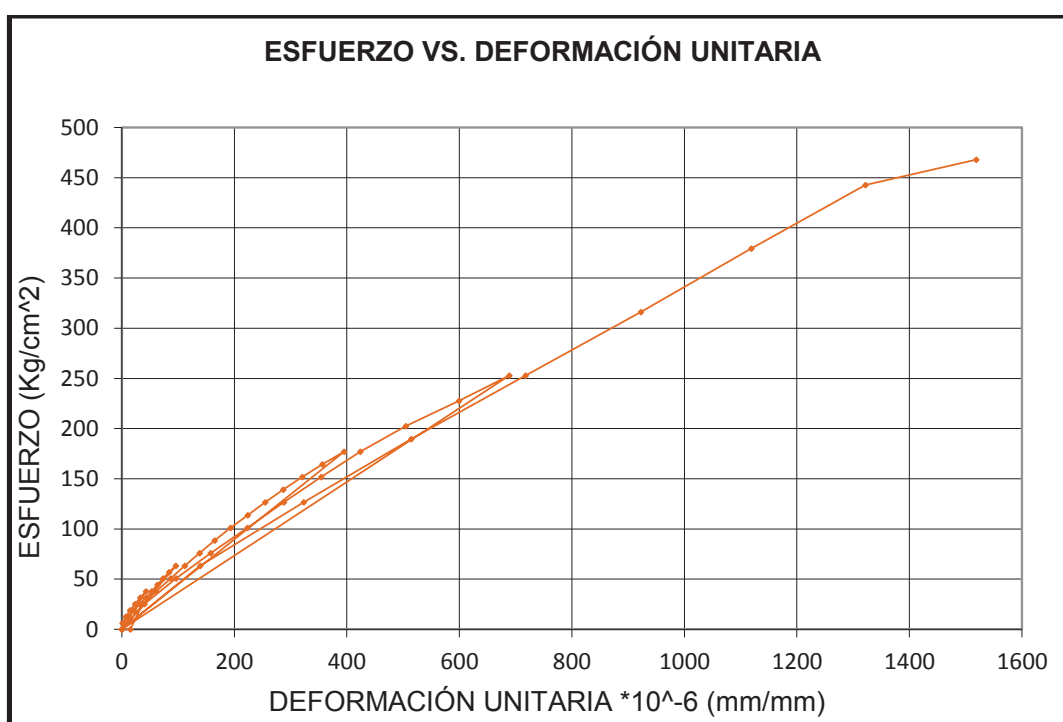


ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 6. 11 ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1CE**ANEXO 33**

MUESTRA	CON FIBRA ENVOLTURA (CE)	
DIÁMETRO	10,03 cm	
ALTURA	19,93 cm	
ÁREA	79,07 cm ²	
Carga máxima (Kg)	36989	
Módulo Elástico G1CE (Kg/cm²)	311213	
Esfuerzo máximo(Kg/cm²)	468	

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 15 HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA – G1

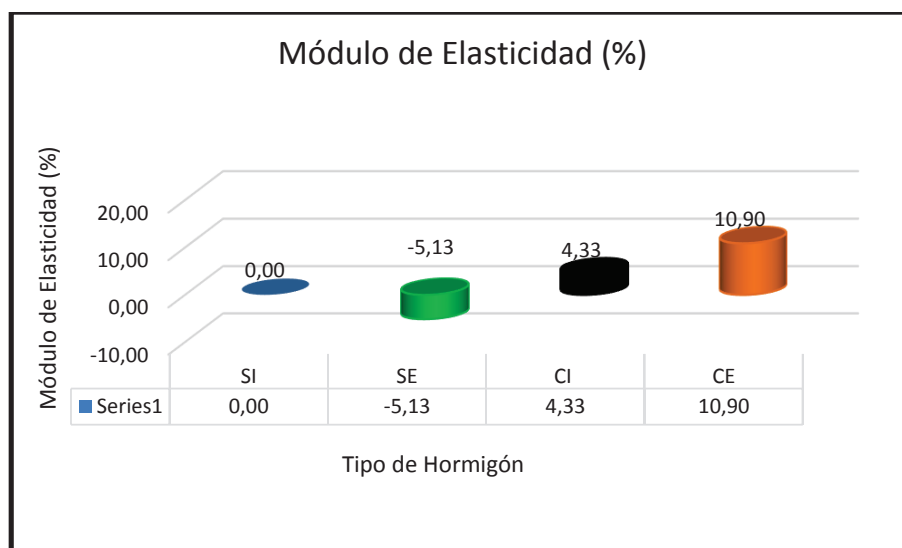
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 6. 12 MÓDULO DE ELÁSTICIDAD EXPERIMENTAL Y TEÓRICO

DESCRIPCIÓN	DENSIDAD	RESISTENCIA		E ASTM C 469	E ACI 363
CILINDRO	(Kg/m ³)	(Kg/cm ²)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
SI	2297	458	44,9	28063	29154
SE	2323	451	44,2	26622	28980
CI	2340	458	44,9	29278	29146
CE	2323	468	45,9	31121	29384

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

**GRÁFICA 6. 16 INCREMENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (%) – G1
RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN**



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

6.1.3 DESGASTE

TABLA 6. 13 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1SI

Edad [días]	Diámetro promedio por disco [cm]	Área [cm ²]	Volumen [cm ³]	Coef. de Abrasión [cm ³ /cm ²]	% respecto al h.patón 56 días
28	5,00	169,90	5,97	0,035	+29.6
	4,70	157,08	5,46	0,035	
	5,50	190,07	6,94	0,037	
	5,50	190,07	6,48	0,034	
29	4,80	144,76	4,89	0,034	+25.9
	5,50	190,07	6,77	0,036	
	4,70	138,80	4,55	0,033	
	5,20	169,90	5,97	0,035	
56	5,20	169,90	4,72	0,028	0
	5,00	157,08	3,70	0,024	
	5,00	157,08	4,10	0,026	
	5,00	157,08	4,55	0,029	
57	5,80	211,37	5,80	0,027	+3.7
	5,00	157,08	4,32	0,028	
	5,00	157,08	4,61	0,029	
	5,50	190,07	5,01	0,026	

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 14 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1SE

Edad [días]	Diámetro promedio por disco [cm]	Área [cm ²]	Volumen [cm ³]	Coef. de Abrasión [cm ³ /cm ²]		% respecto al h.patrn 56 días
28	4,70	138,80	4,10	0,030	0,028	+3.7
	5,00	157,08	4,15	0,026		
	5,80	211,37	5,35	0,025		
	5,80	211,37	6,43	0,030		
29	5,10	163,43	4,44	0,027	0,029	+7.4
	5,50	190,07	5,23	0,028		
	5,50	190,07	5,63	0,030		
	5,00	157,08	4,72	0,030		
56	5,00	157,08	3,70	0,024	0,026	-3.7
	5,10	163,43	4,44	0,027		
	5,20	169,90	4,49	0,026		
	5,00	157,08	4,27	0,027		
57	4,50	127,23	3,36	0,026	0,026	-3.7
	4,50	127,23	3,01	0,024		
	4,50	127,23	3,24	0,025		
	4,70	138,80	3,92	0,028		

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 15 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1CI

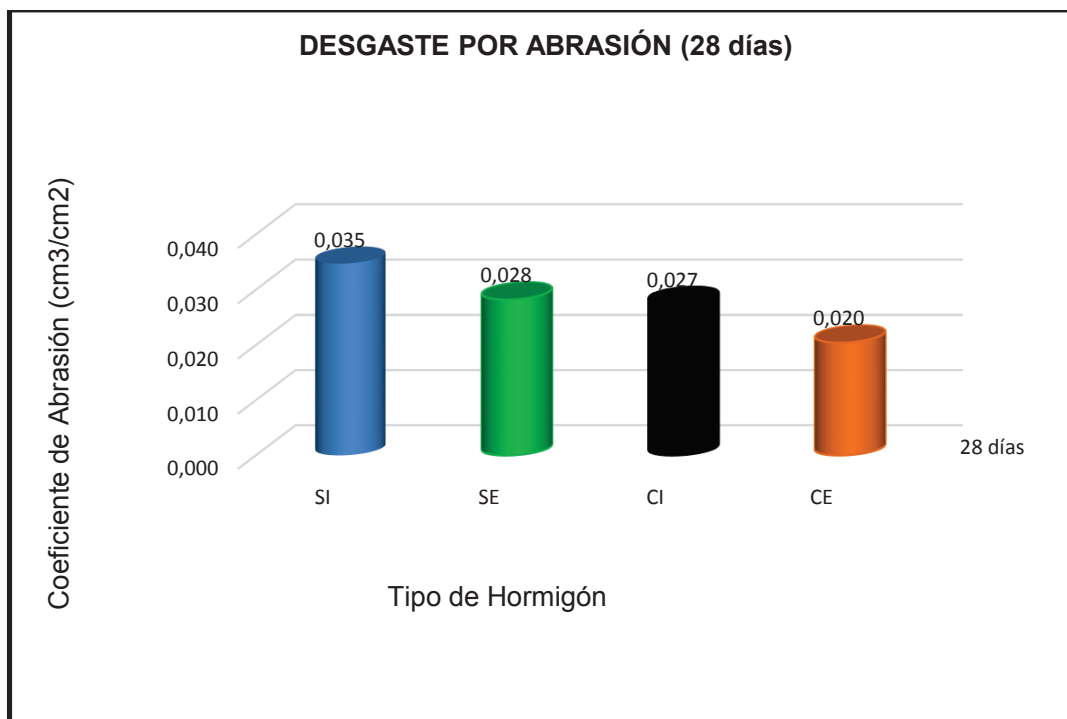
Edad [días]	Diámetro promedio por disco [cm]	Área [cm ²]	Volumen [cm ³]	Coef. de Abrasión [cm ³ /cm ²]		% respecto al h.patrn 56 días
28	5,30	176,49	4,95	0,028	0,028	+3.7
	5,00	157,08	4,27	0,027		
	5,20	169,90	4,55	0,027		
	6,00	226,19	6,60	0,029		
29	5,00	157,08	4,38	0,028	0,027	0.0
	5,60	197,04	5,23	0,027		
	5,50	190,07	5,29	0,028		
	5,00	157,08	4,10	0,026		
56	4,50	127,23	2,39	0,019	0,022	-18.5
	4,70	138,80	3,41	0,025		
	4,70	138,80	2,96	0,021		
	5,00	157,08	3,87	0,025		
57	4,20	110,84	2,56	0,023	0,023	-14.8
	5,00	157,08	3,81	0,024		
	4,50	127,23	2,96	0,023		
	4,50	127,23	2,84	0,022		

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 16 DESGASTE SUPERFICIAL PARA UN HORMIGÓN G1CE

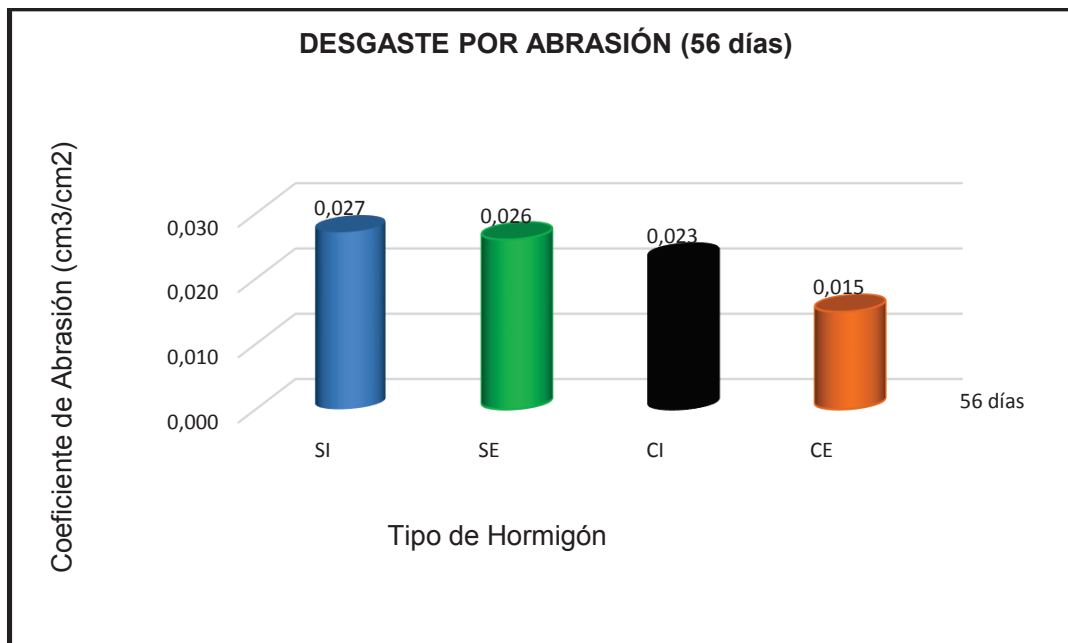
Edad [días]	Diámetro promedio por disco [cm]	Área [cm ²]	Volumen [cm ³]	Coef. de Abrasión [cm ³ /cm ²]	% respecto al h.patón 56 días
28	5,80	211,37	4,89	0,023	-22.2
	5,50	190,07	3,81	0,020	
	5,70	204,14	3,87	0,019	
	5,50	190,07	3,98	0,021	
29	5,00	157,08	3,47	0,022	-25.9
	5,00	157,08	3,24	0,021	
	5,80	211,37	4,15	0,020	
	4,50	127,23	2,33	0,018	
56	4,80	144,76	2,33	0,016	-45.0
	4,50	127,23	1,99	0,016	
	4,70	138,80	2,33	0,017	
	4,50	127,23	1,71	0,013	
57	4,30	116,18	1,82	0,016	-48.1
	4,60	132,95	1,99	0,015	
	4,70	138,80	1,93	0,014	
	4,50	127,23	1,65	0,013	

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

GRÁFICA 6. 17 COMPARACIÓN DEL DESGASTE SUPERFICIAL A LOS 28 DÍAS SEGÚN EL TIPO DE HORMIGÓN

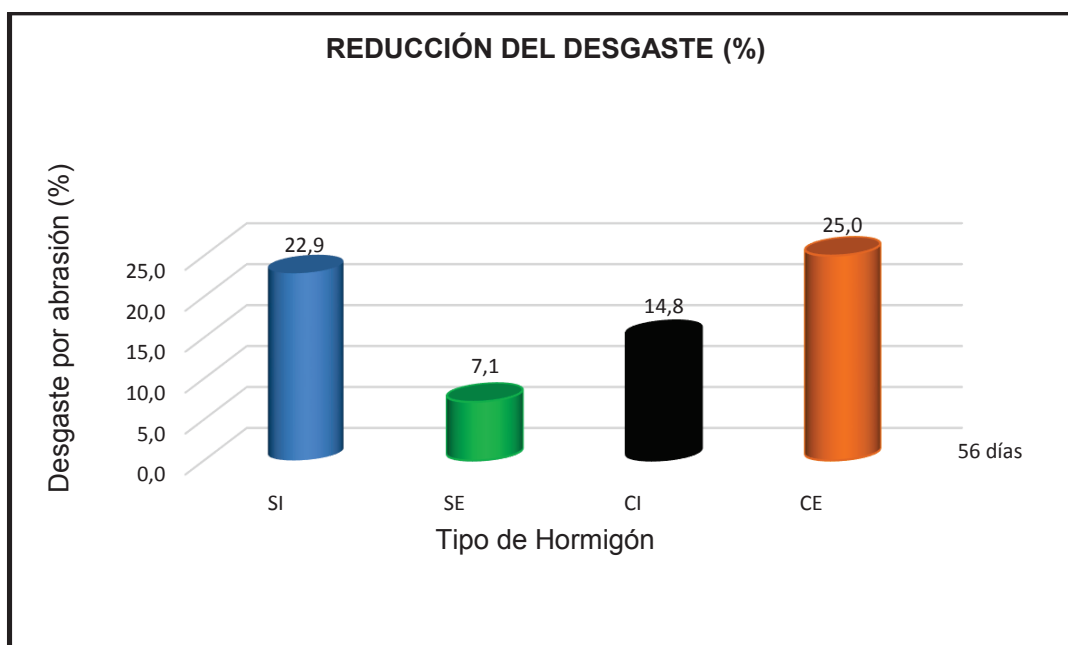
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 18 DESGASTE SUPERFICIAL A LOS 56 DÍAS SEGÚN EL TIPO DE HORMIGÓN



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 19 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DEL DESGASTE A LOS 56 DÍAS CON RELACIÓN A LOS 28 DÍAS



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

TABLA 6. 17 REDUCCIÓN DEL ÁREA DE LAS PARTÍCULAS ABRASIVAS

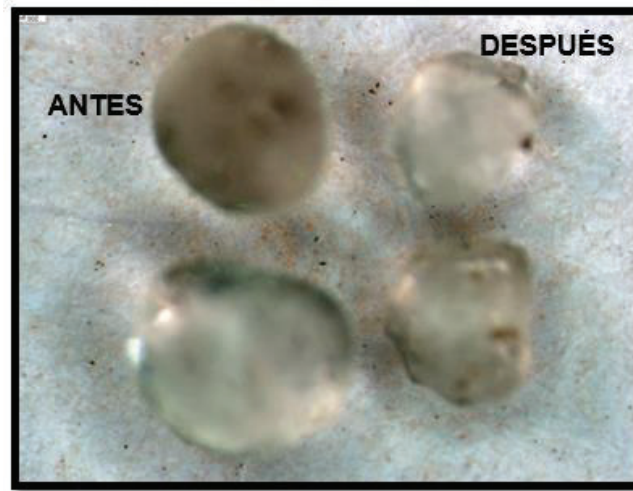
Arena de Sílice (Antes del Ensayo)			
ϕ (um)	Perímetro (um)	Área (um ²)	Área Prom. (um ²)
1072	3366	901725	917311
1021	3208	818731	
1146	3600	1031476	
Arena de Sílice (Después del Ensayo)			
ϕ (um)	Perímetro (um)	Área (um ²)	Área Prom. (um ²)
890	2796	622114	621081
922	2897	667654	
855	2684	573474	
% Reducido del Área de las partículas			
32,29 (%)			

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

FOTOGRAFÍA 6. 1 PARTÍCULAS ABRASIVAS ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO SANDBLASTING

FUENTE: LEMSUR - FICA - EPN.

FOTOGRAFÍA 6. 2 PARTÍCULAS ABRASIVAS ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO SANDBLASTING VISTAS MEDIANTE UN MICROSCOPIO.



FUENTE: DEMEX - EPN.

TABLA 6. 18 REDUCCIÓN DEL ÁREA DE HORMIGÓN

EDAD (días)	SI1	SE1	CI1	CE1
	% Área			
28	10,3	12,1	13,8	24,1
29	0,4	9,3	9,4	1,8
56	0,0	1,0	-12,4	-16,1
57	11,6	-18,8	-18,5	-19,6

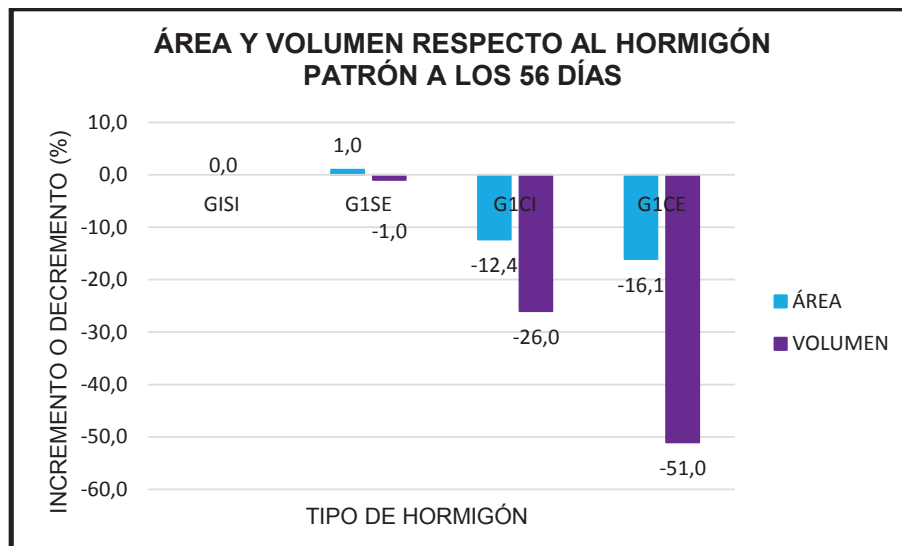
ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

TABLA 6. 19 REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE HORMIGÓN

EDAD (días)	SI1	SE1	CI1	CE1
	% Volumen			
28	45,6	17,3	19,3	-3,0
29	29,9	17,3	11,3	-22,7
56	0,0	-1,0	-26,0	-51,0
57	15,6	-20,7	-28,7	-56,7

ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

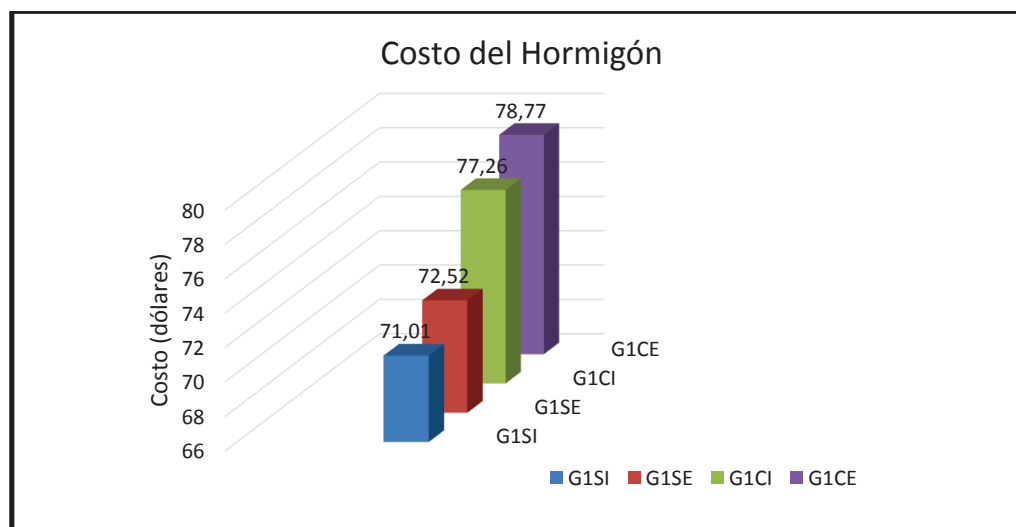
GRÁFICA 6. 20 REDUCCIÓN DEL ÁREA Y VOLUMEN RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN A LOS 56 DÍAS DE EDAD



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

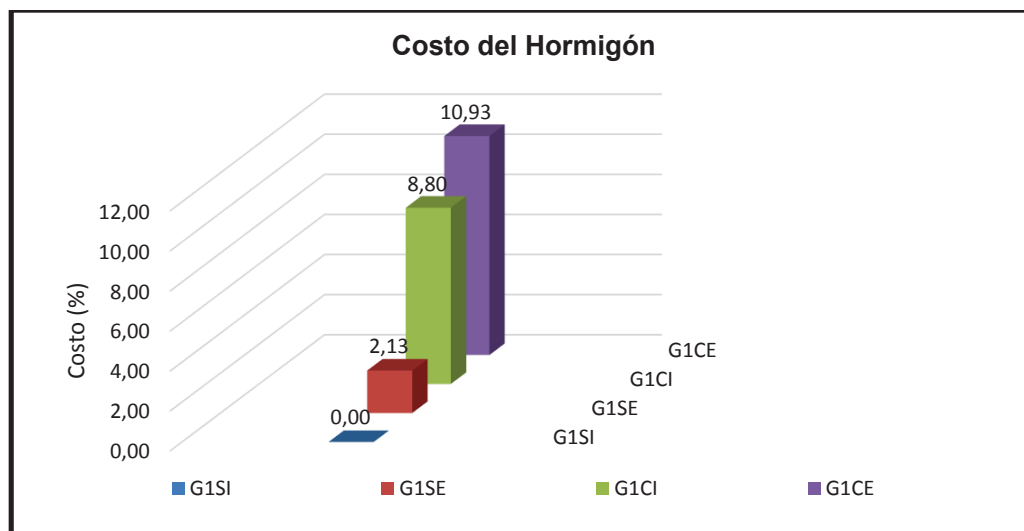
A continuación se establece el costo de los materiales empleados en las dosificaciones elaboradas, y su respectivo porcentaje de variación.

GRÁFICA 6. 21 COMPARACIÓN DE COSTOS



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis

GRÁFICA 6. 22 INCREMENTO EN PORCENTAJE DE LOS COSTOS SEGÚN EL TIPO DE HORMIGÓN CON RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN



ELABORADO POR: Carrera Gisela y Guachamín Luis.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El presente estudio tuvo como finalidad alcanzar una dosificación adecuada para emplear en pavimentos industriales, para ello se consideró fabricar un hormigón de alta resistencia, tomando como referencia la caracterización de las canteras estudiadas en el proyecto de tesis de los Ingenieros Christian Gallegos y Luis Guadalupe (2009), en la que se determina que el mejor material a emplear en hormigones de alta resistencia pertenece a las minas de Holcim en San Antonio de Pichincha, Fucusucu para el agregado fino y Pifo para el agregado grueso. Al determinar las características de los agregados, se comprobó que las propiedades no se mantienen con el tiempo. Siendo el aspecto más representativo la cantidad de finos en la arena, parámetro en el que se puede apreciar que el módulo de finura pasó de 2,7 en 2009 a un valor de 2,3 en 2015, pese a que su módulo de finura no se encontraba dentro del rango aceptable, la mezcla alcanzó valores satisfactorios de resistencia requerida, dando lugar a una dosificación óptima como se describe a continuación.
- Sacos de cemento/m³ = 7.33
- Dosificación: (agua : cemento : arena : ripio) respectivamente.
- Dosificación en Peso: (0.48 : 1 : 2.36 : 2.67),
- Dosificación en Volumen: (0.51 : 1 : 1.53 : 2.05),
- Se pudo evidenciar que la temperatura de curado es un parámetro muy importante, que se debe mantener alrededor de 23 °C ± 2 °C, esto ayuda en gran medida al desarrollo de la resistencia, indistintamente si el curado es por inmersión en agua o con recubrimiento plástico ya que al controlar la temperatura, la resistencia a compresión a los 28 días, es mayor, esto se pudo constatar en las probetas de prueba antes del diseño definitivo, debido

a que a un inicio el curado final mantenía la temperatura de la cámara de curado, pero en las mezclas definitivas se colocó focos incandescentes para alcanzar la temperatura deseada.

- La resistencia a compresión del hormigón con microfibra curado mediante recubrimiento plástico se incrementó en 1.81%, con relación al hormigón con microfibra curado por inmersión en agua, este incremento se presentó a los 28 días de edad.
- El hormigón con microfibra, curado mediante inmersión en agua, presenta un decremento en la resistencia a compresión del 0,02%, a los 28 días de edad frente al hormigón patrón, en este caso se concluye que la microfibra no tuvo mayor incidencia en la mezcla al ser curadas por inmersión debido a la dificultad que se presenta para mantener estable la temperatura en este tipo de curado, debido a agentes externos.
- Se observó un incremento de 2.27% en la resistencia a compresión a los 28 días de edad en las probetas con microfibra curadas mediante recubrimiento plástico, en relación a las probetas sin microfibras del mismo curado, en este caso es posible que el curado haya permitido el desarrollo de la resistencia, con un cierto aporte brindado por la microfibra.
- El uso de las microfibras en hormigones curados mediante inmersión, reduce el desgaste superficial en un 16%, mientras que los hormigones con microfibra curados mediante envoltura plástica, presentan una disminución del 41%, esto para hormigones ensayados a los 56 días, con respecto al hormigón patrón, es razonable debido a que el curado por envoltura permite mayor estabilidad en su temperatura ya que permite encerrar el calor, en cambio las probetas sumergidas cambian su temperatura por circunstancias ambientales.
- Se determinó que la dosificación en la que los agregados fueron lavados presento un incremento del 3.6% respecto de la dosificación que usó los

agregados no modificados, lo cual no se considera un factor conveniente si se trata de mezclas en grandes cantidades.

- El costo por metro cúbico de los materiales utilizados en la dosificación cuyos agregados fueron modificados, aumentó en 21.50 dólares, con respecto a la dosificación inicial elaborada con materiales naturales.
- El módulo de elasticidad del hormigón con fibra, curado mediante envoltura plástica, se ve incrementado en un 10.9 % respecto del hormigón patrón, siendo el más alto de las combinaciones estudiadas.
- Se determinó que los mejores resultados para resistencia a compresión, módulo de elasticidad y desgaste superficial, se vieron reflejados en el hormigón fabricado con microfibras curado mediante envoltura plástica, las microfibras se dosifican a razón de 1 kg por cada metro cúbico de mezcla, para evitar apelmazamientos.
- La mezcla de hormigón con microfibra, curado mediante envoltura plástica, presenta un 45% menos de desgaste superficial que el hormigón patrón, a la edad de 56 días.
- El hormigón fabricado sin microfibra, curado mediante envoltura plástica, presenta un desgaste superficial menor, a razón del 4% frente al hormigón patrón, a los 56 días de edad.
- El hormigón fabricado con microfibra curado mediante recubrimiento plástico, presenta un desgaste superficial menor, en un 29 %, frente al hormigón con microfibra curado mediante inmersión en agua a los 56 días.
- El costo de un hormigón fabricado con microfibras, curado mediante inmersión en agua se incrementó en 6.25 dólares con respecto al hormigón patrón, el mismo incremento se observó en la mezcla fabricada con

microfibras, curada mediante recubrimiento plástico, frente a una mezcla sin microfibras del mismo curado.

- En cuanto al costo del hormigón sin microfibra curado mediante recubrimiento plástico, se presenta un incremento de 1,51 dólares respecto del hormigón patrón, de igual forma se observa que se da el mismo incremento entre el hormigón con microfibra curado mediante envoltura plástica, siendo este mayor, frente al hormigón con microfibra curado por inmersión en agua.
- En cuanto a los aditivos, se empleó la misma cantidad, es decir 0.5% del peso del cemento, regulando así el asentamiento deseado, en 8 cm, de tal manera que se comporten como fluidificante.
- Se determinó que la mejor dosificación en cuanto a tiempo, dinero y practicidad se presenta con los agregados en estado natural, ya que generalmente en obra no es posible dar un tratamiento previo a ninguno de los materiales, si este a su vez no representa un beneficio significativo.
- Los diferentes porcentajes de aditivo permitieron evidenciar que a mayor porcentaje de aditivo, mayor fluidez de la mezcla, de tal forma que aumenta el asentamiento y mejora la trabajabilidad de la mezcla. (Figuras 5.2. – 5.7.).
- En el ensayo por sandblasting se debe cambiar la boquilla cuantas veces sea necesario ya que el agente abrasivo, afecta a la boquilla aumentando su diámetro, generando así una huella de área mayor pero de profundidad menor.
- El material abrasivo después de ser utilizado, disminuye su área a razón de 32.29%, impidiendo así reutilizar el material, debido a que no cumple las especificaciones de la arena normada, la misma que establece que las partículas deben pasar la malla N.- 20 y retenerse en la malla N.- 30.

7.2 RECOMENDACIONES

- Dada la cantidad de microfibras de polipropileno que se emplea en la fabricación de hormigón para pavimentos, se recomienda tener especial cuidado en mezclas fabricadas en concretora, ya que es muy propensa de quedar enredada en las aspas.
- Si se trata de fabricar hormigones de alta resistencia, las mezclas de hormigón en lo posible deben ser fabricadas con agregado grueso triturado, ya que éste permite una mayor adherencia y por lo tanto una mayor resistencia mecánica.
- La arena de sílice empleada en el proceso de sandblasting, debe mantenerse herméticamente sellada en períodos largos de tiempo, por cuanto su contacto con el aire genera contaminación y por ende un comportamiento poco regular.
- Para agregados que se usan en hormigones de alta resistencia se aconseja disminuir los finos de las arenas, debido a que esto genera mezclas pastosas, que a su vez necesitan mayor cantidad de agua y cemento, modificando así la relación agua/cemento requerida para el estudio.
- Se recomienda implementar un estudio donde la variable sea la temperatura de curado en el rango entre 18 °C y 23°C, de tal forma que se evidencie el mejor desarrollo de la resistencia a temperaturas constantes de éste rango, es decir realizar un análisis comparativo entre probetas curadas a 18 °C, 20 °C y 23 °C, para verificar así su grado de incidencia durante el período de curado.
- Se recomienda no reutilizar el material abrasivo ya que éste cambia su forma y tamaño una vez realizada la prueba, aparte de que se contamina al interactuar con el aire.

- Es importante que la máquina de sandblasting cuente con varios repuestos de vidrio templado, para realizar las pruebas en ella, ya que al ensayar 11 discos de 8 huellas cada uno, existe un desgaste considerable en el vidrio, el cual impide observar el desarrollo de las demás pruebas.
- Como cada huella se genera en el lapso de un minuto, y la probeta debe contar con 8 en total, se recomienda realizar pausas de al menos 2 minutos cada 2 probetas, para permitir que el compresor no disminuya la presión de 100 p.s.i.
- Es importante considerar que la manguera de suministro de material apenas debe alcanzar el material abrasivo a ser succionado de tal forma que no obstruya su paso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI (1991). ACI 211.1-91. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. American Concrete Institute.
- [2] ACI (1996). ACI 302.1R-96. Guide for Concrete Floor and Slab Construction. American Concrete Institute.
- [3] ACI (2000). ACI 116.R-00. Cement and Concrete Terminology. American Concrete Institute.
- [4] ACI (2008). ACI 211.4R-08. Guide for Selecting Proportions for High - Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Mater. American Concrete Institute.
- [5] ASTM (2003). ASTM C1116-03. Standard Specification for Fiber Reinforced Concrete and Shotcrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [6] ASTM (2007). ASTM C171-07. Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [7] ASTM (2009). ASTM C29M-09. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [8] ASTM (2011). ASTM C40M-11. Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [9] ASTM (2011). ASTM C702M-11. Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [10] ASTM (2012). ASTM C143M-12. Standard Test Method for Slump of Hydraulic - Cement Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [11] ASTM (2012). ASTM C31M-12. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

- [12] ASTM (2012). ASTM C418-12. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [13] ASTM (2012). ASTM C779M-12. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [14] ASTM (2012). ASTM C944M-12. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [15] ASTM (2013). ASTM C125-13b. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [16] ASTM (2013). ASTM C33M-13. Standard Specification for Concrete Aggregates. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [17] ASTM (2013). ASTM C566-13. Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [18] ASTM (2013). ASTM C778M-13. Standard Specification for Standard Sand. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [19] ASTM (2014). ASTM C131M-14. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [20] ASTM (2014). ASTM C136M-14. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [21] ASTM (2014). ASTM C188-14. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [22] ASTM (2014). ASTM C469M-14. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.

- [23] ASTM (2014). ASTM D75M-14. Standard Practice for Sampling Aggregates. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [24] ASTM (2015). ASTM C127-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [25] ASTM (2015). ASTM C128-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [26] ASTM (2015). ASTM C39M-15a. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [27] ASTM (2015). ASTM C94M-15a. Standard Specification for Ready - Mixed Concrete. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [28] Carrasco M. F. (2014). Tecnología del Hormigón. Santa Fe. Obtenido de: <http://usuarios.fceia.unr.edu.ar>
- [29] CFE. (1994). Manual de Tecnología del Concreto. Sección 1. México D.F.
- [30] CFE. (1994). Manual de Tecnología del Concreto. Sección 2. México D.F.
- [31] CFE. (1994). Manual de Tecnología del Concreto. Sección 3. México D.F.
- [32] Escuela de Ingeniería Técnica Civil (2007). Historia del Hormigón. Materiales de Construcción II. Obtenido de: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6202/mod_resource/content/1/Hormigon_01._Historia.pdf.
- [33] Euclid Chemical Toxement. (2008). Guía de Diseño para pisos de concreto. Colombia. Obtenido de http://www.toxement.com.co/brochure/portafolio_pisos.pdf
- [34] Harmer, E., Troxell G., Wiskocil. (1966). Ensaye e Inspección de los Materiales de Ingeniería. Barcelona. España.
- [35] INEN (1978). GPE INEN 22. Guía práctica. Laboratorista de hormigones bases para inspección y control de calidad. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.




- [36] INEN (1985). GPE INEN 34. Control de calidad del hormigón. Bases de fiscalización. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [37] INEN (1987). NTE INEN 154. Tamices de ensayo. Dimensiones nominales de las aberturas. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [38] INEN (2009). NTE INEN 156. Cemento hidráulico. Determinación de la densidad. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [39] INEN (2009). NTE INEN 873. Arena normalizada. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [40] INEN (2010). NTE INEN 1573. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [41] INEN (2010). NTE INEN 1578. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [42] INEN (2010). NTE INEN 1763. Hormigón de cemento hidráulico. Muestreo. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [43] INEN (2010). NTE INEN 2528. Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [44] INEN (2010). NTE INEN 2566. Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [45] INEN (2010). NTE INEN 695. Áridos. Muestreo. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [46] INEN (2010). NTE INEN 855. Áridos. Determinación de impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [47] INEN (2010). NTE INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- [48] INEN (2010). NTE INEN 857. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [49] INEN (2010). NTE INEN 858. Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [50] INEN (2011). NTE INEN 1576. Hormigón de Cemento Hidráulico. Elaboración y Curado en Obra de Especímenes para Ensayo. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [51] INEN (2011). NTE INEN 2380. Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [52] INEN (2011). NTE INEN 490. Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [53] INEN (2011). NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [54] INEN (2011). NTE INEN 860. Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [55] INEN (2011). NTE INEN 862. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [56] INEN (2011). NTE INEN 872. Áridos para Hormigón. Requisitos. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- [57] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2005). Guía para Seleccionar las Proporciones para Concreto de Alta Resistencia con Cemento Portland y Ceniza Volante. México.
- [58] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). Pruebas de Resistencia a la Compresión del Concreto. México.
- [59] Jurado, J. G. (1997). Materiales para Concreto. Curso para Técnicos Laboratoristas. Tomo 1. Colombia.
- [60] Luna, G. (2014). Estudio del Hormigón. Guía Didáctica para el Diseño de Mezclas. Quito. Ecuador.

- [61] Obras y Protagonistas. Revista Nro. 215. (2013). Pisos Industriales. Argentina. Obtenido de <http://www.oyp.com.ar/nueva/revistas/215/1.php?con=2>
- [62] QuimiNet. (2011). Las Diferentes Aplicaciones de la Arena Sílica. México D.F. Obtenido de: <http://www.quiminet.com/articulos/las-diferentes-aplicaciones-de-la-arena-silica-2648107.htm>.
- [63] Reverte. (1981). Ensayos y Control de los Hormigones. Barcelona. España.
- [64] Sánchez, D. (2001). Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá. Colombia.
- [65] Sika Ecuatoriana S.A. (2012). Manual Técnico de Productos Sika. Décima Sexta Edición. Ecuador.
- [66] Timoshenko, S. Young D. (1973). Elementos de Resistencia de Materiales. Barcelona. España.
- [67] Vasconcelos, A. C. (s.f.). Curado del Hormigón. Argentina. Obtenido de: http://www.icpa.org.ar/publico/files/curado_del_hormigon.pdf.
- [68] Vélez, J.E. (2014). Clasificación de Pisos Industriales - ACI 302. Obtenido de: <http://blog.360gradosenconcreto.com/clasificacion-de-pisos-industriales-aci-302/>.

ANEXOS

ANEXO 1
FICHA TÉCNICA
CEMENTO ARMADURO

 ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO TIPO IP ARMADURO	Fecha: 22-05-2014 Número de Gula:
INEN 490		
ANÁLISIS QUÍMICO		
Pérdida por calcinación	[%]	5,0 máximo
SiO ₂	[%]	1,2
Al ₂ O ₃	[%]	28,3
Fe ₂ O ₃	[%]	7,5
CaO	[%]	3,7
MgO	[%]	52,3
SO ₃	[%]	6,0 máximo
Na ₂ O	[%]	2,3
K ₂ O	[%]	4,0 máximo
TiO ₂	[%]	2,2
TOTAL		1,6
Cal Libre	[%]	0,5
ENSAYOS FÍSICOS		
Blaine	[cm ² /g]	127
Malla : 325	[%]	306
Consistencia normal	[%]	3,015
Peso volumétrico	[kg/l]	0,09
Fraguado inicial	[min]	—
	[min]	6,82
Fraguado final	[min]	10,5
Densidad	[g/ml]	17,7
Expansión al autoclave	[%]	22,6
Contracción al autoclave	[%]	29,6
Contenido de Aire	[%]	13,0 mínimo
Resistencias		20,0 mínimo
1 Día	[MPa]	25,0 mínimo
3 Días	[MPa]	
7 Días	[MPa]	
28 Días	[MPa]	
Observaciones: Cliente: El presente certificado, contiene valores promedios de un bache de producción de quince días.		
		  Roberto Esparza G. <i>Jefe de Aseguramiento de Calidad</i>

ANEXO 2
FICHA TÉCNICA
TOC FIBRA 500

Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088000 Fax: 3880887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
 www.toxement.com.co



TOC FIBRA 500
Fibra de refuerzo secundario para concreto o mortero
 TX40T106

DESCRIPCION
 TOC FIBRA 500 es un refuerzo secundario de polipropileno filamentado, para concreto o mortero.

INFORMACION TECNICA

CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS
 Material 100% polipropileno virgen
 Gravedad específica : 0,91 G/m³ (ASTM D-1505)
 Índice de fludez : 0,3 g/seg (ASTM D-1238)
 Punto de fusión : 166°C (330°F)
 Punto de ignición : 390°C (730°F)
 Punto de ebullición en agua a 20°C : Ninguno
 Corte de fibra : 1/4, 1/2, 3/4, 2 1/4 pulgadas

Resistencia química a bases y agentes oxidantes : Inerte*
 Resistencia química a los ácidos y álcalis : Buena*
 Resistencia al moho y Microorganismos : Buena*
 *En conformidad con la norma ASTM C-1116

CARACTERISTICAS MECANICAS
 Módulo de elasticidad : 0,7 x 10⁶ psi.
 Resistencia a la tensión : 80 K.S.I.
 Resistencia a la tracción : 70.000 psi.
 Elongación hasta el rompimiento : 8% mínimo
 Resistencia a la abrasión : Buena
 Conductividad térmica y Eléctrica : Baja

USOS
 Se utiliza como refuerzo secundario, en placas de concreto o morteros de recubrimiento, otorgando resistencia al movimiento por contracción térmica y de secado; al mezclarse al concreto o mortero en estado fresco, reduce la formación de grietas por retracción plástica. En caso de ocasionarse grietas en estado endurecido por fallas de estructura menores, minimiza el ancho de longitud de las mismas.

VENTAJAS

- El refuerzo se realiza de forma multicrecional.
- Mejora las resistencias mecánicas.
- Reduce grietas en estado plástico y endurecido.
- Reduce la permeabilidad.
- Aumenta la durabilidad.

Toe Fibra 500 Página 1

PRESENTACION
 Bolsa 1/4 : 10 kg
 Bolsa 1 1/4 : 10 kg
 (Inherentemente se empacan bolsas de 1 kg. cada una).

Los Hojas Técnicas de los productos EUCLID, TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los substratos sobre los que se aplica o por efectos de la temperatura y otros factores. Por eso recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.

Octubre 28 de 2011

Toe Fibra 500 Página 2

Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088000 Fax: 3880887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
 www.toxement.com.co



TOC FIBRA 500
Fibra de refuerzo secundario para concreto o mortero
 TX40T106

DESCRIPCION
 TOC FIBRA 500 es un refuerzo secundario de polipropileno filamentado, para concreto o mortero.

INFORMACION TECNICA

CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS
 Material 100% polipropileno virgen
 Gravedad específica : 0,91 G/m³ (ASTM D-1505)
 Índice de fludez : 0,3 g/seg (ASTM D-1238)
 Punto de fusión : 166°C (330°F)
 Punto de ignición : 390°C (730°F)
 Punto de ebullición en agua a 20°C : Ninguno
 Corte de fibra : 1/4, 1/2, 3/4, 2 1/4 pulgadas

Resistencia química a bases y agentes oxidantes : Inerte*
 Resistencia química a los ácidos y álcalis : Buena*
 Resistencia al moho y Microorganismos : Buena*
 *En conformidad con la norma ASTM C-1116

CARACTERISTICAS MECANICAS
 Módulo de elasticidad : 0,7 x 10⁶ psi.
 Resistencia a la tensión : 80 K.S.I.
 Resistencia a la tracción : 70.000 psi.
 Elongación hasta el rompimiento : 8% mínimo
 Resistencia a la abrasión : Buena
 Conductividad térmica y Eléctrica : Baja

USOS
 Se utiliza como refuerzo secundario, en placas de concreto o morteros de recubrimiento, otorgando resistencia al movimiento por contracción térmica y de secado; al mezclarse al concreto o mortero en estado fresco, reduce la formación de grietas por retracción plástica. En caso de ocasionarse grietas en estado endurecido por fallas de estructura menores, minimiza el ancho de longitud de las mismas.

VENTAJAS

- El refuerzo se realiza de forma multicrecional.
- Mejora las resistencias mecánicas.
- Reduce grietas en estado plástico y endurecido.
- Reduce la permeabilidad.
- Aumenta la durabilidad.

Toe Fibra 500 Página 1

PRESENTACION
 Bolsa 1/4 : 10 kg
 Bolsa 1 1/4 : 10 kg
 (Inherentemente se empacan bolsas de 1 kg. cada una).

Los Hojas Técnicas de los productos EUCLID, TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los substratos sobre los que se aplica o por efectos de la temperatura y otros factores. Por eso recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.

Octubre 28 de 2011

Toe Fibra 500 Página 2

ANEXO 3
FICHA TÉCNICA
ADITIVO EUCON 37



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
 www.toxement.com.co

EUCON 37

Reductor de agua de alto poder

TX40T021

DESCRIPCION

EUCON 37 es un aditivo reductor de agua de alto poder para hormigón; cumple con la norma ASTM C-494 tipo A y F o ICONTEC 1299.

INFORMACION TECNICA

Apariencia	: Líquido de baja viscosidad
Color	: Café
Contenido de Cloruros	: Ninguno
Densidad	: 1.185 kg/l +/- 0.01 kg/l
% Sólidos	: 37.5% +/- 1.5%
PH	: 9 +/- 1

USOS

EUCON 37 es especialmente recomendado cuando se requiere:

- Concreto de alto desempeño.
- Concreto premezclado en general
- Concreto fuertemente reforzado
- Concreto para losas y concreto masivo
- Concreto con relación baja de agua / cemento
- Concreto superfluido.

VENTAJAS

- Reduce la permeabilidad de la mezcla.
- Aumenta la resistencia del concreto a aguas agresivas.
- Aumenta las resistencias mecánicas a temprana edad para un pronto desencofrado.
- Densifica el concreto y disminuye el riesgo de hormigueros.
- No contiene cloruros ni agentes corrosivos.
- Elimina la segregación de los componentes del hormigón.
- Disminuye la exudación.
- Disminuye las retracciones por fraguado.
- Acelera las resistencias de diseño.
- Cuando se usa en prefabricados con cemento tipo I puede producir altas resistencias iniciales.
- Reduce costos por facilidad de colocación del concreto.
- Es compatible con el agente incorporador de aire AIRMIX D de EUCLID - TOXEMENT.

- El concreto adicionado con **EUCON 37** mantiene las características plásticas entre 15 y 45 minutos dependiendo de: Tipo de cemento, diseño de mezcla, relación A/C, temperatura y dosis empleada.

DOSIFICACION

Para producir concreto de alta resistencia, la dosis de **EUCON 37** varía entre el 0,9% al 1,5% del peso del cemento usado en la mezcla, o sea de 450 g a 750 g de **EUCON 37** por saco de cemento de 50 kg, con lo cual se producen relaciones bajas de agua/cemento.

Para producir concreto fluido, la dosis de **EUCON 37** varía entre el 0,5% al 1,0% del peso del cemento usado en la mezcla, o sea 250 g a 500 g de **EUCON 37** por saco de cemento de 50 kg; manteniendo la mezcla cohesiva.

APLICACION

EUCON 37 puede ser adicionado al concreto en el sitio de trabajo o en la planta de concreto para facilitar su uso. El concreto es más a menudo tratado directamente en el sitio de trabajo, aunque puede ser dosificado en la mixer y transportado al sitio de trabajo sin agitación y allí ser remezclado.

COMO FLUIDIFICANTE:

EUCON 37 adicionado a una mezcla de consistencia normal, fluidifica el concreto o mortero haciéndolo óptimo para el bombeo.

Cargue todos los materiales en la mixer y mezcle por cinco minutos o setenta revoluciones para un asentamiento de 7,5 cm a 10 cm, adicione el aditivo y mezcle un minuto adicional por cada metro cúbico de mezcla.

COMO REDUCTOR DE AGUA:

EUCON 37 permite obtener reducciones en el agua de amasado entre un 20% y un 30% incrementando las resistencias mecánicas iniciales y finales. Reduce la permeabilidad del concreto y acelera sus resistencias de diseño.

Se pueden tener reducciones de cemento dependiendo de la reducción de agua y el diseño, de acuerdo a ensayos preliminares.



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
www.toxement.com.co

Para lograr una buena reducción de agua haga su mezcla con el 60% del agua de diseño y con un 10% diluya el aditivo e incorpórelo a la mezcla; si el asentamiento no es el deseado agregue agua hasta lograrlo, la cantidad de agua sobrante expresada en % es la reducción lograda.

RECOMENDACIONES ESPECIALES

- La dosificación apropiada se debe determinar mediante ensayos previos.
- En concretos fluidos, el contenido de finos debe aumentarse entre el 10% y el 15% para compensar la reducción de agua y mantener la homogeneidad de la mezcla fluida.
- Cuando se trabaja con otros aditivos estos deben dosificarse por separado.
- Al colocar hormigón en elementos de construcción altos, la caída libre no debe ser mayor de 1,5 m. En sitios más profundos debe transportarse por tubos sobre canales con un ángulo de inclinación menor de 20 grados.
- El concreto con **EUCON 37** debe colocarse en el menor tiempo posible.
- Cuando se diseñan mezclas con **EUCON 37** siga las recomendaciones del ACI 211.1 y 211.2. Ajuste la arena para mantener homogeneidad.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

EUCON 37 no es tóxico, corrosivo ni inflamable.

EUCON 37 debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil en almacenamiento:

- 1 año en lugares frescos, bajo techo, en su envase original y herméticamente cerrado.
- 6 meses en condiciones de almacenamiento a granel.

PRESENTACION

Garrafa plástica:	20 kg.
Tambor:	230 kg.
Tambor	200 l (237 kg)
Granel	

Las Hojas Técnicas de los productos EUCLID - TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.

Agosto 31 de 2011

ANEXO 4
FICHA TÉCNICA
ADITIVO SIKAMENT N 100

Sikament®-N 100

Superplastificante reductor de agua de alto poder

DESCRIPCION	Sikament-N 100 es un aditivo líquido, color café, compuesto por resinas sintéticas. Superplastificante, reductor de agua de alto poder y economizador de cemento. No contiene cloruros.
USOS	<p>Sikament-N 100 tiene tres usos básicos.</p> <p>Como superplastificante: Adicionándolo a una mezcla de consistencia normal se consigue fluidificar el concreto o mortero facilitando su colocación y su bombeabilidad en elementos esbeltos densamente armados y en la construcción de estructuras civiles prefabricadas. Permite recuperar el asentamiento del concreto premezclado sin alterar sus tiempos de fraguado ante demoras en la colocación del mismo.</p> <p>Como reductor de agua de alto poder: Adicionándolo disuelto en la última porción del agua de amasado permite reducir, de acuerdo con la dosis usada, hasta un 30% del agua de la mezcla, consiguiéndose la misma manejabilidad inicial y obteniéndose un incremento considerable de las resistencias a todas las edades. Sikament-N 100 es ideal para la elaboración de prefabricados y concretos de altas resistencias finales. Mediante su uso la impermeabilidad y durabilidad del concreto o mortero se ven incrementadas notablemente.</p> <p>Como economizador de cemento: Se puede aprovechar la reducción del agua lograda, para disminuir el contenido de cemento y hacer más económico el diseño de las mezclas especialmente aquellas de consistencia fluida como bombeables, tremie y contech. El Sikament-N 100 puede ser usado como superplastificante en concretos elaborados con adiciones de microsilica.</p>
VENTAJAS	<p>El Sikament-N 100 proporciona los siguientes beneficios tanto en el concreto fresco como en el concreto endurecido.</p> <p>Como superplastificante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora considerablemente la trabajabilidad de la mezcla. • Facilita el bombeo y colocación del concreto a mayores alturas y a distancias más largas. • Disminuye el riesgo de hormigueros en el concreto de estructuras densamente armadas y esbeltas. • Mejora considerablemente el acabado del concreto y reproduce la textura de la formaleta. • Se puede emplear para recuperar el asentamiento perdido en el concreto premezclado ya que no retarda el fraguado del mismo en climas medios y fríos. • Evita la segregación y disminuye la exudación del concreto fluido. • Disminuye los tiempos de vibrado del concreto. • Puede redosificarse el material hasta completar una dosis del 2% del peso del cemento sin alterar la calidad.



	<p>Como reductor de agua de alto poder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la resistencia inicial del concreto hasta un 80% aprox. • Incrementa la resistencia final del concreto en un 40% aprox. a los 28 días de edad. • Reduce considerablemente la permeabilidad del concreto, aumentando su durabilidad. • Densifica el concreto y mejora su adherencia al acero de refuerzo. • Reduce en alto grado la exudación y la retracción plástica. • Gran economía en los diseños por la reducción de cemento alcanzable.
MODO DE EMPLEO	<p>Como Superplastificante: Adicionar Sikament-N 100 a la mezcla ya preparada, inmediatamente antes de la colocación o bombeo del concreto. Mezclar el concreto con Sikament-N 100 durante 4 minutos.</p> <p>Si la mezcla ha perdido manejabilidad redosifique Sikament-N 100 a la mitad de la dosis inicialmente usada y remezcle. La elaboración de concreto bombeable demanda una granulometría continua y un adecuado contenido de finos en la mezcla. La mezcla debe tener entre 7 y 10 cm de asentamiento antes de aplicar Sikament-N 100 para lograr el mejor efecto fluidificante y minimizar la dosis.</p> <p>Como Reductor de agua de alto poder: Adicionar la dosis escogida de Sikament-N 100 en la última porción del agua de amasado de la mezcla. Reducir agua y trabajar justo con la manejabilidad requerida. Al reducir agua la mezcla pierde manejabilidad muy rápido. Colóquela y vibrela inmediatamente. Puede usarse combinándolo con la dosis adecuada de un plastificante retardante del tipo Plastocrete o Plastiment con el fin de atenuar este fenómeno.</p> <p>Dosificación: Como superplastificante: 0,5 al 1,0% del peso del cemento. Como reductor de agua de alto poder: 1,0 al 3,0% del peso del cemento. La dosis óptima debe determinarse mediante ensayos preliminares.</p>
DATOS TECNICOS	<p>Sikament-N 100 cumple normas ASTM C-494, ASTM C-1017 y NTC 1299 como aditivo tipo F. Densidad: 1,2 kg/l ± 0,02 kg/l</p>
PRECAUCIONES	<p>La elaboración de concreto o mortero fluido exige una buena distribución granulométrica. Se debe garantizar un suficiente contenido de finos para evitar la segregación del material fluido. En caso de deficiencia de finos, dosificar Sika-Aer D para incorporar del 3% al 4% de aire en la mezcla.</p> <p>El uso de concreto fluido demanda un especial cuidado en el sellado de las formaletas para evitar la pérdida de pasta.</p> <p>La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra.</p> <p>Al adicionar Sikament-N 100 para superfluidificar una mezcla con asentamiento menor de 5 cm, el efecto superplastificante se reduce notablemente y se incrementan los requerimientos del aditivo.</p> <p>Cuando se emplea para recuperar la bombeabilidad de una mezcla perdida por demoras en la colocación y se desea plasticidad por más de 1 hora adicional, agregue un plastificante retardante y luego Sikament-N 100 o Sikament-R 100. Los mejores resultados se obtienen cuando los componentes que intervienen en la preparación del concreto cumplen con las normas vigentes.</p> <p>Dosificar por separado cuando se usen otros aditivos en la misma mezcla; si se emplea un plastificante retardante adicionarlo previamente al Sikament-N</p>



	100. El curado del concreto con agua y/o Antisol antes y después del fraguado es indispensable.
MEDIDAS DE SEGURIDAD	Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección en su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto.
PRESENTACION	Tambor: 230 kg o a granel
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE	Un (1) año en sitio fresco y bajo techo, en su envase original, bien cerrado. Para su transporte deben tomarse las precauciones normales de productos químicos.
CODIGOS R/S	R: 22/25 S: 26

NOTA: La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, basadas en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando estos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en las materias, materias y condiciones de la obra son las particularidades que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede de todo garantizar alguna respuesta a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surge de cualquier relación legal. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente. Restricciones locales: Tener en cuenta que como consecuencia de regulaciones específicas locales el funcionamiento de los productos puede variar de un país a otro. Consulte la Hoja de Datos locales para la descripción exacta de los campos de aplicación.



Sika Colombia S.A.
Vereda Canavita - Km 20.5 - Autopista Norte
Tocandá, Cundinamarca
PBX: 8786333 - Fax: 8786660
e-mail: sika_colombia@co.sika.com
web: co.sika.com



Responsabilidad social



ISO 9001



ISO 14001

ANEXO 5
DENSIDAD REAL SUELTA Y COMPACTADA
CEMENTO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 14-0041

Quito, 27 de Junio del 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

CEMENTO: CEMENTO ARMADURO

DENSIDADES	NORMA : ASTM C-188	
DENSIDAD REAL	2,995	gr / cm ³
DENSIDAD SUELTA	1,045	gr / cm ³
DENSIDAD COMPACTADA	1,300	gr / cm ³


 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 14-0042

Quito, 27 de Junio del 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

CEMENTO: CEMENTO ARMADURO

DENSIDADES	NORMA : ASTM C-188	
DENSIDAD REAL	2,990	gr / cm ³
DENSIDAD SUELTA	1,045	gr / cm ³
DENSIDAD COMPACTADA	1,296	gr / cm ³

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 6
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN
ARENA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 14-0033

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 01 de 01

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

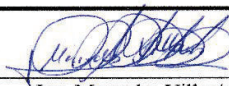
PROYECTO: TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 13 DE JUNIO DE 2014

MUESTRA: AGREGADO FINO

NORMAS: ASTM C128 ; INEN 856, CEPIS VOL. 7-6 CAPITULO 8

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO		
PESO ESPECIFICO :	2,470	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S :	2,577	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE :	2,766	gr/cm ³
ABSORCION DE AGUA :	4,33	%
POROSIDAD	29,59	%


 Ing. Mercedes Villacis

JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 7
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN
RIPIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 14-0034

Quito, 27 de Junio de 2014.

Hoja 01 de 01

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS


PROYECTO: TESIS DE GRADO

CONTRATISTA: 26 DE JUNIO DE 2014

MUESTRA: AGREGADO GRUESO

NORMAS: ASTM C127 ; INEN 857

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECIFICO :	2,627	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S :	2,708	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE :	2,859	gr/cm ³
ABSORCION DE AGUA :	3,09	%
POROSIDAD:	23,18	%


 Ing. Mercedes Villacis

JEFE DE LABORATORIO



Archivo: Peso específico Y ABS 14-0034.xls

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil Mezanine Ofic.: M15. email: laboratoriocivil@epn.edu.ec / Tel.: 2507 - 144 ext.: 2607

ANEXO 8
DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA
ARENA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INF. No. 14-0039

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO FINO

MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1,611	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,770	gr/cm ³

Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INF. No. 14-0040

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO FINO

MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1,605	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,803	gr/cm ³

Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 9
DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA
RIPIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INE. No. 14-0037
 Hoja 1 de 1

Quito, 27 de Junio de 2014

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO GRUESO

MINA: PIFO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1,376	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,452	gr/cm ³

Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DE LABORATORIO





ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INF. No. 14-0038

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO GRUESO

MINA: PIFO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1,342	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,467	gr/cm ³


 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 10
CONTENIDO ORGÁNICO
ARENA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 014-0031

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS
PROYECTO: TESIS DE GRADO
MUESTRA: AGREGADO FINO
MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO
NORMA: ASTM C40
REACTIVO: HIDROXIDO DE SODIO AL 3%

ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO	
Escala Gardner	0



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 014-0032

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO FINO

MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO

NORMA: ASTM C40

REACTIVO: HIDROXIDO DE SODIO AL 3%

ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO	
Escala Gardner	0

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 11
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ARENA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

INF. No. 14-0029

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

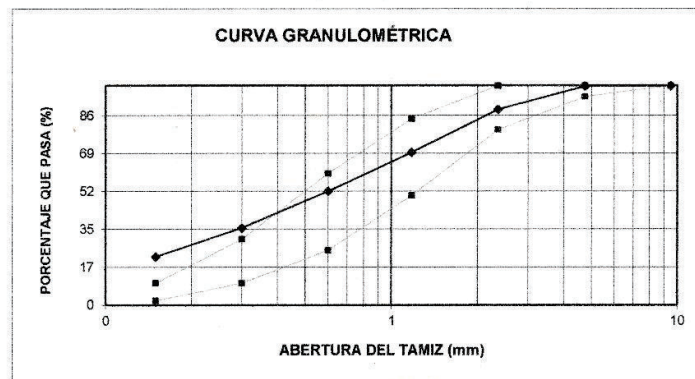
FECHA DE ENSAYO: 12 DE JUNIO DE 2014

MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO

NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8	9,500	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	2,4	0,2	0,2	99,8
8	2,360	104,9	10,5	10,8	89,2
16	1,180	196,0	19,6	30,4	69,6
30	0,600	176,6	17,7	48,1	51,9
50	0,300	167,8	16,8	64,9	35,1
100	0,150	129,5	13,0	77,9	22,1
BANDEJA		220,4	22,1	100,0	0,0
TOTAL		997,6	FINURA	2,32	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DE LABORATORIO



GR-F-14-0029-1

ANEXO 12
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
RIPIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

INF. No. 14-0028

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

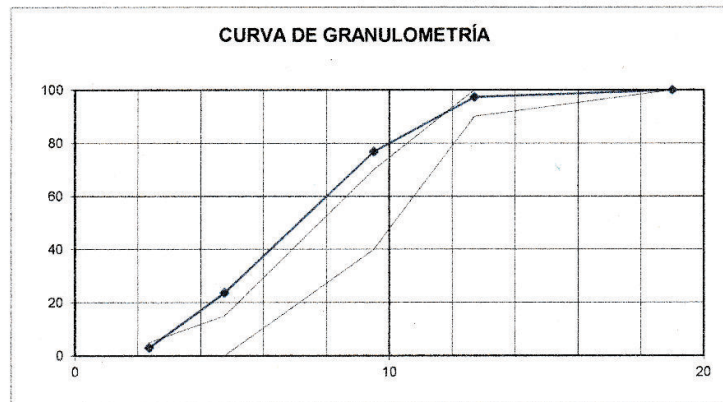
FECHA DE ENSAYO: 12 DE JUNIO DE 2014

MINA: PIFO

NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/4"	19,00	0,0	0	0	100
1/2"	12,70	132,3	3	3	97
3/8"	9,50	1023,9	20	23	77
4	4,75	2653,7	53	76	24
8	2,36	1035,3	21	97	3
BANDEJA		153,7	3	100	0
TOTAL		4998,9	FINURA	6,0	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.




 Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DEL LABORATORIO

GR-G-14-0028

ANEXO 13
CONTENIDO DE HUMEDAD
RIPIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

INF. No. 14-0036

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 01 de 01

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MINA: PIFO

MATERIAL: AGREGADO GRUESO

NORMAS: ASTM C 566, INEN 862

CONTENIDO DE HUMEDAD		
CONTENIDO DE HUMEDAD	1,662	%




Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

ANEXO 14
CONTENIDO DE HUMEDAD
ARENA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

CONTENIDO DE HUMEDAD

INF. No. 14-0035

Quito, 27 de Junio de 2014

Hoja 01 de 01

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS
PROYECTO: TESIS DE GRADO
MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO
MATERIAL: AGREGADO FINO
NORMAS: ASTM C 566, INEN 862

CONTENIDO DE HUMEDAD		
CONTENIDO DE HUMEDAD	2,751	%



 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO

ANEXO 15
ABRASIÓN
RIPIO



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE ABRASIÓN

INF No. 14-0030
Hoja 01 de 01

Quito, 27 de Junio de 2014

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FECHA DE ENSAYO: 12 DE JUNIO DE 2014
MINA: PIFO
NORMA: ASTM C535-09

GRADACIÓN:	C
NÚMERO DE REVOLUCIONES:	500
PESO INICIAL (gr):	5001,5
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ#12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (gr):	4683,10
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (gr):	3627,90
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%):	6,37
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%):	27,46
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,23



 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO

Archivo :ABR14-0030.xls

ANEXO 16
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN
RIPIO (2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 14-0046

Quito, 18 de Noviembre de 2014

Hoja 01 de 01

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

CONTRATISTA: 13 DE NOVIEMBRE DE 2014

MUESTRA: AGREGADO GRUESO D2

NORMAS: ASTM C127 ; INEN 857

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO		
PESO ESPECIFICO :	2,557	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S :	2,633	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE :	2,767	gr/cm ³
ABSORCION DE AGUA :	2,96	%
POROSIDAD:	20,96	%


 Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DE LABORATORIO



Archivo: Peso especifico Y ABS 14-0046.xls

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Ancalucia / Edif. Ing. Civil Mezanina Ofic.: M15, email: laboratoriocivil@epn.edu.ec / Telf.: 2307 - 144 ext.: 2607

ANEXO 17
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN
ARENA (G2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

INF. No. 14-0047

Quito, 18 de Noviembre de 2014

Hoja 01 de 01

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

FECHA DE ENSAYO: 13 DE NOVIEMBRE DE 2014

MUESTRA: AGREGADO FINO D2

NORMAS: ASTM C128 ; INEN 856, CEPIS VOL. 7-6 CAPITULO 8

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO		
PESO ESPECIFICO :	2,545	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S :	2,625	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE :	2,765	gr/cm ³
ABSORCION DE AGUA :	3,11	%
POROSIDAD	21,91	%

Ing. Mercedes Villacís

JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 18
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
RIPIO (G2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

INF. No. 14-0044

Quito, 18 de Noviembre de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

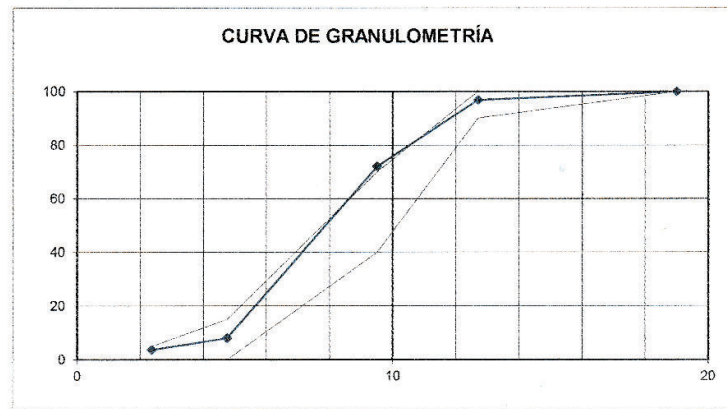
FECHA DE ENSAYO: 11 DE NOVIEMBRE DE 2014

MINA: PIFO D2

NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/4"	19,00	0,0	0	0	100
1/2"	12,70	159,8	3	3	97
3/8"	9,50	1233,1	25	28	72
4	4,75	3203,9	64	92	8
8	2,36	214,6	4	96	4
BANDEJA		185,7	4	100	0
TOTAL		4997,0	FINURA	6,2	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacis
 JEFE DEL LABORATORIO

GR-G-14-0044

ANEXO 19
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ARENA (G2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

INF. No. 14-0043

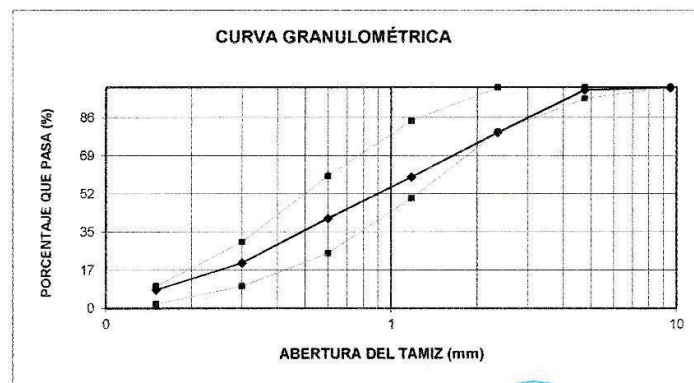
Quito, 18 de Noviembre de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS
PROYECTO: TESIS DE GRADO
FECHA DE ENSAYO: 11 DE NOVIEMBRE DE 2014
MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO DZ
NORMA: INEN 696, ASTM C 33

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8	9,500	0,0	0,0	0,0	100,0
4	4,750	5,5	1,0	1,0	99,0
8	2,360	104,1	19,4	20,4	79,6
16	1,180	108,4	20,2	40,6	59,4
30	0,600	100,3	18,7	59,2	40,8
50	0,300	108,6	20,2	79,4	20,6
100	0,150	65,5	12,2	91,6	8,4
BADEJA		45,1	8,4	100,0	0,0
TOTAL		537,5	FINURA	2,92	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.



Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO

GR-F-14-0043

ANEXO 20
DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA
RIPIO (G2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INF. No. 14-0045

Quito, 18 de Noviembre de 2014

Hoja 1 de 1


SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO GRUESO D2

MINA: PIFO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1,256	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,488	gr/cm ³


 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 21
DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA
ARENA (G2)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DENSIDADES APARENTES

INF. No. 14-0048

Quito, 18 de Noviembre de 2014

Hoja 1 de 1

SOLICITADO: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

MUESTRA: AGREGADO FINO D2

MINA: FUCUSUCU - SAN ANTONIO

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:	1,414	gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,608	gr/cm ³


 Ing. Mercedes Villacís
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 22
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 1 - SIN FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15-0044
Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO MEDIANTE INMERSIÓN - DOSIFICACIÓN 1

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD		ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
				(días)	(mm)			(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	05-ago-14	CILINDRO 2	08-ago-14	3	101	8012	2310	229,38	23,39	28,6	292
2	05-ago-14	CILINDRO 4	08-ago-14	3	101	8012	2340	226,55	23,10	28,3	288
3	05-ago-14	CILINDRO 6	08-ago-14	3	101	8012	2350	253,70	25,87	31,7	323
4	05-ago-14	CILINDRO 2	12-ago-14	7	100	7854	2390	320,83	32,73	40,9	417
5	05-ago-14	CILINDRO 4	12-ago-14	7	100	7854	2370	328,32	33,48	41,8	426
6	05-ago-14	CILINDRO 6	12-ago-14	7	101	8012	2320	322,17	32,85	40,2	410
7	05-ago-14	CILINDRO 1	02-sep-14	28	101	8012	2320	347,08	35,39	43,3	442
8	05-ago-14	CILINDRO 2	02-sep-14	28	100	7854	2350	356,70	36,37	45,4	463
9	05-ago-14	CILINDRO 3	02-sep-14	28	101	8012	2300	357,94	36,50	44,7	456
10	05-ago-14	CILINDRO 2	30-sep-14	56	100	7854	2370	374,21	38,16	47,6	486
11	05-ago-14	CILINDRO 4	30-sep-14	56	101	8012	2340	371,82	37,93	46,4	473
12	05-ago-14	CILINDRO 6	30-sep-14	56	100	7854	2370	370,88	37,83	47,2	482
13	05-ago-14	CILINDRO 2	13-nov-14	100	101	8012	2310	396,96	40,48	49,5	505
14	05-ago-14	CILINDRO 4	13-nov-14	100	101	8012	2340	398,66	40,65	49,8	507
15	05-ago-14	CILINDRO 6	13-nov-14	100	100	7854	2360	394,51	40,23	50,2	512

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 23
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 2 - SIN FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15-0045
Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO MEDIANTE INMERSIÓN - DOSIFICACIÓN 2

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	26-nov-14	CILINDRO 2	29-nov-14	3	101	8012	2370	249,97	25,49	31,2	318
2	26-nov-14	CILINDRO 4	29-nov-14	3	101	8012	2380	249,11	25,40	31,1	317
3	26-nov-14	CILINDRO 6	29-nov-14	3	100	7854	2370	249,78	25,47	31,8	324
4	26-nov-14	CILINDRO 2	03-dic-14	7	101	8012	2360	340,55	34,73	42,5	433
5	26-nov-14	CILINDRO 4	03-dic-14	7	100	7854	2370	344,01	35,08	43,8	447
6	26-nov-14	CILINDRO 6	03-dic-14	7	101	8012	2310	348,65	35,55	43,5	444
7	26-nov-14	CILINDRO 2	24-dic-14	28	100	7854	2370	376,50	38,39	47,9	489
8	26-nov-14	CILINDRO 4	24-dic-14	28	100	7854	2350	366,50	37,37	46,7	476
9	26-nov-14	CILINDRO 6	24-dic-14	28	101	8012	2330	377,56	38,50	47,1	481
10	26-nov-14	CILINDRO 2	21-ene-15	56	101	8012	2340	398,73	40,66	49,8	507
11	26-nov-14	CILINDRO 4	21-ene-15	56	101	8012	2360	397,32	40,52	49,6	506
12	26-nov-14	CILINDRO 6	21-ene-15	56	100	7854	2380	399,42	40,73	50,9	519

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO

ANEXO 24
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 1 - SIN FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15 -0046
 Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

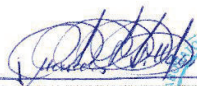
PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO MEDIANTE ENVOLTURA PLÁSTICA - DOSIFICACIÓN 1

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	05-ago-14	CILINDRO 1	08-ago-14	3	100	7854	2330	231.89	23.65	29.5	301
2	05-ago-14	CILINDRO 3	08-ago-14	3	100	7854	2360	232.81	23.74	29.6	302
3	05-ago-14	CILINDRO 5	08-ago-14	3	101	8012	2280	233.22	23.78	29.1	297
4	05-ago-14	CILINDRO 1	12-ago-14	7	101	8012	2330	331.02	33.76	41.3	421
5	05-ago-14	CILINDRO 3	12-ago-14	7	102	8171	2300	307.17	31.32	37.6	383
6	05-ago-14	CILINDRO 5	12-ago-14	7	100	7854	2360	326.88	33.33	41.6	424
7	05-ago-14	CILINDRO 1	02-sep-14	28	100	7854	2370	348.96	35.58	44.4	453
8	05-ago-14	CILINDRO 2	02-sep-14	28	101	8012	2290	353.00	36.00	44.1	449
9	05-ago-14	CILINDRO 3	02-sep-14	28	100	7854	2330	347.74	35.46	44.3	451
10	05-ago-14	CILINDRO 1	30-sep-14	56	100	7854	2340	357.04	36.41	45.5	464
11	05-ago-14	CILINDRO 3	30-sep-14	56	101	8012	2330	362.40	36.96	45.2	461
12	05-ago-14	CILINDRO 5	30-sep-14	56	101	8012	2290	372.74	38.01	46.5	474
13	05-ago-14	CILINDRO 1	13-nov-14	100	101	8012	2320	391.87	39.96	48.9	499
14	05-ago-14	CILINDRO 3	13-nov-14	100	101	8012	2310	394.76	40.25	49.3	502
15	05-ago-14	CILINDRO 5	13-nov-14	100	100	7854	2340	385.44	39.30	49.1	500

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 25
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 2 - SIN FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15-0047
 Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN SIN FIBRA - CURADO MEDIANTE ENVOLTURA PLÁSTICA - DOSIFICACIÓN 2

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD		D	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
				(días)	(mm)				(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	26-nov-14	CILINDRO 1	29-nov-14	3	101	8012	2320	241,69	24,65	30,2	308	
2	26-nov-14	CILINDRO 3	29-nov-14	3	100	7854	2350	251,44	26,64	32,0	326	
3	26-nov-14	CILINDRO 5	29-nov-14	3	100	7854	2320	249,89	25,48	31,8	324	
4	26-nov-14	CILINDRO 1	03-dic-14	7	101	8012	2360	345,73	35,26	43,2	440	
5	26-nov-14	CILINDRO 3	03-dic-14	7	100	7854	2320	323,85	33,02	41,2	420	
6	26-nov-14	CILINDRO 5	03-dic-14	7	101	8012	2320	343,55	35,03	42,9	437	
7	26-nov-14	CILINDRO 1	24-dic-14	28	100	7854	2360	380,73	36,78	45,9	468	
8	26-nov-14	CILINDRO 3	24-dic-14	28	101	8012	2310	364,77	37,20	45,5	464	
9	26-nov-14	CILINDRO 5	24-dic-14	28	100	7854	2340	365,40	37,26	46,5	474	
10	26-nov-14	CILINDRO 1	21-ene-15	56	101	8012	2330	394,31	40,21	49,2	502	
11	26-nov-14	CILINDRO 3	21-ene-15	56	101	8012	2340	390,65	39,84	48,8	497	
12	26-nov-14	CILINDRO 5	21-ene-15	56	100	7854	2350	394,32	40,21	50,2	512	

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 26
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 1 - CON FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15-0048
Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO MEDIANTE INMERSIÓN - DOSIFICACIÓN 1

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA	DESCRIPCIÓN	FECHA	EDAD	D	ÁREA TRANSV.	P. ESPEC.	CARGA		RESISTENCIA	
	FABRICACIÓN		ROTURA					(mm)	(mm ²)	(kg/m ³)	(KN)
1	06-ago-14	CILINDRO 2	09-ago-14	3	100	7854	2350	232,87	23,75	29,6	302
2	06-ago-14	CILINDRO 4	09-ago-14	3	100	7854	2340	238,15	24,29	30,3	309
3	06-ago-14	CILINDRO 6	09-ago-14	3	100	7854	2350	236,91	24,16	30,2	308
4	06-ago-14	CILINDRO 2	13-ago-14	7	100	7854	2320	309,14	31,52	39,4	401
5	06-ago-14	CILINDRO 4	13-ago-14	7	100	7854	2330	309,37	31,55	39,4	402
6	06-ago-14	CILINDRO 6	13-ago-14	7	101	8012	2310	319,72	32,60	39,9	407
7	06-ago-14	CILINDRO 1	03-sep-14	28	102	8171	2320	359,83	36,69	44,0	449
8	06-ago-14	CILINDRO 2	03-sep-14	28	101	8012	2320	356,70	36,37	44,5	454
9	06-ago-14	CILINDRO 3	03-sep-14	28	100	7854	2330	352,06	35,90	44,8	457
10	06-ago-14	CILINDRO 2	01-oct-14	56	100	7854	2290	368,24	37,55	46,9	478
11	06-ago-14	CILINDRO 4	01-oct-14	56	101	8012	2340	365,12	37,23	45,6	465
12	06-ago-14	CILINDRO 6	01-oct-14	56	100	7854	2320	368,65	37,59	46,9	479
13	06-ago-14	CILINDRO 2	14-nov-14	100	100	7854	2310	389,91	39,76	49,6	506
14	06-ago-14	CILINDRO 4	14-nov-14	100	101	8012	2290	398,78	40,66	49,8	508
15	06-ago-14	CILINDRO 6	14-nov-14	100	100	7854	2320	395,25	40,30	50,3	513

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 27
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 2 - CON FIBRA - CURADO POR INMERSIÓN



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15-0049
 Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO MEDIANTE INMERSIÓN - DOSIFICACIÓN 2

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	25-nov-14	CILINDRO 2	28-nov-14	3	100	7854	2350	253,46	25,85	32,3	329
2	25-nov-14	CILINDRO 4	28-nov-14	3	101	8012	2300	250,28	25,52	31,2	319
3	25-nov-14	CILINDRO 8	28-nov-14	3	100	7854	2360	253,17	25,82	32,2	329
4	25-nov-14	CILINDRO 2	02-dic-14	7	100	7854	2350	322,57	32,89	41,1	419
5	25-nov-14	CILINDRO 4	02-dic-14	7	99	7598	2340	316,18	32,24	41,1	419
6	25-nov-14	CILINDRO 8	02-dic-14	7	101	8012	2330	331,07	33,76	41,3	421
7	25-nov-14	CILINDRO 1	23-dic-14	28	102	8171	2310	379,31	38,68	46,4	473
8	25-nov-14	CILINDRO 2	23-dic-14	28	101	8012	2330	369,32	37,66	46,1	470
9	25-nov-14	CILINDRO 3	23-dic-14	28	100	7854	2340	371,36	37,87	47,3	482
10	25-nov-14	CILINDRO 2	20-ene-15	56	101	8012	2300	391,74	39,95	48,9	499
11	25-nov-14	CILINDRO 4	20-ene-15	56	101	8012	2350	391,34	39,91	48,8	498
12	25-nov-14	CILINDRO 8	20-ene-15	56	100	7854	2350	394,22	40,20	50,2	512

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO

ANEXO 28
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 1 - CON FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15-0050
 Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO MEDIANTE ENVOLTURA PLÁSTICA - DOSIFICACIÓN 1

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD		D	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
				(dias)	(mm)				(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	06-ago-14	CILINDRO 1	09-ago-14	3	100	7854	2350	230,60	23,52	29,4	299	
2	06-ago-14	CILINDRO 3	09-ago-14	3	100	7854	2350	256,45	26,15	32,7	333	
3	06-ago-14	CILINDRO 5	09-ago-14	3	100	7854	2340	240,46	24,52	30,6	312	
4	06-ago-14	CILINDRO 1	13-ago-14	7	100	7854	2340	318,98	32,53	40,6	414	
5	06-ago-14	CILINDRO 3	13-ago-14	7	100	7854	2310	304,99	31,10	38,8	396	
6	06-ago-14	CILINDRO 5	13-ago-14	7	100	7854	2320	336,72	34,34	42,9	437	
7	06-ago-14	CILINDRO 1	03-sep-14	28	101	8012	2290	362,89	36,98	45,3	462	
8	06-ago-14	CILINDRO 2	03-sep-14	28	100	7854	2340	353,20	36,02	45,0	459	
9	06-ago-14	CILINDRO 3	03-sep-14	28	102	8171	2290	372,26	37,96	45,6	465	
10	06-ago-14	CILINDRO 1	01-oct-14	56	101	8012	2340	383,81	39,14	47,9	489	
11	06-ago-14	CILINDRO 3	01-oct-14	56	100	7854	2330	371,67	37,90	47,3	483	
12	06-ago-14	CILINDRO 5	01-oct-14	56	100	7854	2340	376,19	38,36	47,9	488	
13	06-ago-14	CILINDRO 1	14-nov-14	100	100	7854	2340	387,52	39,52	49,3	503	
14	06-ago-14	CILINDRO 3	14-nov-14	100	101	8012	2290	398,97	40,68	49,8	508	
15	06-ago-14	CILINDRO 5	14-nov-14	100	100	7854	2330	390,31	39,80	49,7	507	

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 29
COMPRESIÓN DE CILINDROS
DOSIFICACIÓN 2 - CON FIBRA - CURADO POR ENVOLTURA PLÁSTICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 15 -0051
 Hoja 1 de 1

Quito, 28 de Enero de 2015

SOLICITA: CARRERA GISELA - GUACHAMÍN LUIS

PROYECTO: TESIS DE GRADO

ELEMENTO: HORMIGÓN CON FIBRA - CURADO MEDIANTE ENVOLTURA PLÁSTICA - DOSIFICACIÓN 2

NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCION	FECHA ROTURA	EDAD		ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ³)	CARGA		RESISTENCIA	
				(días)	(mm)			(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	25-nov-14	CILINDRO 1	28-nov-14	3	100	7854	2320	241,64	24,64	30,8	314
2	25-nov-14	CILINDRO 3	28-nov-14	3	101	8012	2310	250,23	25,52	31,2	318
3	25-nov-14	CILINDRO 5	28-nov-14	3	100	7854	2340	239,86	24,46	30,5	311
4	25-nov-14	CILINDRO 1	02-dic-14	7	100	7854	2360	330,04	33,66	42,0	429
5	25-nov-14	CILINDRO 3	02-dic-14	7	101	8012	2300	321,05	32,74	40,1	409
6	25-nov-14	CILINDRO 5	02-dic-14	7	100	7854	2350	340,23	34,69	43,3	442
7	25-nov-14	CILINDRO 1	23-dic-14	28	100	7854	2350	376,10	38,35	47,9	488
8	25-nov-14	CILINDRO 3	23-dic-14	28	100	7854	2350	371,62	37,90	47,3	482
9	25-nov-14	CILINDRO 5	23-dic-14	28	100	7854	2320	391,75	39,95	49,9	509
10	25-nov-14	CILINDRO 1	20-ene-15	56	101	8012	2320	393,49	40,13	49,1	501
11	25-nov-14	CILINDRO 3	20-ene-15	56	100	7854	2310	385,08	39,27	49,0	500
12	25-nov-14	CILINDRO 5	20-ene-15	56	100	7854	2350	392,75	40,05	50,0	510

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



ANEXO 30
MÓDULO DE ELASTICIDAD
HORMIGÓN G1SI

ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1SI

MUESTRA	SIN FIBRA INMERSIÓN (SI)	
DIÁMETRO	10,13 cm	
ALTURA	20,00 cm	
ÁREA	80,65 cm ²	
CARGA	DEF. AXIAL *10 ⁻⁶	ESFUERZO
(Kg)	(m/m)	(Kg/cm ²)
0	0	0,00
500	3	6,20
1000	15	12,40
1500	31	18,60
2000	47	24,80
2500	63	31,00
3000	81	37,20
0	0	0,00
500	4	6,20
1000	16	12,40
1500	31	18,60
2000	47	24,80
2500	63	31,00
3000	80	37,20
3500	100	43,40
4000	117	49,60
4500	134	55,80
5000	153	62,00
0	0	0,00
1000	17	12,40
2000	48	24,80
3000	84	37,20
4000	118	49,60
5000	152	62,00
6000	189	74,40
7000	228	86,79
8000	266	99,19
9000	312	111,59
10000	354	123,99
11000	396	136,39
12000	444	148,79
13000	489	161,19
14000	536	173,59
0	0	0,00
2000	50	24,80
4000	129	49,60
6000	209	74,40
8000	288	99,19
10000	383	123,99
12000	458	148,79
14000	554	173,59
	CONTINÚA EN LA	SIGUIENTE HOJA

16000	640	198,39
18000	732	223,19
20000	832	247,99
0	0	0,00
5000	185	62,00
10000	421	123,99
15000	651	185,99
20000	884	247,99
25000	1139	309,98
30000	1399	371,98
35000	1650	433,97
36953	1755	458,19
Carga máxima (Kg)		36953
Módulo Elástico G1SI (Kg/cm2)		280628
Esfuerzo máximo(Kg/cm2)		458

Elaborado por: Carrera Gisela y Guachamín Luis

ANEXO 31
MÓDULO DE ELASTICIDAD
HORMIGÓN G1SE

ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1SE

MUESTRA	SIN FIBRA ENVOLTURA (SE)	
DIÁMETRO	10,07 cm	
ALTURA	19,93 cm	
ÁREA	79,59 cm ²	
CARGA	DEF. AXIAL *10⁻⁶	ESFUERZO
(Kg)	(m/m)	(Kg/cm²)
0	0	0,00
500	4	6,28
1000	12	12,56
1500	24	18,85
2000	38	25,13
2500	53	31,41
3000	69	37,69
0	0	0,00
500	4	6,28
1000	17	12,56
1500	32	18,85
2000	49	25,13
2500	65	31,41
3000	81	37,69
3500	98	43,97
4000	116	50,26
4500	136	56,54
5000	156	62,82
0	0	0,00
1000	16	12,56
2000	49	25,13
3000	85	37,69
4000	122	50,26
5000	161	62,82
6000	203	75,38
7000	251	87,95
8000	301	100,51
9000	353	113,07
10000	405	125,64
11000	458	138,20
12000	512	150,77
13000	568	163,33
14000	628	175,89
0	0	0,00
2000	59	25,13
4000	151	50,26
6000	243	75,38
8000	332	100,51
10000	423	125,64
12000	519	150,77
14000	609	175,89
16000	720	201,02
	CONTINÚA EN LA	SIGUIENTE HOJA

18000	828	226,15
20000	929	251,28
0	0	0,00
5000	207	62,82
10000	469	125,64
15000	699	188,46
20000	944	251,28
25000	1182	314,10
30000	1414	376,92
35000	1650	439,74
35877	1847	450,75
Carga máxima (Kg)		35877
Módulo Elástico G1SE (Kg/cm2)		266222
Esfuerzo máximo(Kg/cm2)		451

Elaborado por: Carrera Gisela y Guachamín Luis

ANEXO 32
MÓDULO DE ELASTICIDAD
HORMIGÓN G1C1

ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1C1

MUESTRA	CON FIBRA INMERSIÓN (CI)	
DIÁMETRO	10,07 cm	
ALTURA	19,97 cm	
ÁREA	79,59 cm ²	
CARGA	DEF. AXIAL *10⁻⁶	ESFUERZO
(Kg)	(m/m)	(Kg/cm²)
0	0	0,00
500	2	6,28
1000	12	12,56
1500	25	18,85
2000	40	25,13
2500	55	31,41
3000	70	37,69
0	0	0,00
500	3	6,28
1000	13	12,56
1500	28	18,85
2000	43	25,13
2500	59	31,41
3000	75	37,69
3500	92	43,97
4000	108	50,26
4500	126	56,54
5000	143	62,82
0	0	0,00
1000	13	12,56
2000	42	25,13
3000	76	37,69
4000	112	50,26
5000	146	62,82
6000	182	75,38
7000	224	87,95
8000	264	100,51
9000	304	113,07
10000	348	125,64
11000	393	138,20
12000	440	150,77
13000	488	163,33
14000	539	175,89
0	0	0,00
2000	45	25,13
4000	126	50,26
6000	211	75,38
8000	305	100,51
10000	387	125,64
12000	468	150,77
14000	554	175,89
16000	653	201,02
	CONTINÚA EN LA	SIGUIENTE HOJA

18000	742	226,15
20000	838	251,28
0	0	0,00
5000	199	62,82
10000	415	125,64
15000	643	188,46
20000	858	251,28
25000	1081	314,10
30000	1290	376,92
35000	1505	439,74
36450	1561	457,95
Carga máxima (Kg)		36450
Módulo Elástico G1CI (Kg/cm2)		292775
Esfuerzo máximo(Kg/cm2)		458

Elaborado por: Carrera Gisela y Guachamín Luis

ANEXO 33
MÓDULO DE ELASTICIDAD
HORMIGÓN G1CE

TABLA 6.28. ENSAYO DE CARGA Y DESCARGA PARA HORMIGÓN G1CE

MUESTRA	CON FIBRA ENVOLTURA (CE)	
DIÁMETRO	10,03 cm	
ALTURA	19,93 cm	
ÁREA	79,07 cm ²	
CARGA	DEF. AXIAL *10 ⁻⁶	ESFUERZO
(Kg)	(m/m)	(Kg/cm ²)
0	0	0,00
500	1	6,32
1000	7	12,65
1500	15	18,97
2000	24	25,30
2500	33	31,62
3000	43	37,94
0	0	0,00
500	2	6,32
1000	11	12,65
1500	21	18,97
2000	32	25,30
2500	43	31,62
3000	53	37,94
3500	63	44,27
4000	73	50,59
4500	84	56,91
5000	96	63,24
0	15	0,00
2000	37	25,30
3000	61	37,94
4000	87	50,59
5000	112	63,24
6000	138	75,89
7000	165	88,53
8000	193	101,18
9000	223	113,83
10000	255	126,48
11000	287	139,12
12000	321	151,77
13000	356	164,42
14000	395	177,07
0	0	0,00
2000	40	25,30
4000	96	50,59
6000	158	75,89
8000	223	101,18
10000	288	126,48
12000	354	151,77
14000	424	177,07
16000	505	202,36
	CONTINÚA EN LA	SIGUIENTE HOJA

18000	600	227,66
20000	689	252,95
0	0	0,00
5000	139	63,24
10000	323	126,48
15000	514	189,71
20000	718	252,95
25000	923	316,19
30000	1119	379,43
35000	1322	442,66
36989	1519	467,82
Carga máxima (Kg)		36989
Módulo Elástico G1CE (Kg/cm2)		311213
Esfuerzo máximo(Kg/cm2)		468

Elaborado por: Carrera Gisela y Guachamín Luis