



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

UNIVERSIDAD DE CUENCA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES SEGUNDA COHORTE

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
MAGISTER EN CONSTRUCCIONES (MSc)

AUTOR: ING. MARLON JONATHAN ESPINOZA CARVAJAL

DIRECTOR: MSC. ARQ. KENNY JOEL ESPINOZA CARVAJAL

Cuenca, Octubre de 2015



RESUMEN

El tema de investigación que a continuación vamos a describir se centra en el estudio de la incorporación de fibras naturales a una matriz de cemento. Primeramente se evaluó el Estado del Arte, verificando la existencia de estudios que tenga similitud con el tema y sirvan de referentes.

Ya en campo empezamos con la recolección de la fibra natural en el Ingenio Monterrey, (MALCA), luego se procede con el aislamiento de la fibra por un tiempo no mayor a tres meses, esto ayuda a que la fibra tenga un proceso de secado natural, para evitar que insectos y bichos degraden el bagazo. Transcurrido este tiempo se procedió con el curado de la fibra natural para evitar su degradación y conseguir que sea repelente al agua bajando su porcentaje de absorción. Terminado este proceso, continuamos con los ensayos de caracterización de los agregados y cemento, con los datos obtenidos en laboratorio se procede al diseño de la mezcla patrón. El reajuste de la mezcla patrón se da por falta de fluidez en la cochada. Se elaboran los especímenes de prueba, para posteriormente ensayarlos en laboratorio. Ya cumplido los requerimientos y prestaciones del diseño, procedemos a la incorporación de fibras en porcentajes del 1.50, 2.50, 5.00 y 8.00 con relación al volumen de la mezcla a fabricar.

Se elabora los especímenes para cada porcentaje de fibra y posteriormente se los ensaya en laboratorio para obtener los valores de las resistencias tanto a compresión simple, como a tracción por flexión. Con estos datos evaluamos que características y particularidades tiene los diferentes concretos con su porcentaje de fibra. Por último se calcula el costo de producción de un Concreto Reforzado con Fibra Natural (CRFN), y lo comparamos con el costo de producción de un Concreto reforzado con fibras sintéticas.

Palabras clave: hormigón reforzado con fibra, fibra natural, propiedades mecánicas, tensión, compresión, flexión, dureza.



ABSTRACT

The topic of the research that we are now going to describe focuses on the study of the incorporation of natural fibers to a cement matrix. First of all the state of art was assessed to verify the existence of studies with similarities with the topic that might serve as references.

Already in the field, we began with the collection of natural fiber in the Monterrey mill, (MALCA). Then we proceeded with the isolation of the fiber for a period not longer than three months; this period of time helps the fiber to have a natural drying process in order to prevent insects and bugs to degrade the bagasse. After this time, we proceeded with the curing of the natural fiber to avoid its degradation and to make it water-repellent by lowering the absorption rate. Once this process has been completed, we continue with the characterization testing of the aggregates and the cement. With the data obtained in the laboratory we designed the standard mixture. The readjustment of the standard mixture is given by the lack of fluency in the mixture. The testing specimens are being developed for later testing at the laboratory. Once the requirements and benefits of the design are fulfilled, we proceed to the incorporation of fibers in percentages of the 1.50, 2.50, 5.00 and 8.00 in relation to the volume of the mixture to be manufactured.

The specimens for each percentage of fiber are elaborated and they are subsequently tested at the laboratory in order to obtain the resistance values both to single compression and to traction by flexing. With these data we evaluate which features and peculiarities the different concretes have with their fiber rates. Finally, the production cost of a concrete reinforced with natural fiber (CRFN) is calculated, and compared to the production cost of a concrete reinforced with synthetic fibers.

Keywords: fiber reinforced concrete, natural fiber, mechanical properties, compression, tension, flexion, hardness.



INDICE

PORTADA.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
INDICE.....	iv
CLAÚSULAS.....	xvii
DEDICATORIA	
CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTOS.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5 HIPÓTESIS.....	6
1.6 METODOLOGÍA.....	6
1.6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
1.6.2 IDENTIFICACIÓN DEL MÉTODO CORRECTO PARA PROTEGER LA FIBRA DE LA ALCALINIDAD DEL CEMENTO.....	7
1.6.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES PÉTREOS A SER UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO.....	7
1.6.4 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA.....	8
1.6.5 ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y RETRACCIÓN.....	8
1.6.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	9
CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 MARCO CONTEXTUAL HISTÓRICO.....	14



2.2.1	INTRODUCCIÓN.....	14
2.2.2	ANTECEDENTES	16
2.2.3	CONSOLIDACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL.....	17
2.3	HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS NATURALES	18
2.3.1	DEFINICIÓN.....	18
2.3.2	TIPOS DE FIBRAS.....	18
2.3.2.1	Según su tamaño	18
2.3.2.2	Según su origen	19
2.3.2.3	Según el uso en la construcción	20
2.3.3	FIBRAS NATURALES DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR .	20
2.3.3.1	Características físicas del bagazo de caña de azúcar	21
2.3.3.2	Proceso de control de degradación de las fibras naturales.....	22
2.3.3.3	Investigaciones desarrolladas para el control de degradación de las fibras.....	24
2.3.4	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN CON FIBRAS	26
2.3.4.1	Resistencia a la tracción	26
2.3.4.2	Resistencia a la flexión.....	26
2.3.4.3	Resistencia al impacto.....	26
2.3.4.4	Resistencia a la compresión.....	26
2.3.4.5	Tenacidad.....	27
2.3.5	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CRFN.....	27
2.3.6	ENSAYOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA ORIENTACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LAS FIBRAS	28
2.3.7	ELABORACIÓN.....	28
2.3.7.1	Elementos.	29
2.3.7.2	Dosificación de los elementos.....	31
2.3.7.3	Mezclado y Vaciado.....	31
2.4	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN.....	32
2.4.1	ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C 39. (NTE INEN 1573:2010)	32
2.4.1.1	Equipo.....	33
2.4.1.2	Muestra.....	34
2.4.1.3	Procedimiento.....	34
2.4.1.4	Cálculos	36
2.4.1.5	Tipo de Fallas	36



2.4.2 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO NORMA ASTM C 78. (NTE INEN 2554:2011)	37
2.4.2.1 Equipo	37
2.4.2.2 Ensayos	38
2.4.2.3 Procedimiento	38
2.4.2.4 Medición del Espécimen luego del ensayo	39
2.4.2.5 Cálculos	40
2.4.2.6 Informe de resultados	40
2.4.2.7 Precisión y desviación	41
2.4.3 ENSAYO NORMADO PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C 496.....	42
2.4.3.1 Significado y uso	42
2.4.3.2 Equipos	43
2.4.3.3 Especímenes de ensayo	43
2.4.3.4 Procedimiento	44
2.4.3.5 Cálculos	46
2.4.3.6 Informe de resultados	46
2.4.3.7 Precisión y Tendencia	46
2.5 APLICACIÓN DEL CRF	47
2.5.1 PAVIMENTOS.....	47
2.5.1.1 Resistencia a flexo tracción	47
2.5.1.2 Resistencia a fatiga	48
2.5.1.3 Trabajabilidad	48
2.5.1.4 Mínima retracción	48
2.5.2 TÚNELES	49
2.5.3 USOS DIVERSOS.....	49
2.6 NORMATIVA EXISTENTE REFERENTE AL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF).....	49
CAPÍTULO 3.- LAS FIBRAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO	53
3.1 EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS.....	53
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS COMO REFUERZO PARA EL CONCRETO DE ACUERDO AL ACI 544.1R-96	54
3.2.1 CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (CRFA)	54



3.2.2	CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (CRFG)	54
3.2.3	CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA (CRFSN)	55
3.2.4	CONCRETO REFORZADO CON FIBRA NATURAL (CRFN)	56
3.2.4.1	Procesado de fibras naturales	57
3.2.4.2	Fibra de bagazo de la caña de azúcar	58
3.3	PROCEDENCIA Y PREPARACIÓN DE LAS FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	58
3.3.1	ORIGEN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR UTILIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN	58
3.3.2	UBICACIÓN DEL INGENIO	58
3.3.3	PROCEDENCIA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	58
3.3.4	PREPARACIÓN DE LAS FIBRAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	60
3.3.4.1	Proceso de tamizado del bagazo	60
3.3.4.2	Proceso para el control de degradación de las fibras del bagazo de caña de azúcar	61
CAPÍTULO 4.- ENSAYOS DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE PARA EL DISEÑO DE CONCRETO		
4.1	PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS	63
4.1.1	UBICACIÓN DE LA CANTERA	63
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS	63
4.2.1	TIPOLOGÍA DE AGREGADOS	64
4.2.2	MUESTREO	65
4.2.3	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS	66
4.2.4	PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	68
4.2.5	DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS	71
4.2.6	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	73
4.2.7	ABRASIÓN	75
4.2.8	CONTENIDO ORGÁNICO EN ARENA	76
4.3	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP SELVALEGRE	77
4.3.1	INTRODUCCIÓN	77
4.3.2	DENSIDAD REAL	78



4.3.3	CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO	79
4.3.4	TIEMPOS DE FRAGUADO	80
4.4	IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA	81
4.5	RESUMEN DE ENSAYOS	82
CAPÍTULO 5.- DISEÑO DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI DE LA MUESTRA PATRÓN Y DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES		
5.1	MÉTODO DE DISEÑO DEL ACI.....	89
5.1.1	MÉTODO DEL ACI.....	90
5.1.1.1	Selección del revenimiento	91
5.1.1.2	La elección del tamaño máximo del agregado	91
5.1.1.3	Contenidos de agua recomendables.....	92
5.1.1.4	Relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días	92
5.1.1.5	El contenido de cemento.....	93
5.1.1.6	Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto	93
5.1.1.7	Volumen del agregado fino	94
5.1.1.8	Corrección por contenido de humedad	94
5.1.1.9	Ajustes a las mezclas de prueba	95
5.2	DOSIFICACIÓN PARA LA MUESTRA PATRÓN	95
5.2.1	PROCESO DE DOSIFICACIÓN	97
5.2.1.1	Comprobación de idoneidad de los materiales a utilizarse ...	97
5.2.1.2	Información para Diseño de Mezcla de prueba	98
5.2.1.3	Diseño de dosificación de materiales ($f'c= 21$ MPa)	99
5.2.2	AJUSTE A LA DOSIFICACIÓN DE PRUEBA.....	101
5.2.3	RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN y A LA FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PRUEBA	102
5.2.4	RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PRUEBA	103
5.3	CONCENTRACIONES DE FIBRA.....	105
5.3.1	PLANTEAMIENTO DE CONCENTRACIONES DE FIBRA PARA MUESTRAS DE PRUEBA	105
5.3.2	PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN DE PRUEBA Y ADICIÓN DE FIBRAS	106



5.3.2.1	Incorporación a la matriz de cemento del 1,5% de fibra natural	106
5.3.2.2	Incorporación a la matriz de cemento del 2,5% de fibra natural	107
5.3.2.3	Incorporación a la matriz de cemento del 5,0% de fibra natural	108
5.3.2.4	Incorporación a la matriz de cemento del 8,0% de fibra natural	109
5.3.3	RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN y TRACCIÓN por FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PRUEBA	110
5.3.3.1	Especímenes de Muestra Patrón.....	110
5.3.3.2	Especímenes de CRFN con 1,50% de fibra	112
5.3.3.3	Especímenes de CRFN con 2,50% de fibra	113
5.3.3.4	Especímenes de CRFN con 5,00% de fibra	114
5.3.3.5	Especímenes de CRFN con 8,00% de fibra	115
CAPÍTULO 6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS		117
6.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	117
6.2	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN	118
6.3	DENSIDAD DEL CONCRETO	120
6.4	RELACIÓN F^c VS MR.....	121
6.5	RELACIÓN COSTO FIBRA NATURAL VS FIBRA SINTÉTICA	122
CAPÍTULO 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		127
7.1	SOBRE LO IMPORTANTE DE REALIZAR LA INVESTIGACIÓN.....	127
7.2	SOBRE EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CRFN.....	127
7.3	SOBRE EL PROCESO DE PROTECCIÓN DE DEGRADACIÓN DE LAS FIBRAS	128
7.4	SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	129
7.5	SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO REFORZADO.....	129
7.6	SOBRE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CRFN CON RESPECTO A SU RESISTENCIA	130
7.7	SOBRE EL COSTO DE UN CONCRETO REFORZADO CON FIBRA NATURAL, SINTÉTICA Y DE ACERO.....	131



7.8 SOBRE EL USO SOSTENIBLE DE LA FIBRA NATURAL 131

BIBLIOGRAFÍA	133
ANEXOS	137
DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS	137
AJUSTE A LA DOSIFICACIÓN DE LA MUESTRA PATRÓN	137
DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 1,5% DE FIBRA	139
DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 2,5% DE FIBRA	142
DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 5,0% DE FIBRA	144
DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 8,0% DE FIBRA	147
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	151
GRANULOMETRÍAS.....	151
FOTOGRAFÍAS DE LOS ESPECÍMENES DE CRFN.....	167

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición física del Bagazo de Caña.	21
Tabla 2. 2 Propiedades de la Fibra del Bagazo de Caña.	22
Tabla 2.3 Clasificación de ensayos de comprobación de dosificaciones y orientaciones para concreto reforzado con fibras (CRF).....	29
Tabla 2.4 Tolerancia permisible de tiempo de ensayo.....	35
Tabla 2.5 Factor de corrección según la relación L/D.....	36
Tabla 3.1 Propiedades de las fibras sintéticas	56
Tabla 3.2 Propiedades típicas de las fibras naturales.....	57
Tabla 3.3 Datos informativos del Ingenio Azucarero MALCA.....	59
Tabla 3.4 Datos obtenidos del tamizado del bagazo de caña de azúcar.	61
Tabla 4.1 Pesos recomendados según el tamaño nominal del agregado.	65
Tabla 4.2 Ensayo de granulometría de agregado fino	67



Tabla 4.3 Ensayo de granulometría de agregado grueso.....	68
Tabla 4.4 Densidad del agregado fino en estado sss.	69
Tabla 4.5 Densidad del agregado grueso en estado sss.....	70
Tabla 4.6 Capacidad de absorción del agregado fino.....	70
Tabla 4.7 Capacidad de absorción del agregado grueso	71
Tabla 4.8 Densidad aparente del agregado grueso.....	72
Tabla 4.9 Densidad aparente del agregado fino	72
Tabla 4.10 Contenido de humedad del agregado fino	74
Tabla 4.11 Contenido de humedad del agregado fino	74
Tabla 4.12 Ensayo de abrasión	75
Tabla 4.13 Ensayo de Densidad Real del Cemento.	78
Tabla 4.14 Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.	79
Tabla 4.15 Ensayo de Tiempos de Fraguado.	80
Tabla 4.16 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Fino	83
Tabla 4.17 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Fino	84
Tabla 4.18 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Grueso	85
Tabla 4.19 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Grueso	86
Tabla 4.20 Resumen De Propiedades Físicas Del Cemento	87
Tabla 5.1 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.....	91
Tabla 5.2 Cantidades aproximadas de agua de amasado en kilogramos.....	92
Tabla 5.3 Relación agua/cemento en peso con respecto al f'c.....	93
Tabla 5.4 Volumen del agregado grueso compactado en seco para 1 m ³ con relación al módulo de finura de la arena	94
Tabla 5.5 Resumen de las propiedades del Agregado Fino.....	96



Tabla 5.6 Resumen de las propiedades del Agregado Grueso	96
Tabla 5.7 Resumen de las propiedades del Cemento	97
TABLA 5.8 Corrección de la granulometría del agregado fino	97
Tabla 5.9 Requisitos de la resistencia a la compresión cuando no se disponen de datos estadísticos.	98
Tabla 5.10 Información básica para el diseño de Concreto.....	98
Tabla 5.11 Diseño de la mezcla patrón por el método del ACI concreto sin aire incorporado.....	99
Tabla 5.12 Corrección de Diseño de la mezcla patrón por el método del ACI concreto sin aire incorporado	102
Tabla 5.13 Ensayos de resistencia a la compresión en especímenes de prueba	103
Tabla 5.14 Resistencia Promedio Requerida a Tracción por Flexión (MRr) Cuando la Desviación Estándar es Desconocida	104
Tabla 5.15 Fórmulas para la correlación entre $f'c$, f_t y MR	104
Tabla 5.16 Ensayos de resistencia a la tracción por flexión en especímenes de prueba	105
Tabla 5.17 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 1,5% de fibra natural.....	106
Tabla 5.18 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 2,5% de fibra natural.....	107
Tabla 5.19 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 5,0% de fibra natural.....	108
Tabla 5.20 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 8,0% de fibra natural.....	109
Tabla 5.21 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de Muestra Patrón.....	111



Tabla 5.22 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de	112
CRFN con 1,5% de fibra	112
Tabla 5.23 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 2,5% de fibra	113
Tabla 5.24 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 5,00% de fibra	114
Tabla 5.25 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 8,00% de fibra	115
Tabla 6.1 Relación Resistencia a la compresión vs % de fibra	117
Tabla 6.2 Relación Resistencia a la tracción por flexión vs % de fibra	118
Tabla 6.3 Relación densidad del concreto vs % de fibra	120
Tabla 6.4 Relación resistencia a la compresión vs resistencia a la tracción por flexión	121
Tabla 6.5 Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra natural	123
Tabla 6.6 Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra sintética	124
Tabla 6.7 Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra de acero.	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Clasificación de las fibras por su origen. (Simbaña, 2002) 19



Figura 2.2 Curva Característica Carga vs. Deflexión en concretos reforzados con fibras.	27
Figura 2.3 Carga vs. Deflexión en probetas prismáticas con incorporación de fibras y el elemento patrón sin fibras. (ACI 544-1R, 2009).....	28
Figura 2.4 Prensas digital para rotura de cilindros de concreto. Fuente: http://schiller.com.ec/concreto/	33
Figura 2.5 Capeo con Azufre y Almohadillas no adherentes de neopreno y rotura de cilindros. (INECYC I. E., 2009)	34
Figura 2.6 Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura. (ASTM C39, 2015)	36
Figura 2.7 Accesorio de flexión de Cambio Rápido ASTM C-78, C-293; AASHTO T-97	37
Figura 2.8 Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre. (NTE INEN 2554, 2011)	38
Figura 2.9 Aplicación de carga a espécimen. (INECYC I. E., 2009) ..	38
Figura 2.10 EL Plato 37-5420 Ensamble divisor del cilindro. http://schiller.com.ec/concreto/	43
Figura 2.11 Vistas generales de un aparato adecuado para marcar diámetros extremos utilizados para alineación del espécimen en la máquina de ensayos. (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)	44
Figura 2.12 Aplicación de carga para el ensayo de tracción indirecta de especímenes cilíndricos. (INECYC I. E., 2009)	45
Figura 2.13 Descripción de los esfuerzos actuantes en el ensayo. (INECYC I. E., 2009).....	46
Figura 2.14 Pavimento “Fercam” sin Juntas de retracción. (Bekaert, 2000).	48
Figura 2.15 Pavimento de la terminal de contenedores en el puerto de Astakos. (Bekaert, 2003).....	48



Figura 3.1 Superficie de fractura de Concretos Reforzados con Fibras de Acero. (544.1R, 2002, p. 8).....	54
Figura 3.2 Ubicación del Ingenio Azucarero MALCA. http://www.malca.ec/informes/index.php/corporativo/ubicación-geográfica	58
Figura 3.3 Proceso de obtención de Azúcar. http://www.taringa.net/posts/imagenes/10459620/Todo-sobre-la-Caña-de-Azúcar.html	59
Figuras 3.4 Proceso de muestreo y pesado de las fibras de bagazo de caña. Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.	60
Figuras 3.5 Proceso de tamizado de las fibras de bagazo de caña. Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.	60
Figuras 3.6 Proceso de tamizado y pesado de las fibras de bagazo de caña. Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.	61
Figuras 3.7 Proceso para el control de degradación de las fibras de bagazo de caña. Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.	62
Figura 4.1 Cantera CONSTRUARENAS CIA. LTDA. Fuente: Google Earth.	63
Figura 4.2 Ubicación Geográfica CONSTRUARENAS CIA. LTDA. Fuente: Google Earth.	63
Figura 4.3 Muestreo de los agregados cantera CONSTRUARENAS CIA. LTDA. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.....	65
Figura 4.4 Ensayo de granulometría agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.....	66
Figura 4.5 Grafica granulométrica agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.....	67
Figura 4.6 Grafica granulométrica agregado grueso. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.....	68
Figura 4.7 Ensayo de densidad de volumen en estado sss y capacidad de absorción del agregado grueso. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.	69



Figura 4.8 <i>Ensayo de densidad de volumen en estado sss y capacidad de absorción del agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	70
Figura 4.9 <i>Ensayo de densidad aparente del agregado grueso. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	71
Figura 4.10 <i>Ensayo de densidad aparente del agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	72
Figura 4.11 <i>Ensayo de Abrasión. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	75
Figura 4.12 <i>Ensayo de Colorimetría. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	76
Figura 4.13 <i>Densidad Real del Cemento. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	78
Figura 5.1 <i>Curva granulométrica agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	97
Figura 5.2 <i>Proceso de fabricación de la mezcla patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	101
Figura 5.3 <i>Proceso de verificación del revenimiento de la mezcla patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	102
Figura 5.4 <i>Ensayo de Resistencia a la Compresión de la muestra patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	103
Figura 5.5 <i>Ensayo de Resistencia a la Tracción por flexión de la muestra patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	104
Figura 5.6 <i>Adicionamiento de fibra a la muestra patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	106
Figura 6.1 <i>Ensayo de compresión de los especímenes de prueba. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	117
Figura 6.2 <i>Ensayo de tracción por flexión de los especímenes de prueba. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	118
Figura 6.3 <i>Ensayo de tracción por flexión de los especímenes de prueba. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.</i>	119



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Marlon Jonathan Espinoza Carvajal, autor de la tesis “COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGISTER EN CONSTRUCCIONES. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 29 de Octubre de 2015

Marlon Jonathan Espinoza Carvajal

C.I: 1714853932



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Marlon Jonathan Espinoza Carvajal, autor de la tesis "COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 29 de octubre de 2015

Marlon Jonathan Espinoza Carvajal

C.I: 1714853932



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Dedico este trabajo a Dios, a mi familia, de manera especial a mi esposa Ruby, mi alma gemela y a mi amado hijo Gabrielito que aunque físicamente no estas a mi lado, siempre estas en mi pensamiento; a mis Padres por su amor incondicional y a mis hermanos por ser mis mejores amigos.

Agradezco a todos ustedes, amigos, que me dieron ánimo para continuar y culminar este trabajo de investigación, a ustedes, cuando creí que ya nada era importante. Muchas gracias a todos.

Mi agradecimiento total al Director de Tesis, que dedicó gran parte de su tiempo al desarrollo de esta investigación. Agradezco también a la Directora del Laboratorio de Materiales de construcción de la EPN, por permitirme realizar los ensayos de laboratorio y asesorar de forma acertada durante el desarrollo de la investigación.

A todos gracias

Marlon



COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

CAPÍTULO 1.- LINEAMIENTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El hormigón reforzado con fibras ha sido considerado durante largo tiempo como un material "prometedor", pero en años recientes parece que se ha logrado un progreso real.

Se usan una variedad de fibras para lograr diversos objetivos en situaciones estructurales diferentes. La búsqueda de composiciones alternativas de hormigón puede tener también una base completamente diferente; en muchos países se imponen restricciones sobre la extracción de grava y arena para el hormigón. En estos países existe mucho interés en el uso de materiales reciclados.

La tesis planteada pretende contribuir con el desarrollo sostenible y la posibilidad de utilizar materiales reciclados alternativos de construcción, que permitan bajar los niveles de extracción de materiales tradicionales como son los agregados fino y grueso, y a su vez continuar con la investigación en el campo de los materiales que nos permitan no solamente reducir el costo, sino más bien que brinden la seguridad en cuanto a sus propiedades y necesidades de resistencia de acuerdo a su uso.

Se realizarán ensayos para determinar la resistencia a la tracción por flexo tracción en probetas de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar.

La metodología a ser utilizada será: Determinar el estado del arte de la adición de las fibras naturales en el hormigón. Definir que método se adoptará para la mineralización de las fibras, para protegerlas de la alcalinidad del cemento. Luego de esto se procederá con el diseño de una mezcla de Hormigón para un $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ la cual servirá como mezcla patrón para realizar la incorporación de los porcentajes



propuestos de bagazo de caña de azúcar con relación al volumen; el diseño se lo realizará bajo el MÉTODO DEL ACI - CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO. Se fabricarán probetas de acuerdo con la dosificación determinada en el diseño de la mezcla (agua, cemento, arena y grava) adicionando las fibras de bagazo retenidas por el tamiz #8 (2,36 mm), cuyo porcentaje de fibras en relación con el volumen de la muestra se adiciona para cada caso el 1.50, 2.50, 5.00 y 8.00 %. Para determinar la resistencia a la tracción nos regimos con la norma ASTM C 78 (Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Tracción por Flexión del Hormigón), ya que esta norma establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas con cargas a un tercio, ensayadas según la norma ASTM C 192 – 90 a (Práctica Estándar para Hacer y Curar Especímenes de Ensayo para Laboratorio).

Los resultados a obtener permitirán determinar el porcentaje adecuado de fibra natural que se debe incorporar a la mezcla para desarrollar la mejor resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibra natural.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La búsqueda de composiciones alternativas de hormigón está justificada por muchas razones. Los hormigones de alta resistencia permiten una reducción del peso de la estructura y al mismo tiempo mejoran su durabilidad.

Actualmente se están utilizando fibras de varias formas y tamaños fabricadas con acero, plástico, vidrio y materiales naturales; sin embargo, para la mayoría de los objetivos estructurales y no estructurales, la fibra de acero es la más comúnmente usada de todas. (Ibid, 2009)

A partir de que las fibras de asbesto fueron relacionadas con potenciales peligros para la salud, se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionarán al concreto las propiedades tan favorables que el asbesto le daba, además de ser competitivos en calidad y precio. (Juarez, Rodriguez, & Rivera, 2004)



Durante un período muy largo la resistencia del hormigón ha sido considerada como el factor determinante para su calificación; se suponía que todas las otras propiedades estaban relacionadas con ella. Ahora, sin embargo, se formulan en forma creciente criterios de desempeño, independientemente de la resistencia. Se acepta ahora que se pueden obtener ciertas propiedades predefinidas adaptando la composición de la mezcla; ha comenzado la era de los hormigones "a medida".

A nivel mundial existe una verdadera preocupación por el constante deterioro del medio ambiente y sus recursos. En medio de las actividades industriales, la actividad de la construcción es la mayor consumidora de recursos naturales, como por ejemplo la madera, minerales, agua y energía. Así mismo, las edificaciones ya construidas, siguen siendo una causa de contaminación directa por ser productoras de emisiones que ocasionan un impacto directo sobre el territorio, y una fuente indirecta de consumo de energía y agua que son necesarios para su adecuado funcionamiento. Es por esto la necesidad de analizar alternativas que permitan bajar los efectos perjudiciales de esta actividad humana cada vez mayor.

En términos estadísticos, se puede decir que el sector de la Construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados. (Anink, Boonstra, & Mak, 1996)

La mitad de los materiales empleados en la industria de la Construcción proceden de la corteza terrestre, produciendo anualmente en el ámbito de la Unión Europea (UE) 450 millones de toneladas de residuos de la construcción y demolición (RCD); esto es, más de una cuarta parte de todos los residuos generados. Este volumen de RCD aumenta constantemente, siendo su naturaleza cada vez más compleja a medida que se diversifican los materiales utilizados. Este hecho limita las posibilidades de reutilización y reciclado de los residuos, que en la actualidad es sólo de un 28% (en el caso de España, un 5%), lo que aumenta la necesidad de crear vertederos y de intensificar la extracción de materias primas (Symonds, Argus, Cowi, & Prc Brouwcentrum, 1999).



La fase de extracción y procesado de materias primas constituye la etapa más impactante, dado que la extracción de rocas y minerales industriales se lleva a cabo a través de la minería a cielo abierto, en sus dos modalidades: las canteras y las graveras.

Es verdad que al explotar las materias primas y en el proceso de fabricación de los materiales de construcción, se generan un alto coste energético y medioambiental. Estamos claros que cambiar el sistema actual de construcción no resulta nada fácil y concientizar sobre la utilización racional de los recursos naturales, es tarea de todos los involucrados en el campo de la construcción.

El concreto es el segundo material de mayor consumo luego del agua, se producen entre 2 y 3 toneladas de hormigón/persona/año en países industrializados y para el 2020 se calcula un incremento de la demanda de entre el 30 y 85% en países emergentes. La sostenibilidad del hormigón afecta a la sostenibilidad del planeta. (Caram, 2012)

Su uso a nivel global es masivo, por lo tanto es el principal responsable de los impactos producidos por la construcción, por lo tanto al contribuir con mejoras de las prestaciones medioambientales en las materias primas, se tendrá una repercusión integral en el sector de la construcción.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

GENERAL

Determinar el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar, en adiciones del 2.50%, 5.00% y 8.00% de fibras con respecto al peso del agregado grueso.

ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica y de artículos sobre el tema con el fin de establecer el estado del arte de la adición de las fibras naturales en el hormigón.



- Establecer el proceso adecuado de mineralizar las fibras de bagazo de caña de azúcar para el uso en matrices cementantes.
- Realizar la caracterización física de los materiales pétreos a ser utilizados para la elaboración del concreto reforzado.
- Realizar el diseño de mezclas de hormigón reforzado con diferentes porcentajes de adiciones de fibras de bagazo de caña de azúcar.
- Determinar las ventajas y desventajas del hormigón reforzado con diferentes adiciones de fibra de bagazo de caña con respecto a su resistencia a la tracción, compresión y retracción.
- Comparación de costos entre un concreto reforzado con fibras de bagazo de caña y otro concreto reforzado con fibras de polipropileno, de similares prestaciones.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Al realizar esta investigación, se contribuirá con el estudio del comportamiento del hormigón a tracción y retracción a partir de la incorporación del bagazo de caña de azúcar en hormigones como fibra natural, obteniendo como materia prima un material reciclado y económico.

Es ahí donde se convierte en prioridad el reciclaje, reutilización y recuperación de materiales que son residuos de otros procesos de producción. Por ello, se hace necesario reconsiderar esta preocupante situación de crisis económica y ambiental, buscando la utilización racional de materiales que cumplan sus funciones sin menoscabo del medio ambiente. En el ciclo material que cumple cada elemento de la construcción, sabemos que su contaminación ambiental está dada desde su primera fase; esto es, desde la extracción y procesado de materias primas, hasta el final de su vida útil; es decir, hasta su tratamiento como residuo; pasando por las fases de producción o fabricación del material y por la del empleo o uso racional de estos materiales en la edificación.



Es bueno acotar que se realizará procesos de reciclaje como materia prima de remplazo de agregado grueso el desecho residual, (bagazo de caña) de los procesos industriales de la fabricación de azúcar. Lo cual contribuirá en una remediación ambiental en procesos industrializados tanto en la agricultura como en la construcción. Por lo tanto remedaríamos dos procesos en uno.

En países vecinos se viene realizando estudios de la misma índole, presentando resultados muy prometedores para masificar su utilización.

Al ser un país exportador de azúcar al granel, es obvio que el desecho de bagazo de caña es muy significativo en nuestro país. Lo cual puede ser un gran recurso a utilizarse en obras emergentes que contribuyan al desarrollo integral del país.

Esta investigación está focalizada a contribuir con el estudio del comportamiento del hormigón a tracción y retracción a partir de la incorporación de una fibra natural, reciclada y económica, sin dejar de lado la sostenibilidad ambiental, con experimentaciones de remplazo del agregado grueso en porcentaje del peso total, por fibras de la caña de azúcar para la elaboración de concretos para usos diversos en edificaciones de la construcción, contribuyendo con un sustento técnico que demuestre que los concretos producidos a partir de incorporación porcentual por peso de residuos de la caña de azúcar son aplicables, produciéndose impactos positivos en la industria de la construcción, medio ambiente y en el entorno económico y social.

1.5 HIPÓTESIS

Es posible mejorar la resistencia a la tracción y disminución de fisuras por retracción a partir de la sustitución de un porcentaje del agregado grueso por la incorporación de bagazo de caña de azúcar como fibra natural a la mezcla de concreto.

1.6 METODOLOGÍA

La metodología adoptada será la siguiente:



1.6.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

Al revisar la bibliografía, se receptorá información sobre los procesos a seguir para este tipo de investigación. Consulta de normas vigentes que apliquen al estudio y que tengan que ver con la elaboración de concretos y reforzamientos con fibras naturales.

1.6.2 IDENTIFICACIÓN DEL MÉTODO CORRECTO PARA PROTEGER LA FIBRA DE LA ALCALINIDAD DEL CEMENTO.

Al identificar los procesos más adecuados y utilizados para la conservación de las propiedades físicas y mecánicas de la fibra de caña, optaríamos por el proceso más económico sin tener una afectación a sus características físicas y mecánicas, asegurando así que los costos de producción sean económicos.

1.6.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MATERIALES PÉTREOS A SER UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO.

Para asegurar que el diseño de la mezcla de hormigón, cumpla características de resistencia adecuadas para sus diferentes tipos de usos, es importante realizar ensayos minuciosos para comprobar la calidad de sus agregados y componentes inmersos en la elaboración de matrices cementantes. Para ello realizaremos los siguientes ensayos de laboratorio:

- Peso volumétrico seco suelto para obtener el peso de las partículas sólidas por unidad de volumen. (Kg/m³).
- Análisis granulométrico
- Forma y textura superficial de las partículas
- Peso específico aparente
- Capacidad de absorción de agua
- Contenido natural de humedad
- Masas unitarias
- Contenido de finos y sustancias perjudiciales



1.6.4 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

Para realizar las probetas de ensayo del presente estudio, se realizará la caracterización de las arenas y el agregado grueso, respetando las normas ecuatorianas INEN existentes, y normas ASTM si no existieren normas INEN correspondientes.

Se realizará una muestra patrón de acuerdo al diseño de la mezcla para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (agua, cemento, arena y grava), con una relación a/c de 0.50. Garantizando así un buen manejo de la mezcla a la hora de puesta en obra además de garantizar una resistencia óptima manteniendo siempre la humedad en cada uno de los agregados.

A la mezcla compuesta por concreto y adiciones de bagazo, se le adicionará un aditivo acelerador de fraguado.

Se elaborará probetas con incorporaciones del 2.5, 5.0 y 8% de fibra con relación al volumen absoluto de la mezcla.

1.6.5 ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y RETRACCIÓN.

Para determinar la resistencia mecánica de la mezcla de hormigón reforzado, procedemos a realizar probetas, adecuadas para cada tipo de ensayo.

Las probetas serán fabricadas de acuerdo a las diferentes incorporaciones de porcentajes de bagazo de caña con respecto al peso del agregado. Estas probetas se fabrican respetando las normas ecuatorianas INEN existentes, y normas ASTM si no existieren normas INEN correspondientes.

Para determinar la resistencia a la tracción nos regimos con la norma ASTM C 78 (Método de Ensayo Estándar para Resistencia a la Flexión del Hormigón), ya que esta norma establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas con cargas a un tercio, ensayadas según la norma ASTM C 192 – 90 a (Práctica Estándar para Hacer y Curar Especímenes de Ensayo para Laboratorio).



1.6.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta última instancia del estudio se concluirá si los objetivos planteados fueron solventados en el transcurso del estudio.

Se analiza los resultados obtenidos, para tener parámetros de comparación y detectar así las fortalezas y las debilidades de la incorporación de las fibras de bagazo de caña.

Con los resultados obtenidos, se recomendará que porcentaje de adición de fibra es el más óptimo para mejorar la resistencia a la tracción y durabilidad del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar.

Se valorará el costo que representa la incorporación de la fibra de bagazo de caña y se comparará con el costo que genera incorporar una fibra de polipropileno al concreto.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Desde 1867



CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES

2.1 INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales con mayor utilización en la industria de la construcción. Para su elaboración se requiere principalmente de materiales naturales no renovables extraídos del suelo y de las corrientes superficiales de los ríos, así como también de cemento y agua, las cuales se dosifican de manera adecuada para obtener el producto deseado.

La pasta del concreto está compuesta del cemento y agua en relación idónea que define la resistencia a compresión que se desea obtener. Mientras que los agregados a más de aportar resistencia a la compresión, hace más económicas las mezclas por cuanto representa en volumen aproximadamente el 70% de la mezcla del concreto.

La incorporación de fibras al concreto ha proporcionado un comportamiento dúctil a los elementos de construcción diseñados para esfuerzos a flexión, compresión y retracción.

Las ventajas al incorporar fibras a los concretos son en estado endurecido, es el incremento de la tenacidad y de la resistencia al impacto; en estado fresco, permite controlar la contracción plástica en el periodo de fraguado. Como referencia adicional la incorporación de fibra al concreto controla la aparición de fisuras durante el tiempo de vida útil del elemento y ofrece mayor resistencia a la fatiga.

Debe considerarse el tipo de fibra, la geometría, el volumen, el ancho. La adecuada selección de la fibra, bien sea de origen vegetal o industrial, mejora el comportamiento mecánico y se puede disminuir el agrietamiento por contracción térmica del concreto. (Corinaldesi & Moriconi, 2006, pp. 533-544)

Se ha verificado que la longitud de la fibra es directamente proporcional a la resistencia del concreto.



La clasificación de las fibras permite agruparlas en sintéticas de origen orgánico como el polipropileno y el carbón; sintéticas de origen inorgánico como las provenientes del maquinado del acero (limalla, viruta) o de origen natural, como las provenientes de las cortezas vegetales y residuos de agricultura. (Barajas Alvarado & Oquendo Vargas , 2011, p. 17)

La caña y el coco tienen diversos usos, se producen en gran cantidad, eso provoca que haya grandes proporciones tanto de la estopa de coco como del bagazo de caña, creando una gran cantidad de basura. En mercados, uno de esos desechos se encuentra la pulpa de caña y la estopa de coco, de la cual se desechan 25 kilos al día por puesto aproximadamente. (González Canga, et al., 2010)

El bagazo de caña de azúcar es un material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Se obtiene como subproducto o residuo en los centrales azucareros después de la extracción del jugo de caña de azúcar y representa entre el 25 y el 40% del total de materia procesada, dependiendo del contenido de fibra de caña y la eficiencia de extracción del jugo (Pernalet, Piña, Suárez, Ferrer, & Aiello, 2008)

Importancia. La caña de azúcar ha sido probablemente uno de los recursos forrajeros tradicionales más utilizados en la alimentación de rumiantes, especialmente en los periodos más secos del año. Con el bagazo de caña se puede producir pulpa, papel y productos aglomerados, además de tener relevante importancia en la alimentación animal (Pernalet, Piña, Suárez, Ferrer, & Aiello, 2008).

Las fibras naturales que se incorporen a matrices basadas en cemento Portland deben ser tratadas químicamente y alteradas superficialmente para hacerlas invulnerables a los medios alcalinos, como los creados por el cemento Portland durante su fase de hidratación.

Es necesario desarrollar nuevos procesos de tratamiento de los residuos agroforestales para ser utilizados como refuerzos de matrices de cemento o poliméricas, y nuevos productos que incorporaran dichos residuos. Por tanto, obtendremos adecuadas materias primas para nuevas técnicas de producción.



Es preciso extender nuevos métodos que contribuyan a reducir los precios de los materiales de construcción y mermar el impacto ambiental en su uso o producción. Uno de los materiales que se debe sustituir es el asbesto, este se utiliza como material de reforzamiento para la fabricación de tejas y papelería de asbesto-cemento, y ha sido prohibido por sus efectos perjudiciales sobre la salud humana en la mayor parte de los países del mundo. Aproximadamente el 74 % de los 190 millones de metros cuadrados de materiales combinados que se utiliza en la industria de la construcción por año en Centro y Suramérica corresponden a asbesto-cemento, esencialmente pertenecen a tejas corrugadas para techos. (Coutts R., 1988)

Concretos reforzados con fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo empleando la mano de obra local y las técnicas apropiadas para su fabricación. Estas fibras son llamadas típicamente fibras naturales no procesadas. Sin embargo, las fibras naturales pueden ser procesadas químicamente para mejorar sus propiedades mecánicas. Estas fibras son generalmente derivadas de la madera. Estos procesos son altamente industrializados y no se dispone en los países en vías de desarrollo. A tales fibras se les conoce como fibras naturales procesadas. (ACI Committee 544, State of the Art on fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice., 1998)

Las fibras naturales están disponibles razonablemente en grandes cantidades en muchos países en desarrollo y representan una fuente renovable continua. (Aziz M., Paramasivan, & Lee S., 1981)

Ecuador es un país que posee una producción considerable de caña de azúcar. En cifras tenemos que en el año 2014 tuvo una producción de 12,5 millones de quintales, con una exportación en el mismo año de 44,4 toneladas, sembradas en una extensión de 81.000 Ha. Divididas en toda la región de la siguiente manera:

- Guayas 72,4%
- Cañar 19,6%
- Imbabura 4,2%
- Los Ríos 2,4%
- Loja 1,4%



Esta materia prima es principalmente utilizada en los ingenios para la producción de azúcar y sus derivados. (FENAZÚCAR)

A finales de los años sesenta, se realizó en algunos países una evaluación metodológica de las propiedades de ingeniería de las fibras naturales y de los compuestos formados por estas fibras con el cemento. Las investigaciones dieron como resultado que las fibras pueden ser usadas con éxito para fabricar materiales de construcción. Posteriormente se desarrollaron procesos de manufactura apropiados para la producción comercial en varios países de América Central, África y Asia.

Los productos hechos con cemento portland y fibras naturales no procesadas tal como el sisal, coco, caña de azúcar, bambú, yute, madera etc., se han probado para determinar sus propiedades de ingeniería y su posible uso en la construcción en al menos 40 diferentes países. (Aziz M., Paramasivan, & Lee S., 1981)

Aunque los resultados fueron alentadores, se encontraron algunas deficiencias respecto a su durabilidad. Estas deficiencias al parecer son resultado de la reacción entre la alcalinidad de la pasta de cemento y las fibras, además de la susceptibilidad al ataque de microorganismos en presencia de la humedad. (Lewis & Mirihaglia, 1979)

Las propiedades mecánicas del Concreto Reforzado con Fibras Naturales (CRFN) son afectadas por muchos factores. Algunos de estos son el tipo, la geometría, la forma y la superficie de la fibra, las propiedades de la matriz de cemento, la proporción de la mezcla, el método de mezclado, de colado y de curado. (Fördös, 1988)

2.2 MARCO CONTEXTUAL HISTÓRICO

2.2.1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos atrás, las fibras han sido usadas para reforzar materiales rígidos, la paja fue usada para reforzar ladrillos de adobe, y la crin de caballo, (pelos parte superior del cuello) fue usada para reforzar morteros de mampostería, incluso una casa edificada en el viejo oeste en los Estados Unidos alrededor de 1540, está



construida con elementos de adobe secado al sol reforzados con paja. En tiempos más recientes, el uso comercial a gran escala de fibras de asbesto en matrices de pasta de cemento se inició con la invención del Proceso de Hatschek en 1898, y los productos de construcción en asbesto – cemento son ampliamente usados alrededor del mundo hoy en día; sin embargo, debido principalmente a los riesgos en la salud asociados con las fibras de asbesto, tipo alternativos de fibras fueron introducidas alrededor de las décadas de 1960 y 1970. En tiempos modernos, un amplio rango de materiales de ingeniería (incluyendo cerámicos, plásticos, cementos) incorporan fibras para aumentar sus propiedades como compuesto. La ganancia de propiedades incluye resistencia a tensión, resistencia a compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento, control del agrietamiento, durabilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto y a la abrasión, contracción, expansión, características térmicas y resistencia al fuego. El uso de la fibra de vidrio en el concreto fue inicialmente adaptado en la antigua Unión Soviética a finales de la década de 1950, y rápidamente fue establecido que las fibras de vidrio común, como las fibras de vidrio E con silicato de boro, son atacadas y eventualmente destruidas por la alcalinidad en la pasta de cemento; un trabajo considerable de desarrollo fue direccionado hacia la producción fibras de vidrio resistentes al álcalis conteniendo zirconio, lo cual condujo a un número considerable de productos comercializados de tal forma que un gran uso de concreto reforzado con fibra de vidrio en algunos países es actualmente para la producción de paneles para arquitectura exterior. Los intentos iniciales en el uso de fibras sintéticas (nylon, polipropileno) no fueron exitosos como sí lo era el uso de fibras de vidrio o de acero; sin embargo, un mejor entendimiento de los conceptos ocultos del reforzamiento con fibras, nuevos métodos de fabricación, y nuevos tipos de fibras orgánicas han conducido a investigaciones que concluyen que tanto las fibras sintéticas como la fibras naturales pueden exitosamente reforzar los compuestos basados en matrices de cemento. (ACI 544-1R, 2009)

El concreto en el transcurso del tiempo ha tenido adelantos significativos, experimentando un gran avance en el siglo XX como material para la fabricación de elementos de la construcción. Estos



adelantos en la investigación se han visto reflejados en los estudios de diseño, cálculo, tecnológico y propiamente como material; siempre en una búsqueda al mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas.

Ejemplo de ello es la aparición del concreto reforzado en la segunda mitad del siglo XIX. Su invento fue consagrado a Lambot por la exhibición en la exposición Universal de Paris de 1855, un barco de carcaza metálica recubierto por concreto de cal hidráulica.

2.2.2 ANTECEDENTES

Cuando hablamos de las fibras como material incluyente en los procesos de la construcción, no es nada nuevo. A través de la historia se conoce que hace 4000 años aproximadamente, las fibras ya se utilizaban como elementos de reforzamiento para evitar resquebrajamientos en elementos que sufrían rasgadura en su uso. Existen varios ejemplos de utilización de fibras, que los describimos a continuación: Nos situamos en la baja Mesopotamia, y observamos los elementos formados por adobes de barro cocidos al sol, estos se elaboraban con paja y no hace mucho para elaborar elementos de yeso se utilizaba el crin de caballo. Optando por la utilización de este tipo de fibras naturales hasta mediados del siglo XX. A raíz del desarrollo y producción de fibras sintéticas, entró en desuso la utilización de fibras naturales.

La introducción a este nuevo tipo de reforzamiento es atribuida a Chardonnet, quien fue el inventor de la seda artificial a finales del siglo XIX. Pero fue a partir de 1935 que se produjo la primera fibra de Nylon y empieza la revolución de las fibras sintéticas, basando sus estudios en un proceso de desarrollo de fibras artificiales que se asemejen a las naturales para darles un exclusivo uso en la industria textil. Las primeras prácticas de investigación en la incorporación de fibras al concreto, se las realizó con adiciones de fibras metálicas. De donde se inscribe la primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos en California en el año de 1874 por A. Berard. Esta investigación consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. Es entonces el tiempo de partida la emisión de patentes de diversos



ensayos realizados con reforzamiento de metales en el concreto. Es así que definimos el caso de G. Martin en 1927, en California, en donde su estudio basa la incorporación de alambres rizados en el concreto para utilizarlo en la construcción de tuberías. Con el paso de los años se va perfeccionando el uso de fibras metálicas, es así que la patente atribuida a G. Constantinesco en el año de 1954, en Estados Unidos, ya se refiere al uso de fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia al corte y como elemento de absorción de esfuerzos en el concreto. A inicios de los años 50 empiezan estudios de investigación en el reforzamiento de concretos con fibras de acero, con la variante de la incorporación de bajo o medio contenido de carbono en el acero, acero inoxidable y acero galvanizado. Los estudios destacados se los puede atribuir a Romualdi, Batson y Mandel en 1963.

2.2.3 CONSOLIDACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL

La utilización en los países de Europa empieza en la década de los 70, tomando este uso con más fuerza en España, dándole la utilización en diversas obras de ingeniería como en: pavimentos en pisos industriales, revestimientos de túneles, tableros de rodadura de puentes, prefabricados, entre otros.

Este tipo de obras en la actualidad han tenido un gran éxito en su construcción debido a la utilización de fibras como elemento de refuerzo.

El desarrollo focalizado al reforzamiento de concretos en la utilización de la construcción de pavimentos y túneles, cambiaría para extenderse a otro tipo de obras, para dar viabilidad al uso del reforzamiento de las fibras en elementos de concreto en la construcción tenemos el State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete ACI 544.1R-96 (Reapproved 2002) que trata sobre el reforzamiento del hormigón con diferentes tipos de fibras, en un contexto más claro en su uso estructural. El desarrollo tecnológico implementado en el estudio de fibras ha dado como resultado el mejoramiento de propiedades física mecánicas de estas fibras artificiales. Teniendo como resultado un elevado módulo de elasticidad, alta resistencia a tracción, un bajo peso en los elementos,



etc. Una de las principales aplicaciones de las fibras sintéticas en la construcción es el de control de fisuras en concretos y morteros. Es muy efectivo el uso de reforzamiento de elementos de concreto con fibra para elementos expuestos a grandes impactos.

2.3 HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS NATURALES

2.3.1 DEFINICIÓN

Los Concretos Reforzados con Fibras (CRF) son aquello que su composición está formada de pasta base cementante, agregados fino y grueso en cantidades adecuadas, con adiciones de fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El concreto reforzado con fibras, según la definición del ACI, (American Concrete Institute) no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas.

Los concretos reforzados con fibras Naturales (CRFN) requieren especial mezcla proporcional a fin de contrarrestar las consideraciones efecto de retardo por el contenido de glucosa en las fibras. (ACI 544-1R, 2009, p. 4)

2.3.2 TIPOS DE FIBRAS

Podemos identificar el tipo de fibra de acuerdo a su tamaño y su origen.

2.3.2.1 Según su tamaño

De acuerdo a su tamaño la podemos clasificar en Macro-fibras (estructurales) y micro-fibras (no estructurales).

2.3.2.1.1 *Macro-fibras.*

Son las que trabajan estructuralmente en un elemento de construcción. Los materiales más comunes son: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y naturales. Estas fibras son incorporadas por todo el elemento para que se ubiquen aleatoriamente en

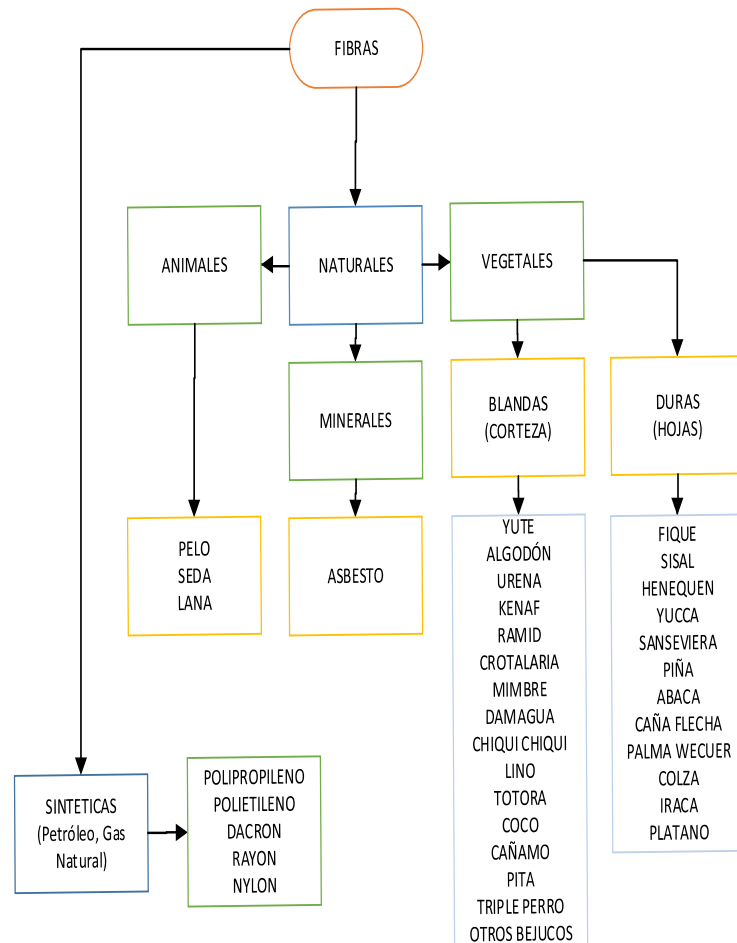


Figura 2.1 Clasificación de las fibras por su origen. (Simbaña, 2002)

cualquier dirección. Las fibras sustituyen al armado estructural brindado por la malla electro soldada y las varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y aumentando al material resistencia de carga posterior a la primera fisura. Una característica importante del CRF es la capacidad de absorción de energía de un material (tenacidad). Otro beneficio del concreto reforzado con fibras (CRF) es el incremento de resistencia al impacto. Al incorporar fibras al concreto podemos controlar las fisuras durante la vida útil del elemento. El diámetro promedio esta entre 0.25 mm y 1.5 mm, con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm

2.3.2.1.2 Micro-fibras.

Su aporte está basado a nivel superficial. Son fibras plásticas, fibras de polipropileno, fibras de polietileno o fibras de nylon, que minimizan o eliminan el efecto de segregación de la mezcla y previenen la contracción plástica del elemento. Los mejores resultados se obtienen al utilizar fibras multifilamento, con longitudes entre los 12 y 75 mm y una dosificación de 0.6 kg/m³ y 1 kg/m³, en la mezcla de concreto.

2.3.2.2 Según su origen

En los últimos tiempos se han desarrollado numerosos estudios para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de las fibras para ser utilizadas en distintos campos de la Industria, obteniendo los llamados materiales compuestos.

A continuación en la figura N° 2.1, podemos observar la clasificación de las fibras según su origen.

Al proveer al mercado de la construcción nuevos tipos de fibras como elemento de refuerzo, nos permite obtener un mejor control a los esfuerzos y deformaciones en el concreto.

Los hormigones en su composición están formado por adiciones de materiales, acentuándose este carácter con la adición de fibras para conseguir una mejora en sus propiedades, denotando substancialmente su resistencia a tracción, ductilidad y durabilidad.

De acuerdo a su origen pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Naturales



- Sintéticas

2.3.2.3 Según el uso en la construcción

El ACI, clasifica a las fibras de acuerdo al uso en la construcción y los divide de la siguiente manera:

- Fibra de Acero (FA)
 - Fibra de Vidrio (FV)
 - Fibra Sintética (FSN)
 - Fibra Natural (FN)
- (ACI 544-1R, 2009)

2.3.3 FIBRAS NATURALES DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo de caña de azúcar en la clasificación general corresponde a fibras naturales, orgánicas y vegetales, constituidas principalmente por celulosa. Se conoce con el nombre de bagazo, al residuo fibroso que queda después del proceso de extracción del jugo como materia prima para elaborar productos derivados de la caña de azúcar. El proceso en una molienda es por medio de molinos y se habla de bagazo del primero, segundo, tercero, etc. molino. El bagazo que abandona todos los molinos se llama “bagazo final”.

Para este estudio lo llamaremos simplemente bagazo. Este residuo de la agroindustria cañera, tan antiguo como la misma industria, ha venido tomando valor en los últimos años por lo prometedor como materia prima para la elaboración de nuevos productos para diversas industrias.

Al utilizar el bagazo como carburante en el proceso de elaboración de azúcar en las moliendas, significa una de las ventajas competitivas más significativas en la industria de la caña de azúcar. Es importante evidenciar que dicha industria está aún muy lejos del aprovechamiento efectivo que podría ofrecer el bagazo, como materia prima para la elaboración de productos industriales, y así mejorar los ingresos económicos provenientes por la venta de este sub producto de la agro industria.



2.3.3.1 Características físicas del bagazo de caña de azúcar

Las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de micro fibrillas dispuestas en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa.

Las características del bagazo suelen ser muy variadas, y esto está dado por factores como la característica de la caña, el tipo de suelo, factores climáticos, del tiempo, tipo de la cosecha y sobre todo del método de extracción utilizado. Como rangos de aproximación detallamos en la tabla 2.1 la composición física del bagazo de caña de azúcar.

Las características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar, lo catalogan como un material adecuado para ser usado como Fibra de refuerzo. (SERA, E., ROBLES, Austriaco, & Pama, 1990)

Tabla 2.1 Composición física del Bagazo de Caña.

COMPONENTE	PORCENTAJE
Fibra de bagazo	45%
Sólidos insolubles	2-3%
Sólidos solubles	2-3%
Agua	50%

(Córtes García & Hernández, 2007)

La fibra de bagazo de caña de azúcar está compuesta por elementos insolubles en agua y puede subdividirse a su vez en dos componentes principales:

- fibra verdadera
- médula



En la tabla 2.2, se describe las propiedades más típicas del bagazo de caña, que nos servirá como referencia para el beneficio y manejo de este tipo de material.

Tabla 2. 2 *Propiedades de la Fibra del Bagazo de Caña.*

ESPECIFICACIONES	BAGAZO
CONTINUO/DISPERSO	DISPERSO
ORIENTACIÓN	ALEATORIA
MATRIZ	CEMENTO
LONGITUD (mm)	26
DIÁMETRO PROMEDIO (mm)	0,24
GRAVEDAD ESPECÍFICA (g/cm ³)	1,25
ABSORCIÓN DE HUMEDAD %	78,5
CONTENIDO DE HUMEDAD %	12,1
RESISTENCIA ÚLTIMA MPa	196,4
MÓDULO DE ELASTICIDAD GPa	16,9
RESISTENCIA A LA ADHERENCIA MPa	0,84

(SERA, E., ROBLES, Austriaco, & Pama, 1990)

2.3.3.2 Proceso de control de degradación de las fibras naturales

Los mecanismos relacionados que conducen a la degradación del material compuesto durante el ciclo de humectación y secado han sido identificados como:

- Los cambios en la etapa de unión fibra-cemento
- Mineralización de la fibra

2.3.3.2.1 Los cambios en la etapa de unión fibra-cemento

Mohr et al. (2006) concluyeron que se utilizan fibras de pasta kraft de madera blanda cuando, la mayoría de las pérdidas en la fuerza y la



dureza del material compuesto se produce a temprana edad en el proceso de envejecimiento acelerado debido al aumento de la unión fibra-cemento. El mecanismo de aumento de sección en la unión fibra-cemento es desconocido; Sin embargo, se cree que esto es debido a la formación de cal por la densificación de etringita (sulfoaluminato de calcio hidratado que se forma durante las primeras etapas de hidratación del cemento Portland) en la zona de transición alrededor de las fibras. Toledo Filho et al. (2000 b) y Savastano et al. (2001) identificaron el transporte de productos de hidratación, principalmente cal, dentro del volumen de las fibras y alrededor de las fibras durante el envejecimiento acelerado, como resulta en una disminución en la interfaz de la porosidad, que puede ser responsable del aumento de la unión fibra-cemento y la disminución de la ductilidad compuesta.

(ACI 544-5R, 2010, p. 20)

2.3.3.2.2 Mineralización de la fibra

Bentur y Akers (1989) sugirieron que la fragilización de las fibras es causada por la penetración de los productos de hidratación de cemento dentro de la fibra, y Mohr et al. (2006) propusieron que la fragilización de las fibras se produce después del aumento de la unión fibra-cemento.

El CRF de base celulosa se somete a un proceso de envejecimiento que conduce a una reducción en las propiedades mecánicas, lo cual es debido a un debilitamiento de las fibras por ataque alcalino, la mineralización de la fibra es debido a la migración de productos de hidratación a los lúmenes de las fibras y a la lámina media de la fibra, y la variación del volumen en las fibras debido a su alta absorción de agua. El ACI 549-2R presenta resultados de investigación, incluyendo algunos aspectos de durabilidad que explican el mecanismo de falla.

Los efectos de la composición de la matriz también se han estudiado en relación con el rendimiento a largo plazo del concreto reforzado con fibra (CRF) a base de celulosa. Toledo Filho et al. (2003) utilizaron el humo de sílice tanto como 30% y 40% de escoria como materiales de cementación suplementarios para consumir el hidróxido de calcio. Llegaron a la conclusión de que el humo de sílice significativamente mejora el rendimiento de ciclo de humectación y



secado, mientras que la escoria tiene poco efecto sobre la durabilidad de la fibra de sisal en el compuesto de mortero.

El ACI 544.1R ha identificado las necesidades de investigación en la comprensión de los mecanismos donde la humedad y ambientes agresivos cambian los mecanismos de falla y el refinamiento de las matrices de cemento para mejorar las características de durabilidad.

Según Silva et al. (2006 a), las opciones están disponibles para mejorar la durabilidad a largo plazo de las fibras vegetales:

- Impregnación de la fibra con agentes bloqueantes y agentes hidrófugas
- Sellado del sistema de poros de la matriz
- Reducción de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ contenido en la matriz
- Una combinación de impregnación de la fibra y la modificación de la matriz

(ACI 544-5R, 2010, p. 20)

2.3.3.3 Investigaciones desarrolladas para el control de degradación de las fibras.

Las fibras vegetales es un término genérico para una gama de materiales y pueden referirse a fibras de cualquier tamaño, de partículas, de hebras largas, que se originan de una materia prima natural, tales como pulpa (celulosa), agave (sisal), coco, cáñamo, lino, yute, kenaf o, en lugar de fibras que constan de un material hecho por el hombre.

Se han realizado varios estudios para examinar la durabilidad del concreto reforzado con fibra (CRF) basados en celulosa. Se pueden dividir según el tipo de refuerzo: fibras largas (Silva et al. 2006 b), fibras cortas (Guimarães 1990; John et al., 1990) y las fibras de celulosa (Mohr et al. 2005 a, b, 2006; Soroushian y Marikunte 1992; Kim et al. 1999; Bentur y Akers 1989). Se ha propuesto y utilizado una diversidad de ensayos de envejecimiento: humedecimiento y secado, ciclos de inmersión de agua caliente, envejecimiento natural, y modificaciones de los ciclos de humedecimiento y secado. Los investigadores han desarrollado un método que consiste en el almacenamiento de los materiales compuestos en un clima húmedo



controlado (Gram 1988; Bergstrom y Gram 1984). El agua se mantiene a una temperatura de 50 ° F (10 ° C) se pulveriza en el cubículo durante un ciclo de 30 minutos. Esto es seguido por un ciclo de calentamiento donde la temperatura alcanza 221 ° F (105 ° C) durante 5,5 horas antes de que se repite el proceso. Silva et al. (2006 b) ha desarrollado la cámara de flujo forzado de aire (FAFC), una pieza de equipo que permite la simulación de la velocidad del viento y la temperatura del proceso de secado dentro de los ciclos de humedecimiento y secado. Los estudios de degradación de la fibra sometidos a diferentes soluciones alcalinas (Ramakrishna y Sundararajan 2004), y también se han realizado las investigaciones sobre el agua de los poros del material compuesto, así como el contenido de lignina de la fibra antes y después del envejecimiento (John et al. 2005).

Varios enfoques para mejorar el rendimiento de durabilidad de CRF a base de celulosa han sido estudiados, incluyendo la impregnación de fibras con agentes de bloqueo y agentes repelentes al agua, sellando el sistema de poros de la matriz, la reducción de la alcalinidad de la matriz, y combinaciones de fibra de impregnación y modificación de la matriz. Uno de las primeras y más completas obras que tratan de la mejora de la durabilidad fibras naturales en matrices de cemento se realizó por Gram (1988).

Cánovas et al. (1990, 1992) investigaron impregnaciones en fibras de sisal con compuestos orgánicos derivados de la madera tales como taninos, colofonia, y aceites vegetales. Los resultados del ensayo indicaron una desaceleración del proceso de fragilización de las fibras de sisal. El sellado con colofonia, tanino y montana también fue investigado por Cánovas y colegas. Los resultados indicaron la absorción de agua y porosidad relativa de fibra de sisal en matrices de cemento desacelerando su proceso de fragilización.

Las fibras naturales viejas tienen una resistencia mucho menor a la flexión que a cargas de tracción. Modificar la matriz parece ser una alternativa mucho mejor que el tratamiento de la fibra. Las matrices libres de hidróxido de calcio muestran ser una alternativa prometedora para desarrollar un concreto reforzado con fibra (CRF) de base



celulosa durable, como se muestra en Sylva et al. (2006 a).(ACI 544-5R, 2010)

2.3.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN CON FIBRAS

Dentro de las características más importantes del hormigón reforzado con fibras tenemos las siguientes:

2.3.4.1 Resistencia a la tracción

Cuando analizamos el comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras, el resultado más importante que podemos obtener es la resistencia a tracción post-fisura, afectando a su vez a otras propiedades mecánicas como la resistencia al corte, adherencia de armaduras, fatiga, etc.

La tenacidad del CRF a tracción directa se potencia debido a la energía disipada por el rozamiento fibras-matriz, a la flexión de las fibras inclinadas ancladas a ambos lados de las fisuras y a la multi-fisuración. (ACI 544-1R, 2009)

2.3.4.2 Resistencia a la flexión

La resistencia a flexo tracción es evidentemente mayor que la resistencia a la compresión y tracción, debido al comportamiento dúctil del concreto reforzado con fibra (CRF) en la zona fisurada por tracción desarrollando resistencias residuales.

2.3.4.3 Resistencia al impacto

Una de las principales características del CRF es su resistencia a los impactos por absorción de energía, además presenta una menor tendencia a la desfragmentación y al desprendimiento. (ACI 544-1R, 2009)

2.3.4.4 Resistencia a la compresión

La adición de fibra al concreto no tolera incrementos significativos en la resistencia a compresión. Suele ocurrir ligeros decrementos o incrementos en la resistencia.

En hormigones que no han cumplido los 28 días de fraguado, tienden a soportar una sobre carga a la compresión, reduciendo este incremento a medida que el hormigón llega a su fraguado total. Este fenómeno se debe a que la capacidad de absorción de energía y la ductilidad se concentran principalmente en la región post-fisura.

Cuanto menor es el tamaño de las probetas se obtiene mayores resistencias a compresión, debido a que se acentúa un alineamiento preferente de las fibras. El efecto se hace mucho más sensible a medida que se aumenta la longitud de la fibra. (ACI 544-1R, 2009)

2.3.4.5 Tenacidad

La tenacidad es experimentalmente medida como el área bajo la curva carga-flecha.

La capacidad de adherencia de las fibras es una variable muy respetada en la tenacidad. La tenacidad depende de la cantidad de fibra que contiene el concreto reforzado.

2.3.5 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CRFN

Las fibras incorporadas son las encargadas de soportar las tracciones después de la primera fisura del concreto. Es importante aclarar que el aporte de refuerzo de las fibras es diferente a la del armado convencional del acero.

Cuando el refuerzo es por medio de barras de acero, estas se anclan en la matriz hasta llegar al límite elástico y su capacidad última se desarrolla cuando tiene lugar la rotura del acero. Con estas diferencias, se diseña el concreto con el porcentaje adecuado de fibras para que no alcancen el límite elástico del acero, suponiendo que antes de rebasar este límite, debe llegar a su máxima eficiencia. Cabe entender que cuando aparece una fisura, queda expuesta una cantidad considerable de fibras, las cuales tienen un rol fundamental de mantener el elemento adherido. Estas fibras están colocadas en diferentes longitudes de anclaje en forma aleatoria. Teniendo como resultado que las fibras actuantes tengan diferentes esfuerzos al momento de la fisura. La curva característica Carga Vs. Deflexión en concretos reforzados con fibras, sometidas a ensayos de tracción por flexión, la podemos observar en la figura 2.2.

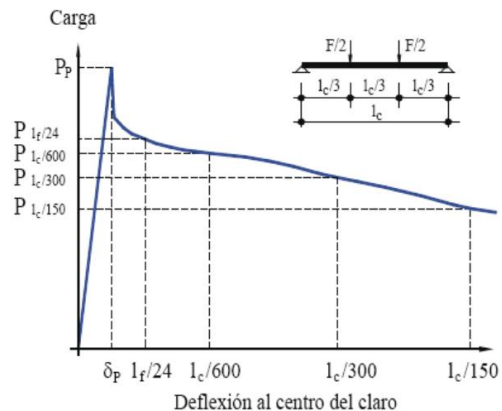


Figura 2.2 Curva Característica Carga vs. Deflexión en concretos reforzados con fibras.

Una distribución homogénea de la fibra en la fase de elaboración del concreto garantizará una adecuada orientación de la fibra dentro de la mezcla, aportando así en su resistencia, caso contrario puede suponer que su contribución sea nula.

En la figura 2.3, podemos observar el comportamiento mecánico en probetas prismáticas de concreto sometidas a ensayos de tracción por flexión con diferentes porcentajes de fibra y la muestra patrón (sin fibra).

2.3.6 ENSAYOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA ORIENTACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

La experimentación de inclusión de fibras al concreto, nos ha dado como resultado que las fibras se encuentran aleatoriamente en la mezcla, y sin dirección exacta con respecto a las caras o a un eje. La orientación de las fibras es aleatoria y dispersa, producto del proceso de vaciado de la mezcla, colocación, compactación y nivelación. Por tanto, conocer la distribución y la orientación de las fibras es fundamental para la efectividad del refuerzo que con ellas se quiere conseguir. La reciente aparición de normas e instrucciones (ACI 544-1R, 2009) relativas al concreto reforzado con fibras (CRF), nos da fundamentos y lineamientos sólidos para masificar la utilización de fibras como elemento de refuerzo en elementos estructurales.

En la tabla 2.3, se muestra diferentes ensayos de comprobación de dosificación y orientación de fibras, adoptadas por diferentes autores.

Esta masiva utilización de fibras en concretos debe ir asistido por métodos de control que equilibren eficiencia y economía, en un análisis de porcentaje de fibras o la orientación de ellas.

2.3.7 ELABORACIÓN

Dentro de la elaboración de los concreto reforzado con fibras naturales (CRFN), analizamos los siguientes numerales:

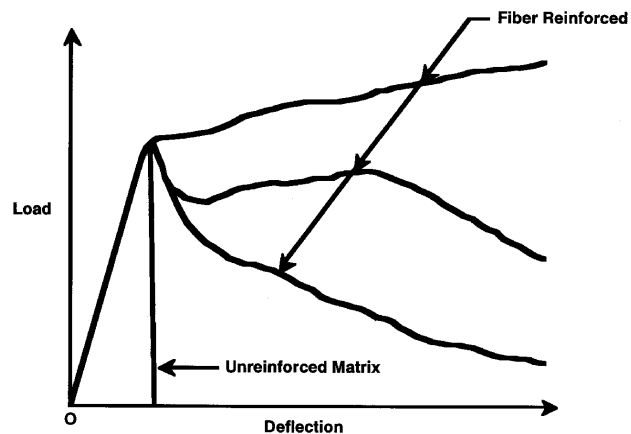


Figura 2.3 Carga vs. Deflexión en probetas prismáticas con incorporación de fibras y el elemento patrón sin fibras. (ACI 544-1R, 2009)



2.3.7.1 Elementos.

Los elementos necesarios para elaborar un concreto reforzado con fibras naturales(CRFN), son los siguientes: cemento, agua, áridos, aditivos y fibras naturales.

La característica principal de adicionar fibras naturales al concreto, es el tratamiento de la fibra natural. Este tratamiento debe ayudar tanto para repeler la humedad como para neutralizar el deterioro y mejorar la adherencia entre la fibra y el elemento cementante.

Tabla 2.3 Clasificación de ensayos de comprobación de dosificaciones y orientaciones para concreto reforzado con fibras (CRF).

CRITERIO DE CLASIFICACION	TIPO	EJEMPLOS
DESTRUCTIVIDAD	DESTRUCTIVA	Conteo manual de las fibras tras machacado (Soroushian and Lee, 1990; Gettu et al., 2005; Dupont and Vanderwalle, 2005)
	NO DESTRUCTIVA	
FORMA DE MEDICION	DIRECTA	ANALISIS DE IMÁGENES. (Grüne Wald, 2004; Lappa, 2007). METODO DE RAYOS X. (Van Gysel, 2000; Robinset et al., 2003; Vanderwalle et al., 2008). TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA. (CT-scans)(Molins et al., 2008; Srólhi and Van Mier, 2007)
	INDIRECTA	ENSAYOS MECANICOS. (Kooiman, 2000; Barragán, 2002; Grünwald, 2004)

Los elementos que componen al concreto reforzado con fibras naturales(CRFN), deben cumplir los requisitos mencionados en la norma ACI 318 S-05, Requisitos de Reglamento para Hormigón Estructural. Parte 2, Capítulo 3. Materiales.

Se sugiere que en el mejor de los casos se utilice canto rodado en los áridos, de preferencia en el árido fino, ya que este aporta con mejor trabajabilidad en concretos reforzados con fibras naturales(CRFN).

Un aspecto importante en concretos reforzados con fibras naturales(CRFN) es la relación entre el tamaño máximo de árido y



la longitud de las fibras, pues tiene una relación directa en las resistencias a tracción, flexo tracción y tenacidad. Recordando que para mayor efectividad con el uso de las fibras, estas deben envolver al agregado que conforma el concreto reforzado con fibras naturales(CRFN).

Como referencia citamos a continuación parámetros que pueden guiar para elegir el tamaño máximo del agregado grueso en la elaboración del concreto reforzado con fibras naturales(CRFN), siendo preferente que no supere al más bajo de los siguientes valores referenciales:

- $2/3$ de la longitud de la fibra
- $1/5$ del lado mayor del elemento
- $3/4$ de la distancia libre entre barras de armado

Normalmente, el tamaño máximo de árido utilizado en la elaboración de concreto reforzado con fibras naturales(CRFN) es de 19 mm o $3/4$ de pulgada.

Los aditivos, en los concretos reforzados con fibras naturales(CRFN), cumplen un papel fundamental en la elaboración, transporte y colocación en obra del material. En nuestro caso se utilizan aditivos reductores de agua, súper plastificantes, para compensar la falta de trabajabilidad de la mezcla a causa de la incorporación de las fibras. Bajo ningún motivo se adiciona agua para recuperar la trabajabilidad en la mezcla.

Al emplear adiciones en concretos reforzados con fibras naturales(CRFN), mejora sus características de resistencia y durabilidad. Ayuda a cohesionar el material entre sus agregados y fibra, evitando la segregación del agregado. Hay diferentes clases de adiciones entre las que se destacan a continuación:

- Puzolanas naturales
- Cenizas volantes
- Humo de sílice



2.3.7.2 Dosificación de los elementos

Para obtener una máxima eficiencia al utilizar adiciones de fibras naturales, debemos tener en cuenta la proporción adecuada a incorporarse en la matriz de cemento. Es indispensable partir por un diseño patrón del concreto, lo cual servirá de referencia para el diseño final del concreto reforzado con fibras naturales (CRFN). A este modelo patrón, se tendrá que realizar modificaciones, para obtener una mezcla que cumpla con características básicas en un concreto básico como son, la trabajabilidad, la resistencia y la economía.

Para el diseño de concretos, debemos respetar las relaciones que a continuación detallamos:

- Relación agua/cemento (A/C)
- Volumen de cemento
- Tamaño máximo del agregado
- Módulo de finura
- Clase y porcentaje de fibras
- Clase y porcentaje de adiciones
- Clase y porcentaje de aditivos

Es indispensable en el proceso de diseño, la distribución homogénea de la fibra natural, así evitamos un alto riesgo de segregación y como consecuencia la formación de bolas o grumos de fibras. La homogeneidad en el esparcimiento, obedece primordialmente del porcentaje de fibras, la esbeltez, la relación agua/cemento y el método de mezclado. Al tener un control estricto de los valores antes mencionados podemos conseguir una mezcla homogénea y apta para el consumo en la industria de la construcción.

2.3.7.3 Mezclado y Vaciado

El mezclado del concreto reforzado con fibras naturales (CRFN) se lo puede realizar en la planta de premezclado o en situ. En la planta hormigonera se puede mantener estándares de calidad muy altos en la fabricación del concreto, debido a métodos de precisión empleados en su fabricación. En cambio que al fabricar el concreto in situ, los parámetros de corrección queda al criterio del personal a cargo en el proyecto.



El vaciado del concreto reforzado con fibras naturales (CRFN), se lo realiza por métodos convencionales como directos o proyectados. Su compactación se realiza por medios mecánicos como vibradores de inmersión o regletas vibratorias.

2.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

Es evidente que el concreto reforzado con fibras naturales, sufre un cambio en sus características físicas y mecánicas. Dentro de estas características de modificación con respecto a un concreto convencional son los siguientes:

- Tenacidad
- Control de fisuras
- Resistencia a flexo tracción

La adherencia es importante para la correcta transmisión de esfuerzos entre la matriz y la fibra. Esta adherencia involucra en la matriz fenómenos como la fijación, fricción y cruce mecánico de la fibra.

La incorporación de fibras naturales a una matriz rígida y frágil como es el caso del concreto, es para dotarle de características de ductilidad y así poder contrarrestar la fisuración y desprendimiento de sus partes ocasionado por cargas externas. Esto se consigue al entretejer o cruzar las fibras en el núcleo de la base matriz de cemento.

2.4.1 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C 39. (NTE INEN 1573:2010)

Se define como esfuerzo de compresión, a la resistencia característica media de un espécimen, ya sea de matriz cementante o de acero, sometido a carga axial. El ensayo de compresión se la realiza a especímenes cilíndricos a edades que dependen de las características de diseño y que comúnmente son practicadas a los siete, catorce y veintiocho días de edad. La resistencia a la compresión se expresa en Mega Pascales (MPa) o también en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Su símbolo es f_c . Esta práctica determina el esfuerzo a compresión en especímenes

cilíndricos, ya sean elaborados en laboratorio, o extraídos directamente de la superficie a determinar la resistencia. La norma se limita a hormigones que tengan un peso unitario en exceso de 800 kg/m³ (50 lb/pie³). Para calcular el esfuerzo a la compresión del espécimen dividimos la carga máxima obtenida en el ensayo por el área de la cara en contacto con la carga axial aplicada en el espécimen.

Las variaciones en la resistencia a la compresión pueden darse por las siguientes variables:

- el tamaño y la forma del espécimen
- condiciones de la pasta del cemento
- por procesos de mezclado
- por la metodología de muestreo
- por procesos de elaboración de especímenes
- la edad de prueba de especímenes
- por condiciones de humedad en el proceso de curado.

2.4.1.1 Equipo

La máquina para ensayo debe tener la capacidad suficiente de suministrar las cargas necesarias para probar los especímenes a ensayar. Para la correcta calibración del equipo se debe comprobar su funcionamiento de acuerdo a la Norma ASTM E 4 y en las condiciones siguientes:

- la calibración se la debe realizar cada 13 meses en la ubicación original o reubicación del equipo.
- Si existe alguna duda de su correcto funcionamiento.

El equipo debe ser eléctrico, capaz de emplear una carga continua durante todo el proceso de ensayo. El error máximo permitido para equipos de ensayo es de ± 1.0 % de la carga mostrada.

En la figura 2.4 se indica el equipo necesario para el ensayo de compresión de especímenes cilíndricos.

Dentro del equipo adicional están los materiales que se detallan a continuación:



Figura 2.4 Prensas digital para rotura de cilindros de concreto. Fuente: <http://schiller.com.ec/concreto/>

- Escuadra metálica.- deben ser como mínimo de treinta centímetros (30 cm.) de longitud, para examinar la perpendicularidad del espécimen.
- Equipo de láminas graduadas.- esta provista de láminas de diferentes espesores. Nos sirve para determinar las depresiones en las bases de los especímenes de concreto.
- Flexómetro.- herramienta para medir.
- Tornillo micrométrico.- utilizado para medir el diámetro del espécimen, que debe ser con una aproximación de 0,25 mm, (0.01 pulgadas).

2.4.1.2 Muestra

Las especímenes cilíndricos de concreto deben cumplir con los requerimientos que a continuación se detallan:

- Medir dos diámetros en ángulo recto en la parte media de la altura del espécimen, con una aproximación de 0,25 milímetros. Si un diámetro difiere del otro en más del 2% los especímenes son anulados.
- Comprobar que el eje axial este perpendicular a la base y que los extremos planos del espécimen, sea $\leq a 0,5^\circ$ (3 mm en 300 mm).
- Los especímenes cuyos extremos no estén planos y mayor de 0,05 mm se procederá según la Norma ASTM C 617 o ASTM C 1231. (figura 2.5)
- La longitud se medirá con una precisión de 1 mm. Esta medición se la realizará en tres lugares aleatorios alrededor de la circunferencia. Cuando la determinación de la densidad no es requerida y la relación longitud/radio $\leq a 1.8$ o $\geq a 2.2$, se medirá la longitud del espécimen con una precisión de 0,05 diámetros.

2.4.1.3 Procedimiento

El procedimiento recomendado para el ensayo de especímenes es el siguiente:



Figura 2.5 Capeo con Azufre y Almohadillas no adherentes de neopreno y rotura de cilindros. (INECYC I. E., 2009)



- El ensayo debe empezar lo más pronto luego de que el espécimen haya sido retirado de la cámara de curado y no perder sus condiciones de humedad. En la tabla 2.4 se detalla la tolerancia en los tiempos para realizar los ensayos de los especímenes.

Tabla 2.4 Tolerancia permisible de tiempo de ensayo.

EDAD	TOLERANCIA PERMISIBLE DE TIEMPO DE ENSAYO
24 HORAS	± 0,5 HORAS o 2,1 %
3 DÍAS	2 HORAS o 2,8 %
7 DÍAS	6 HORAS o 3,6 %
28 DÍAS	20 HORAS o 3,0 %
90 DÍAS	2 DÍAS o 2,2 %

(ASTM C39, Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, 2015)

- Limpiar la superficie superior e inferior del equipo de ensayo
- Colocar el espécimen en el borde inferior del equipo de ensayo
- Alinear el espécimen con el bloque superior del equipo de ensayo. Borde móvil
- Verificar que el verificador de carga se encuentre encerado
- Poner en contacto los bloques del espécimen con el plato de carga del equipo de prueba
- Aplicar una carga continua (sin choque) con un rango de velocidad de 0.25 ± 0.05 MPa/s
- Aplicar la carga hasta el momento de falla del espécimen
- Registrar la carga máxima soportada por el espécimen. En equipos automatizados, no interrumpir la carga hasta que esta haya disminuido en más del 95 % de la carga máxima.
- Registrar el tipo de falla y la apariencia del concreto
- Calcular el esfuerzo de compresión con una aproximación de 0,1 MPa
- Si la relación $L/D \leq 1,75$, el valor calculado de esfuerzo se debe corregir aplicando el factor determinado en la tabla 2.5

- Registrar los datos.

Tabla 2.5 Factor de corrección según la relación L/D

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

(ASTM C39, Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, 2015)

2.4.1.4 Cálculos

- Resistencia a la compresión tenemos la siguiente fórmula:

$$R = \frac{P}{A}$$

Dónde: R= Esfuerzo a la compresión del espécimen (MPa)

P= Máxima carga aplicada (KN)

A= Área de la cara axial del espécimen (mm²)

- Densidad del espécimen con una aproximación de 10 kg/m³ (1 lb/ft³):

$$DENSIDAD = \frac{W}{V}$$

Dónde: W = masa del espécimen, Kg (lb)

V = Volumen del espécimen obtenido de la media del diámetro y de la media de la longitud, m³ (ft³).

2.4.1.5 Tipo de Fallas

Para determinar qué tipo de falla se ha producido en el espécimen al aplicar la carga, nos referenciamos en la figura 2.6

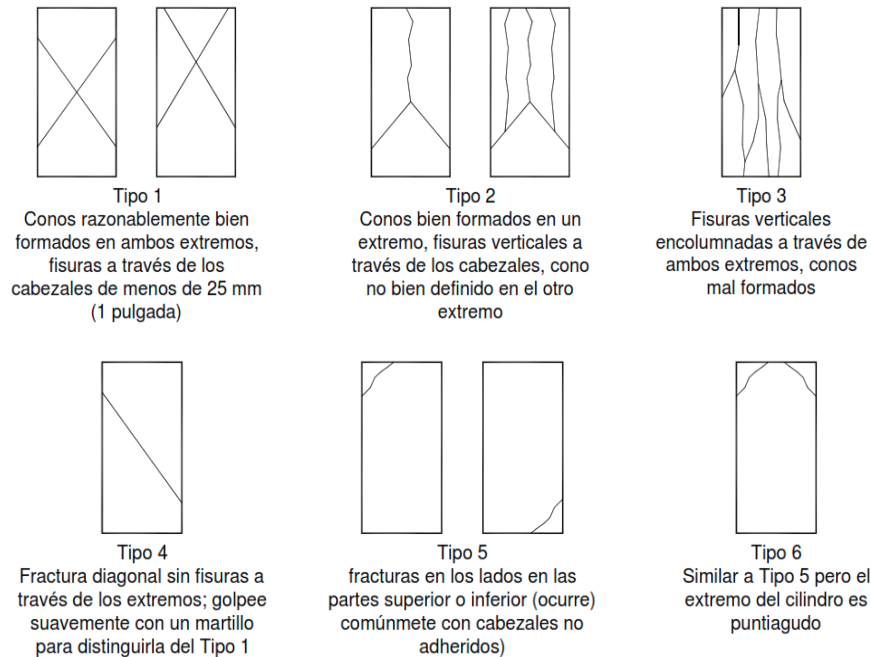


Figura 2.6 Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura. (ASTM C39, 2015)



2.4.2 ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO NORMA ASTM C 78. (NTE INEN 2554:2011)

Este ensayo determina el esfuerzo a la flexión del concreto a través de la utilización de una viga. Se lo practica aplicando carga en tres puntos a lo largo del espécimen. Al calcular los datos obtenidos, los resultados se los reportará como el módulo de rotura (M R).

2.4.2.1 Equipo

La máquina para ensayo debe tener la capacidad suficiente de suministrar las cargas necesarias para probar los especímenes a ensayar. Para la correcta calibración del equipo se debe comprobar su funcionamiento de acuerdo a la Norma ASTM E 4 y en las condiciones siguientes:

- la calibración se la debe realizar cada 13 meses en la ubicación original o re ubicación del equipo.
- Si existe alguna duda de su correcto funcionamiento.

El aparato de carga, lo podemos observar el figura 2.7, se utiliza en este método para poder transmitir carga en tres puntos específicos a lo largo de la viga. Este será usado siempre para determinar la flexión del espécimen de concreto y se será el encargado de que la fuerza aplicada a la viga sea perpendicular a la cara de la muestra. Los aparatos de carga que se utiliza para la determinación de la flexión del concreto deberán ser capaces de mantener el largo de arco especificado, la distancia entre bloques de carga aplicable y bloques de soporte constantes en un rango de $\pm 1,3$ mm (± 0.05 pulgada) entre ellos.

Dentro del equipo adicional están los materiales que se detallan a continuación:

- Escuadra metálica.- deben ser como mínimo de treinta centímetros (30 cm.) de longitud, para examinar la perpendicularidad del espécimen.
- Equipo de láminas graduadas.- esta provista de láminas de diferentes espesores. Nos sirve para determinar las depresiones en las bases de los especímenes de concreto.



Figura 2.7 Accesorio de flexión de Cambio Rápido ASTM C-78, C-293; AASHTO T-97

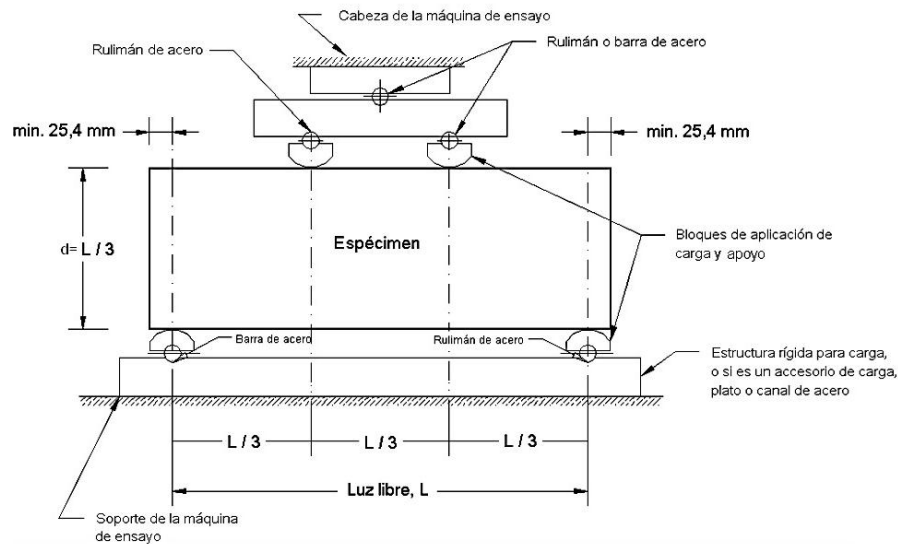


Figura 2.8 Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre. (NTE INEN 2554, 2011)

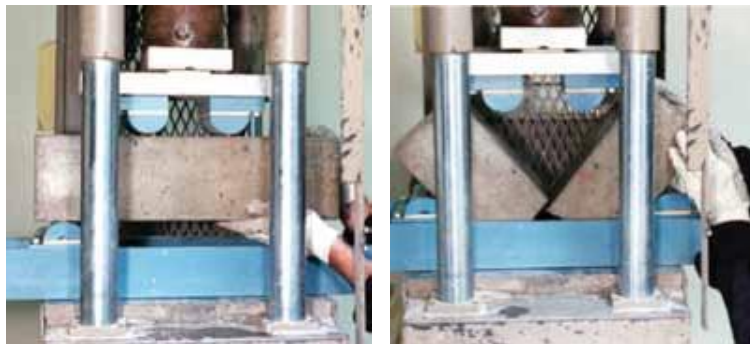


Figura 2.9 Aplicación de carga a espécimen. (INECYC I. E., 2009)

- Flexómetro.- herramienta para medir.

2.4.2.2 Ensayos

- Normas ASTM C 42 o ASTM C 31 o ASTM C 192, la que sea aplicable a la viga y la luz libre entre los apoyos debe estar dentro del 2% con relación a tres veces su altura, como se la ensaya. Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior. Todas las superficies deben estar lisas y libres de marcas, desportilladuras, agujeros o marcas de identificación impresas (figura 2.8)
- La persona que ensaye las vigas para aceptación del hormigón, debe cumplir con los requisitos de técnico de laboratorio de hormigón de la norma ASTM C 1077, y haber aprobado un examen que demuestre su desempeño, el cual es evaluado por un instituto superior o equivalente. (NTE INEN 2554, 2011)

2.4.2.3 Procedimiento

- Los ensayos a flexión deben ser realizados tan pronto como sea posible luego de extraerlos del almacenamiento húmedo. Los especímenes con las superficies secas presentan una reducción en la resistencia a la flexión (figura 2.9)
- Cuando se utilizan especímenes moldeados, girar el espécimen de ensayo sobre un lado con respecto a su posición como fue moldeado y centrarlo en los bloques de apoyo. Cuando se utilizan especímenes cortados, colocar el espécimen de manera que la cara de tracción corresponda a la parte superior o inferior del espécimen respecto a cómo se lo cortó del material original. Centrar el sistema de carga respecto a la fuerza aplicada. Llevar los bloques de aplicación de carga, al contacto con la superficie del espécimen en los tercios de la luz libre y aplicar una carga de entre el 3% y el 6% de la carga final estimada. Utilizando calibradores de lámina de 0,10 mm y 0,38 mm, determinar si alguna holgura entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga o de apoyo es mayor o menor que cada uno de los calibradores en



una longitud de 25 mm o más. Limar, refrentar o usar calzas de cuero en la superficie de contacto del espécimen para eliminar cualquier diferencia mayor a 0,10 mm. Las calzas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6,4 mm, un ancho de 25 mm a 50 mm y deben extenderse a todo el ancho del espécimen. Holguras mayores de 0,38 mm deben ser eliminadas solamente por refrentado o limado. Se debe minimizar el limado de superficies laterales puesto que esto puede cambiar las características físicas de los especímenes. El refrentado se lo debe hacer de conformidad con las secciones aplicables de la norma ASTM C 617.

- Aplicar carga al espécimen continuamente y sin impacto. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de rotura. Aplicar la carga a una velocidad tal que aumente constantemente el esfuerzo máximo sobre la cara de tracción entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min, hasta que se produzca la rotura. La velocidad de carga se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

Dónde:

r= velocidad de carga, en N/min

S= velocidad del incremento del esfuerzo máximo sobre la cara de tracción, en MPa/min

b= promedio del ancho del espécimen, según la orientación en el ensayo, en mm

d= promedio de la altura del espécimen, según la orientación en el ensayo, en mm

L= luz libre de la viga, en mm.

(NTE INEN 2554, 2011)

2.4.2.4 Medición del Espécimen luego del ensayo

Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen, para el cálculo de módulo de rotura, tomar medidas a través de una de las caras fracturadas luego del ensayo. El ancho y la altura se miden según la manera de orientación del espécimen en el ensayo. Para cada dimensión, tomar una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Utilizar las tres medidas en



cada sentido, para determinar los valores promedio de ancho y alto. Tomar todas las medidas con una aproximación de 1 mm. Si la fractura se produce en una sección refrentada, incluir el espesor del refrentado en la medición. (NTE INEN 2554, 2011)

2.4.2.5 Cálculos

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, Calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

- Dónde:
- R= módulo de rotura, en MPa
 - P= carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N
 - L= Luz libre, en mm
 - b= promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en mm
 - d= promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en mm.

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

- Dónde:
- a=distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en mm.

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, desechar los resultados del ensayo. (NTE INEN 2554, 2011)

2.4.2.6 Informe de resultados

Se debe elaborar un informe de resultados que contenga al menos lo siguiente:



- Laboratorio y fecha de ensayo
- Nombre del laboratorista
- Número de identificación del espécimen
- Promedio del ancho en la fractura, con una aproximación de 1 mm
- Promedio de la altura en la fractura, con una aproximación de 1 mm
- Luz libre de la viga, en mm
- Carga máxima aplicada, en N
- Módulo de rotura calculado, con una aproximación de 0,05 MPa
- Historial de curado y condiciones de humedad aparente del espécimen al momento del ensayo
- Si el espécimen fue refrentado, limado o si se ha utilizado calzas de cuero
- Si el espécimen ha sido cortado o moldeado y los defectos encontrados
- Edad del espécimen
- Observaciones: señalar responsabilidades sobre los procedimientos de muestreo, transporte y curado de especímenes, además de cualquier variación a los procedimientos señalados en esta norma.

(NTE INEN 2554, 2011)

2.4.2.7 Precisión y desviación

2.4.2.7.1 Precisión.

Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados del ensayo, depende del nivel de resistencia de la viga (ver nota 4). Se ha encontrado que el coeficiente de variación para un solo operador es del 5,7%. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador en vigas moldeadas de una misma amasada, no deben diferir entre sí en más del 16%. Se ha encontrado que el coeficiente de variación multi laboratorio es del 7%. Por lo tanto, los resultados de dos laboratorios diferentes en vigas



moldeadas de una misma amasada, no deben diferir entre sí en más del 19%.

2.4.2.7.2 Desviación.

Puesto que no hay un material normalizado aceptado, para determinar la desviación de este método de ensayo, no se ha hecho ninguna declaración de desviación.

(NTE INEN 2554, 2011)

2.4.3 ENSAYO NORMADO PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO NORMA ASTM C 496.

Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza compresiva diametral a lo largo de un espécimen cilíndrico de concreto a una tasa que está dentro de un rango prescrito, hasta que la falla ocurra. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano conteniendo la carga aplicada y relativamente esfuerzos de compresión altos en el área inmediatamente alrededor de la carga aplicada. La falla por tensión ocurre en vez de la falla por compresión porque las áreas de aplicación de carga están en un estado de compresión triaxial, por eso les concede un esfuerzo de compresión mucho mayor que el resultado indicado por un ensayo de resistencia a compresión uniaxial. Soportes de plywood delgados son usados como para que la carga sea aplicada uniformemente a lo largo del cilindro. La máxima carga sostenida por el espécimen es dividida por un factor geométrico apropiado para obtener el esfuerzo de tensión por partidura. (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)

2.4.3.1 Significado y uso

- El esfuerzo de tensión por partidura es simple para determinar el esfuerzo de tensión directa.
- El esfuerzo de tensión por partidura es usado para evaluar la resistencia cortante proporcionada por el concreto en miembros de concreto reforzado con agregados de peso ligero. (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)

2.4.3.2 Equipos

- Máquina de ensayo – La máquina de ensayo estará de acuerdo con los requisitos del Método de Ensayo C 39.
- Placa o Barra de Carga Suplementaria(figura 2.10) – Si el diámetro de la dimensión más larga de la cara de carga superior o el bloque de carga inferior es menor que la longitud del cilindro a ser ensayado, deberá ser usada una barra o placa de carga suplementaria fabricada de acero. La superficie de la barra o placa deberá ser fabricada dentro del ± 0.001 (0.025 mm) de planeidad, medida como una línea de contacto del área de carga. Esta deberá tener un ancho de al menos 2 pulgadas. (51 mm), y un espesor no menor que la distancia del borde del bloque de carga rectangular o esférico al extremo del cilindro. La barra o placa deberá ser usada de tal manera que la carga sea aplicada sobre la longitud completa del espécimen.
- Franja de Carga – Dos franjas de carga de plywood con espesor nominal de 1/8 pulgadas. (3.2 mm), libre de imperfecciones con aproximadamente 1 pulgadas. de ancho, y de una longitud igual o ligeramente mayor que el del espécimen deberá ser proporcionado para cada espécimen. Las franjas de carga serán colocadas entre el espécimen y el bloque de carga superior e inferior de la máquina de ensayo, o entre el espécimen y la barra o placa suplementaria, si es usada. (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)



Figura 2.10 EL Plato 37-5420 Ensamble divisor del cilindro.
<http://schiller.com.ec/concreto/>

2.4.3.3 Especímenes de ensayo

- El espécimen de ensayo estará de acuerdo con el tamaño, moldeo y curado, conjunto de requerimientos descritos en la Práctica C 31 (especímenes en la obra) o Práctica C 192 (especímenes en el laboratorio). Los núcleos taladrados estarán de acuerdo con el tamaño y condiciones de humedad y conjunto de requerimientos indicados en el Método de Ensayo C 42. los especímenes curados húmedos, durante el período entre la remoción del ambiente de curado y el ensayo serán mantenidos húmedos mediante un paño húmedo,

apillera o cubierta de plástico y serán ensayados en una condición húmeda tan pronto como sea posible.

- El siguiente procedimiento de curado deberá ser usado para evaluaciones de concreto de peso ligero: especímenes ensayados a 28 días estarán en una condición de seco al aire después de 7 días de curado húmedo seguido de 21 días de secado a 73 ± 3 F (23.0 ± 1.7 C) y ± 50 % de humedad relativa. (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)

2.4.3.4 Procedimiento

- Marcado – Dibuje líneas diametrales en cada extremo del espécimen usando un dispositivo adecuado que asegure que ellas están en el mismo plano axial, o como alternativa, use el alineador.
- Existe un dispositivo adecuado para dibujar líneas diametrales en cada extremo del espécimen en el mismo plano axial (figura 2.11). El dispositivo consiste en tres partes como sigue:
 - a) Canal de acero con una longitud de 4 pulgadas. (100 mm) los lados de las cuales han sido maquinados planos
 - b) Sección de una barra Te, B, ranurada para ajustar suavemente sobre las patillas del canal y que incluye un corte rectangular para dar posición al elemento vertical de barra Te ensamblada
 - c) Una barra vertical, C, conteniendo una longitud de apertura (clef), A, para guiar un lápiz

La barra Te ensamblada no está sostenida al canal y está posicionada en ambos extremos del canal sin perturbar la posición del espécimen cuando se marcan las líneas diametrales.

- Medidas – Determine el diámetro del espécimen de ensayo con aproximación de 0.01 pulgadas (0.25 mm) promediando tres diámetros medidos cerca de los extremos y en la mitad del espécimen, situado en el plano conteniendo las líneas marcadas en los dos extremos. Determine la longitud del espécimen con aproximación de 0.1 pulgadas (2.5 mm) mediante promedio de al menos dos longitudes medidas

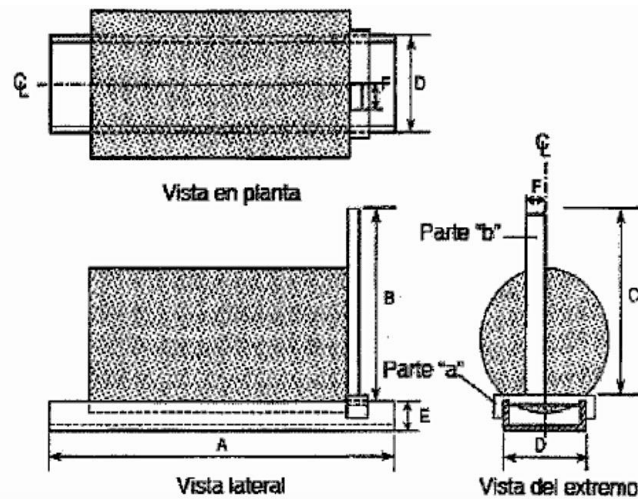


Figura 2.11 Vistas generales de un aparato adecuado para marcar diámetros extremos utilizados para alineación del espécimen en la máquina de ensayos. (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)

tomadas en el plano conteniendo las líneas marcadas en los dos extremos.

- Posición Usando Líneas Marcadas Diametralmente – Centre una de las franjas de plywood a lo largo del centro del bloque de carga inferior. Coloque el espécimen en la franja de plywood y alinear para que las líneas marcadas en los extremos del espécimen sean verticales y centradas sobre la franja de plywood. Coloque una segunda franja de plywood en la longitud del cilindro, centrado en las líneas marcadas en los extremos del cilindro. Posicione el ensamble para asegurar la siguiente condiciones:
 - a) La proyección del plano de las dos líneas marcadas en los extremos del espécimen intercepta el centro de la placa de carga superior
 - b) La placa o barra de carga suplementaria, cuando se use, el centro del espécimen está directamente abajo del centro de empuje del bloque de carga esférico.
- Posicionamiento por Uso de Alineadores (figura 2.12). – Posicione las franjas de carga, los cilindros de ensayo, y la barra de carga suplementaria por medio del alineador guía y centre la guía como para que la barra de carga suplementaria y el centro del espécimen estén directamente abajo del centro de empuje del bloque de carga esférico.
- Razón de Carga – Aplique la carga continuamente y sin choque, a una rata constante dentro del rango 100 a 200 psi/min (689 a 1380 KPa/min) el esfuerzo de tensión por partidura hasta la falla del espécimen. Registre la carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo a la falla. Anote el tipo de falla y la apariencia del concreto.
- Nota – La relación entre el esfuerzo de tensión por partidura y la carga aplicada es mostrada en la sección 8. El rango de carga requerido en el esfuerzo de tensión por partidura corresponde a la carga total aplicada en el rango de 11 300 a 22 600 lbf (50 a 100 KN)/min para cilindros de 6 x 12 pulgadas. (152 x 305 mm). (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)



Figura 2.12 Aplicación de carga para el ensayo de tracción indirecta de especímenes cilíndricos. (INECYC I. E., 2009)

2.4.3.5 Cálculos

- Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera(figura 2.13):

$$f_t = \frac{2P}{\pi ld}$$

Dónde: f_t = esfuerzo de tensión por partidura, en MPa

P= máxima carga aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N

l= longitud del cilindro, en mm

d= diámetro del cilindro, en mm

(ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)

2.4.3.6 Informe de resultados

El reporte se lo realiza con la siguiente información:

- Número de identificación
 - Diámetro y longitud, pulgadas. (m)
 - Carga máxima, lbf (KN)
 - Esfuerzo de tensión por partidura calculado con aproximación de 5 psi (35 KPa)
 - Proporción estimada de agregado grueso fracturado durante el ensayo
 - Edad del espécimen
 - Historia de curado
 - Defectos en el espécimen
 - Tipo de fractura
 - Tipo de espécimen
- (ASTM C 496 / C 496M - 11, 2011)

2.4.3.7 Precisión y Tendencia

2.4.3.7.1 Precisión

Un estudio inter laboratorio de este método de ensayo no ha sido efectuado. La información de investigación disponible, sin embargo,

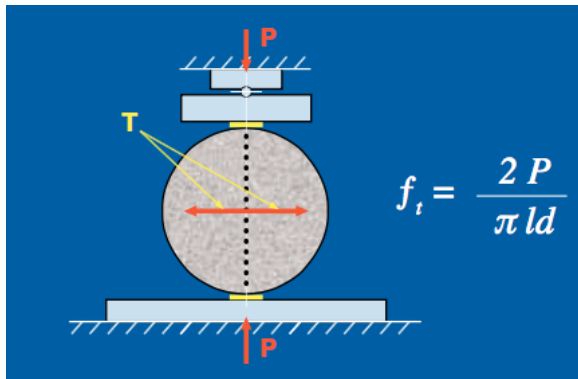


Figura 2.13 Descripción de los esfuerzos actuantes en el ensayo. (INECYC I. E., 2009)



sugiere que el coeficiente de variación dentro de la bacheada es 5 % (ver Nota) para especímenes cilíndricos de 6 x 12 pulgadas. (152 x 305 mm) con un esfuerzo de tensión por partidura promedio de 405 psi (2,8 MPa). El resultado de dos ensayos dirigidos adecuadamente con el mismo material, entonces, no deberá diferir por más de 14 % (ver Nota 5) de su promedio para esfuerzo de tensión por partidura de alrededor 400 psi (2.8 MPa).

Nota.-Este número representa, respectivamente, los límites (1%) y (2%)

2.4.3.7.2 Tendencia

El método de ensayo no tiene tendencia porque el esfuerzo de tensión por partidura puede ser definido solamente en términos de este método de ensayo.

2.5 APLICACIÓN DEL CRF

Las principales aplicaciones de los concretos reforzados con fibras(CRF), se han realizados en pavimentos y en reforzamiento de túneles.

2.5.1 PAVIMENTOS

El concreto utilizado en la construcción de pavimentos tiene unas solicitaciones muy particulares para contrarrestar a las fuertes exigencias estructurales. Dentro de estas destacan las más importantes:

2.5.1.1 Resistencia a flexo tracción

El pavimento de concreto es un elemento estructural que trabaja como la capa final de tráfico, encargándose de ser el trasmisor de todas las cargas recibidas para distribuir las a las demás capas estructurales de soporte que pueden ser la base, sub base y suelo natural, por lo que el requerimiento de una gran resistencia a flexo tracción es indispensable.

2.5.1.2 Resistencia a fatiga

Al ser un elemento estructural de capa final al tráfico, sufre una repetitiva aplicación de diversas cargas, por lo cual debe estar reforzado de una forma adecuada para poder disipar todos estos esfuerzos recibidos.

2.5.1.3 Trabajabilidad

Una de las características principales en el diseño de concreto es su trabajabilidad, de esto depende se calidad y economía al momento de ejecutar una obra de construcción.

2.5.1.4 Mínima retracción

Es muy recurrente encontrar problemas de retracción en los pavimentos, provocando así la aparición de fisuras en la superficie de estos. Además si analizamos en pavimentos de obras viales, el diseño de los pavimento está proyectado con una resistencia inicial muy alta, esto nos da como resultado una serie de fisuras y agrietamientos a lo largo de toda la superficie.

Tenemos varios ejemplos de construcciones de pavimentos de CRFA, dentro de los que resaltamos los siguientes:

- Centro de distribución de la compañía de transporte Fercam (Milán, 2004). Pavimento de 15.000 m² y 18 cm de espesor y sin juntas de retracción (figura 2.14).

No siendo menos importante el uso de concretos reforzados con fibras de acero (CRFA) en pavimentos especiales como en pistas de aeropuertos, puertos marítimos y en protecciones de fuertes militares.

Consecutivamente tenemos unos ejemplos de construcciones de puertos navíos en el mundo:

- Pavimento de la terminal de contenedores del puerto de Astakos (Grecia, 2003). Pavimento de 600.000 m² y espesor variable entre 22 y 35 cm (figura 2.15).



Figura 2.14 Pavimento "Fercam" sin Juntas de retracción. (Bekaert, 2000).



Figura 2.15 Pavimento de la terminal de contenedores en el puerto de Astakos. (Bekaert, 2003)



2.5.2 TÚNELES

Con la experimentación del uso del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA) en el revestido de túneles, se ha tenido grandes resultados, tanto en su colocación como en su desempeño estructural. Siendo así que su resistencia alcanza un alto desempeño en pocas horas. Con la utilización de fibras de acero en el concreto, y obteniendo resultados satisfactorios, nos ha dado una pauta para obviar el uso de malla electro soldadas como elementos de refuerzo en obras de construcción.

2.5.3 USOS DIVERSOS

Una fuerte utilización de fibras como refuerzo, es en la elaboración de elementos prefabricados, tal es el caso de elaboración de tubos de concreto, placas de fachada, vigas prefabricadas, canales y cubiertas abovedadas de mínimo espesor

2.6 NORMATIVA EXISTENTE REFERENTE AL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS (CRF)

Para nuestro tema de estudio nos referenciamos en la normativa del Instituto Americano del Concreto (ACI) y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM), dentro de la cual se explica entre otras cosas los parámetros para el diseño de concretos reforzados con fibras y las características que deberían cumplir los materiales que son utilizados en las mezclas de concretos.

En el Ecuador hemos venido empleando esta tecnología desde hace pocos años atrás. Para el diseño y aplicación de concretos reforzados con fibras se han tomado en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de fibras. En el año 1996, el comité 544 del ACI emitió el primer informe para el diseño y aplicación de concretos reforzados con fibras, estas recomendaciones han tomado en cuenta el conocimiento del estado del arte hasta esa fecha. Posteriormente en el año 2009, el comité 544 del ACI publicó una homologación, la cual implantó substanciales innovaciones a raíz de un sinnúmero de investigaciones sobre el tema, amparados por los varios ensayos de laboratorio realizados. Por lo tanto tenemos el documento ACI



544.1R-96: Informe sobre hormigón armado con Fibra Homologar (2009), el cual ha servido de referencia para el diseño de concretos con fibras naturales. Otro documento importante es el ACI 544. 5 R-10: Informe sobre las propiedades físicas y durabilidad del hormigón reforzado con fibras.

El informe, preparado por Comité ACI 544 en hormigón armado con fibra (CRF) es un examen exhaustivo de todos los tipos de Concretos Reforzados con Fibras. Incluye principios fundamentales del Concreto Reforzado con Fibras, un glosario de términos y una descripción de los tipos de fibras, elaboran métodos, proporciones de mezclas y métodos de mezclado, las prácticas, propiedades físicas, durabilidad, las consideraciones de diseño, las aplicaciones y las necesidades de la investigación. El informe se divide en cinco capítulos:

- Introducción
- Concreto reforzado con fibra de acero
- Concreto reforzado con fibra de vidrio
- Concreto reforzado con fibra sintética
- Concreto reforzado con fibra Natural (ACI 544-1R, 2009)

Existiendo además documentos en desarrollo que contribuyen sin duda alguna parámetros principales para el uso de fibras en concretos reforzados, dentro de los cuales destacan los siguientes:

- 544.1R: Informe sobre hormigón armado con Fibra
- 544.2R: Informe sobre la medición de las propiedades de hormigón armado con Fibra
- 544.4R: Consideraciones de diseño de concreto reforzado con fibra de acero
- 544.6R-15: Informe sobre el diseño y la construcción de losas de hormigón reforzadas con fibra de acero
- 544.AR: Diseño y construcción de elementos prefabricados de hormigón, segmentos de túneles reforzados con fibra de acero

Como referencia también utilizamos la norma ASTM C-1116-03, Especificación estándar para hormigón y hormigón proyectado reforzado con fibras.



Esta especificación cubre los tipos de fibra más representativos, excluyendo las fibras naturales.



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES



CAPÍTULO 3.- LAS FIBRAS COMO REFUERZO EN EL CONCRETO

3.1 EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

La conformación de los materiales principales para la elaboración del concreto reforzado con fibras son los siguientes:

- Agua
- Cemento hidráulico
- Agregados
- Aditivos
- Fibras de refuerzo

Estas fibras pueden ser de numerosas tipologías. Las más apropiadas para utilizarlas como refuerzo en bases de cemento son:

- El acero
- El vidrio
- Fibras sintéticas
- Fibras naturales

Hoy en día los estudios acerca de las fibras como refuerzo, se han concentrado en el desarrollo de nuevos materiales de matriz natural, compuestos fibrosos, los cuales siguen en desarrollo para proporcionar una mejora a las propiedades mecánicas de materiales frágiles, como los de matriz de cemento, por carecer de ductilidad luego del agrietamiento.

Al adicionar fibras en el concreto las propiedades post-elásticas se ven mejoradas en la matriz de cemento. Esta mejora en el desempeño depende principalmente de:

- El tipo de fibra
- La resistencia de la fibra
- La superficie de unión de la fibra
- La cantidad de fibras
- La orientación de las fibras
- El tamaño de los agregados

En el concreto reforzado con fibras, se puede evidenciar que el agrietamiento en la matriz de cemento por retracción plástica es nula o mínima, debido al cocido interno producto de las fibras. También evita el asentamiento que se produce en el concreto en estado fresco, evitando el cambio volumétrico en la superficie de concreto.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS COMO REFUERZO PARA EL CONCRETO DE ACUERDO AL ACI 544.1R-96

Según el ACI 544.1R-96, las fibras básicas se clasifican de la siguiente manera:

3.2.1 CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE ACERO (CRFA)

El concreto reforzado con fibras de acero (CRFA), está compuesto de cemento hidráulico, agregados finos y gruesos y fibras de acero continuas y discretas. De la tensión, CRFA no sólo después de que la fibra de acero se rompe o se sale de la matriz de cemento. La muestra una superficie de fractura típica de concretos reforzados con fibras de acero (CRFA) (figura 3.1).

Las fibras de acero se detallan como cortas, discretas, longitudes de acero con una relación de aspecto de 20 a 100 (diámetro-longitud), con cualquiera de las varias secciones transversales, y que son lo suficientemente pequeños para ser aleatoriamente dispersas en una mezcla de hormigón. (544.1R, 2002, p. 7)

3.2.2 CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (CRFG)

Gran parte de la investigación original realizada en pasta de cemento reforzado con fibra de vidrio, tuvo lugar a principios de los sesentas. Este trabajo utiliza fibras de vidrio borosilicato convencionales (E-vidrio) y de fibras de vidrio de cal-soda-sílice (A-vidrio).

Los compuestos de E-vidrio, que se usaron como refuerzo, dieron como resultado una pérdida de resistencia acelerada, debido a la alta alcalinidad de la matriz de cemento (pH 12,5).



Figura 3.1 Superficie de fractura de Concretos Reforzados con Fibras de Acero. (544.1R, 2002, p. 8)



La búsqueda de mejores resistencias a un medio alcalino nos dio como resultado la fibra AR-vidrio, esta mejora la durabilidad a largo plazo. Este sistema fue llamado concreto reforzado con fibra de vidrio alcali-resistente (AR-CRFG). (ACI 544-1R, 2009, p. 24)

3.2.3 CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA (CRFSN)

Las fibras sintéticas son fibras artificiales resultantes de la búsqueda y el desarrollo de la petroquímica y de la industria textil. El concreto reforzado con fibra sintética (CRFSN) utiliza fibras obtenidas de polímeros orgánicos que se encuentran disponibles en una variedad de formulaciones. El tipo de fibras que han sido utilizadas como refuerzo en matrices de cemento son:

- Acrílico
- Aramida
- Carbono
- Nylon
- Poliéster
- Polietileno
- Polipropileno

Para muchas de estas fibras, hay pocas investigaciones o experiencia en el campo, mientras que otros se encuentran en aplicaciones comerciales y han sido objeto de extensos informes.

La utilización de fibras sintéticas en forma de malla por capas es similar, en concepto, al sistema que se conoce como ferro cemento. Los avances en la investigación y el desarrollo de productos comerciales han sido vertiginosas, reportando varias publicaciones sobre el ferro cemento en los EE.UU. y en publicaciones de hormigón armado con fibra sintética principalmente en Europa. Los lectores interesados en este desarrollo deben referirse al trabajo de la ACI comisión 549. (544.1R, 2002, p. 39)

Las propiedades de las fibras sintéticas más importantes las describimos a continuación en la tabla 3.1



Tabla 3.1 Propiedades de las fibras sintéticas

Tipo de Fibra	Diámetro Equivalente, in.x10 ³	Peso Específico	Resistencia a la Tracción, ksi	Módulo de Elasticidad, ksi	Alargamiento de Ruptura, %	Temperatura de Ignición, °F	Temperatura de Fundición, Oxidación o Descomposición, °F	Absorción de Agua por ASTM D 570, Porcentaje por Peso
Acrílica	0,50 - 4,1	1,16 - 1,18	39-145	2000 - 2800	7,5-50	-	430 - 455	1,0 - 2,5
Aramida I	0,47	1,44	425	9000	4,4	alto	900	4,3
Aramida II	0,40	1,44	340	17000	2,5	alto	900	1,2
Carbón, PAN HM	0,30	1,6 - 1,7	360 - 440	55100	0,5 - 0,7	alto	752	nulo
Carbón, PAN HT	0,35	1,6 - 1,7	500 - 580	33400	1,0 - 1,5	alto	752	nulo
Carbón HP	0,39 - 0,51	1,6 - 1,7	70-115	4000 - 5000	2,0 - 2,4	alto	752	03-jul
Carbón HP	0,35 - 0,7	1,80 - 2,15	220 - 450	22000-70000	0,5 - 1,1	alto	932	nulo
Nylon	0,90	1,14	140	750	20	-	392 - 430	2,8 - 5,0
Poliéster	0,78	1,34 - 1,39	33-160	2500	12-150	1100	495	0,4
Polyethylene	1,0 - 40,0	0,92 - 0,96	11-85	725	3-80	-	273	nulo
Polypropylene	-	0,90 - 0,91	20-100	500 - 700	15	1100	330	nulo

(544.1R, 2002, p. 40)

- PAN = Poliacrilonitrilo (Polyacrylonitrile)
- HM = Alto Módulo (High modulus)
- HT = Alta Resistencia a la Tracción (High-Tensile Strength)
- HP = Alto Rendimiento (High Performance)

3.2.4 CONCRETO REFORZADO CON FIBRA NATURAL (CRFN)

Aunque históricamente muchas fibras han sido utilizadas para reforzar diversos materiales de construcción, hasta hace poco un pequeño grupo científico se ha dedicado a la utilización de fibras naturales como refuerzo. El uso de algunas fibras naturales tales como el sisal, coco, bagazo de caña, plátano (banano), palma, etc., se han limitado en su mayor parte a la producción de telas, cuerdas, esteras, etc.



Las fibras naturales están disponibles suficientemente en grandes cantidades en muchos países y representan un recurso renovable. Las fibras naturales sin procesar, necesitan cantidades relativamente pequeñas de la energía y técnica de know-how para su producción en comparación con otros tipos de fibras. En el contexto histórico, el uso de fibras naturales como materia prima en el sector de la construcción fue mucho antes de la llegada de hormigón armado convencional. Las propiedades de las fibras naturales observamos en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Propiedades típicas de las fibras naturales.

Tipo de fibra	Coco	El sisal	Bagazo de caña de azúcar	Bambú	El yute	Lino	Pasto Elefante	Caramillo de Agua	Plátano	Musamba	Fibras de madera (callosidad)
Longitud de la fibra, pulgadas	2-4	N/A	N/A	N/A	7-12	20	N/A	N/A	N/A	N/A	0.1-0.2
Diámetro de la fibra, pulgadas	0.004 - 0.016	N/A	0.008 - 0.016	0.002 - 0.016	0.004 - 0.008	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.001 - 0.003
Gravedad específica	1.12 - 1.15	N/A	1.2 - 1.3	1.5	1.02 - 1.04	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.5
Módulo de elasticidad, ksi	2750-3770	1880-3770	2175-2750	4780-5800	3770-4640	14.500	710	750	200	130	N/A
Máxima resistencia a la tracción, psi	17.400 - 29.000	40.000 - 82.400	26.650 - 42.000	50.750 - 72.500	36.250 - 50.750	145.000	25.800	10.000	13.300	12.000	101.500
Alargamiento a la rotura, %	10-25	3-5	N/A	N/A	1,5 - 1,9	1.8-2.2	3.6	1.2	5.9	9.7	N/A
Absorción de agua, %	130-180	60-70	70-75	40-45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	50-75

(544.1R, 2002, p. 58)

3.2.4.1 Procesado de fibras naturales

El procesamiento de las fibras naturales se ha utilizado para la fabricación de elementos finos, construidos de cemento reforzado con fibra, desde mediados de los sesenta. Inicialmente nace como un complemento al amianto y desde principios de 1980 como único refuerzo de fibra. El uso experimental de estas fibras precede a su uso comercial a gran escala. El primer experimento con el uso de pulpa de la madera como un reemplazo para el amianto en asbesto cemento remonta a la Primera Guerra Mundial. La industria noruega cementera con incorporaciones de fibra forzó la producción de pulpa de madera como refuerzo de uso comercial durante este período,

debido a que no pudieron obtener sus fuentes habituales de amianto debido a la guerra.

3.2.4.2 Fibra de bagazo de la caña de azúcar.

La caña de Azúcar se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales. Es el residuo que queda después de la extracción del jugo y contiene alrededor del 50 por ciento de fibra. Con el fin de obtener fibras de calidad, la médula y otros sólidos son eliminados de las fibras. Las propiedades de las fibras de bagazo dependen en gran medida de la variedad de la caña de azúcar, su madurez, y sobre todo la eficiencia de la planta de molienda. (544.1R, 2002, p. 59)

3.3 PROCEDENCIA Y PREPARACIÓN DE LAS FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

3.3.1 ORIGEN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR UTILIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN

El origen del bagazo de caña de azúcar utilizadas para esta investigación, provienen de MONTERREY AZUCARERA LOJANA COMPAÑÍA ANÓNIMA (MALCA).

3.3.2 UBICACIÓN DEL INGENIO

Este ingenio se encuentra en la provincia de Loja, cantón Catamayo, Km. 4,5 Vía a la Costa (figura 3.2).

La referencia del clima ubicación, temperatura promedio, etc., la podemos observar en la tabla 3.3

3.3.3 PROCEDENCIA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

La Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*), es una planta proveniente del sureste asiático. Llega al continente Europeo por la expansión Musulmana, y luego es traída a América por los Españoles. Los constituyentes de la caña de azúcar son los siguientes:

- Agua del 73 al 76 %
- Sacarosa del 8 al 15 %



Figura 3.2 Ubicación del Ingenio Azucarero MALCA.
<http://www.malca.ec/informes/index.php/corporativo/ubicación-geográfica>

- Fibra del 11 al 16 %

El jugo de la sacarosa es cristalizada en el proceso de elaboración del azúcar y la fibra constituye el bagazo una vez molida la caña. Este proceso se lo puede apreciar en la figura 3.3. El bagazo de caña de azúcar es el sub producto de la agroindustria azucarera.

Tabla 3.3 Datos informativos del Ingenio Azucarero MALCA.

Posición Geográfica:	Latitud 3° 59' 34"
	Longitud 79° 22' 15"
	Altitud 1230 msnm
Área de Cultivo:	2000 Hectáreas
Evaporación Anual:	1757 milímetros
Evaporación media diaria:	4,85 milímetros
Temperatura Media Mínima:	11,8° C
Temperatura Media:	23,5° C
Temperatura Máxima:	35,4° C
Precipitación Media Anual:	394 milímetros
Meses secos de Junio a Septiembre	
Hora Luz Día: 9,3 horas	
Evaporación Media:	3,71 cada día
Humedad Relativa Media Diaria:	53,80%
Radiación Solar Medio Día:	392 cal/cm ²
Velocidad Viento Media:	2,04 Km/hora

Fuente: <http://www.malca.ec/informes/index.php/corporativo/ubicacion-geografica>

Este sub producto es utilizado como combustible para la producción de azúcar. Tiene utilidades más dispersas en la producción de paneles de madera, papel, entre otras.

Para la investigación planteada, se incorporara la fibra extraída de la caña de azúcar a una matriz de cemento, esta fibra actuará como refuerzo al concreto, muy útil en la industria de la construcción.

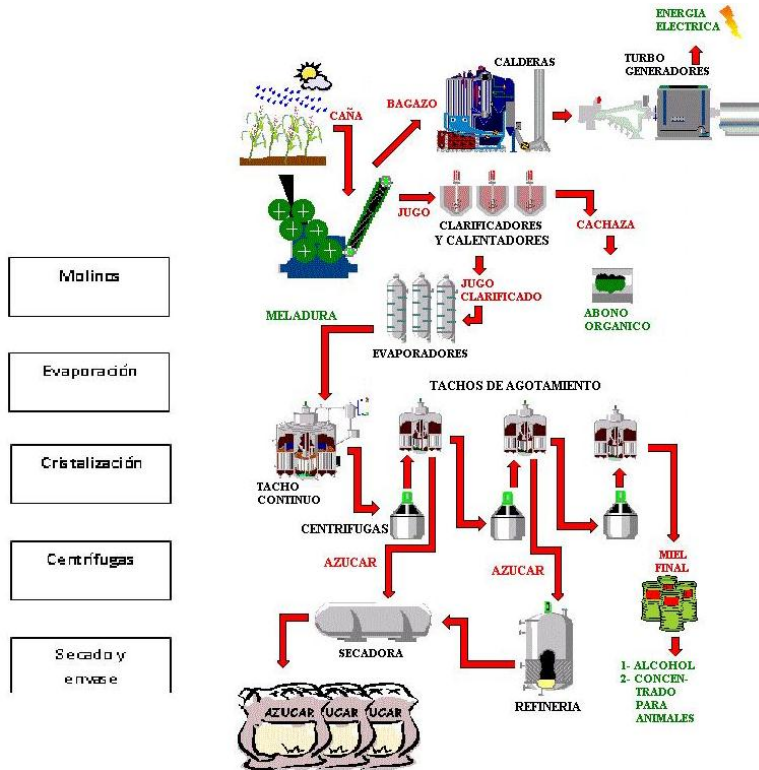


Figura 3.3 Proceso de obtención de Azúcar.
<http://www.taringa.net/posts/imagenes/10459620/Todo-sobre-la-Caña-de-Azúcar.html>



Figuras 3.4 Proceso de muestreo y pesado de las fibras de bagazo de caña.
Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.



Figuras 3.5 Proceso de tamizado de las fibras de bagazo de caña. Fuente:
Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.

3.3.4 PREPARACIÓN DE LAS FIBRAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Para la preparación de las fibras de caña, procedemos por el muestreo del bagazo en la planta de producción de azúcar.

Para este proceso contamos con la autorización correspondiente de MALCA, para utilizar el bagazo de su producción como materia prima para el desarrollo de esta investigación.

Para el muestreo del material nos ubicamos en la parte final de los molinos de producción de azúcar, ahí se encuentra la escotilla que expulsa el bagazo final del proceso.

Este muestreo se lo realizó tomando criterios de escogimiento de la parte baja, parte media y parte alta del stock del material. El bagazo final contiene altos niveles de humedad, razón por la cual es necesario empezar con el proceso de secado. Obtenida la cantidad de bagazo de caña necesaria para la experimentación, se procedió a aislar y secar la fibra en un tiempo aproximado de tres meses, esto ayudó a que el material se encuentre internamente con un bajo porcentaje de humedad (figura 3.4).

3.3.4.1 Proceso de tamizado del bagazo

Este proceso nos permitió clasificar a la fibra de prueba de acuerdo al retenido en cada malla seleccionada (Figura 3.5 y 3.6). Para iniciar el tamizado del bagazo, el material debe estar completamente seco y con una masa uniforme. Luego se prepara los tamices a ser utilizados en el proceso de separación de fibras y se los ubica de forma ascendente a manera de que la abertura mayor este siempre primero. Los tamices escogidos fueron los siguientes:

- Tamices Norma ASTM E – 11/95 N° 4 (4.75 mm)
- Tamices Norma ASTM E – 11/95 N° 8 (2.36 mm)
- Tamices Norma ASTM E – 11/95 N° 12 (1.70 mm)
- Tamices Norma ASTM E – 11/95 N° 16 (1.18 mm)

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.4



Figuras 3.6 Proceso de tamizado y pesado de las fibras de bagazo de caña.
Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.

Tabla 3.4 Datos obtenidos del tamizado del bagazo de caña de azúcar.

TAMIZ	Peso		%		% A UTILIZARSE	
	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	COMO FIBRA NATURAL	NO UTILIZADA COMO FIBRA
No 4 (4,75 mm)					19%	81%
No 8 (2,36 mm)	35872,10 gr.	35872,10 gr.	19%	19%		
No 12 (1,70 mm)	13216,40 gr.	49088,50 gr.	7%	26%		
No 16 (1,18 mm)	20768,20 gr.	69856,70 gr.	11%	37%		
BANDEJA	118944,10 gr.	188800,80 gr.	63%	100%		
TOTAL =	188800,80 gr.					

Fuente: Datos obtenidos de las prácticas en laboratorio de la EPN.

Como podemos visualizar en la tabla, el porcentaje de bagazo útil para ser utilizado como fibra de refuerzo en el concreto, es el diecinueve por ciento (19%) de la totalidad del bagazo muestreado.

Con este parámetro queda evidenciado que se tendría bagazo libre para ser utilizarlo como combustible, en los procesos de fabricación del ingenio.

Luego del tamizado, se procedió al lavado de las fibras seleccionadas, en este caso la retenida en el tamiz N° 8 (2,36 mm), con agua potable para así eliminar impurezas y residuos propios del proceso de producción.

Ya lavadas las fibras se ingresan al horno para el secado final, con esto evitamos la proliferación de hongos y por consecuencia la degradación de la fibra.

3.3.4.2 Proceso para el control de degradación de las fibras del bagazo de caña de azúcar

La degradación del material fibroso es un proceso de destrucción de su estructura celular afectando a sus características físicas y mecánicas. Se puede categorizar en cuatro grupos los tipos de degradación que pueden existir:



- Físicos (causas: humedad, cambio en dimensión de estructura molecular)
- Químicos (exposición directa con elementos químicos, hidrólisis)
- Mecánicos (causas: desgaste, fracturas, pliegues, abolladuras, etc.)
- Biológicos (causas: agente degradante que puede ser humano, roedores, aves, hongos, bacterias, etc.)

Para la presente investigación nos enfocaremos a contrarrestar la degradación física y química. La física por la humedad impregnada en la fibra y la química por la reacción agua cemento de la matriz a incorporarse. Para evitar la degradación de la fibra natural en un medio alcalino hemos utilizado la técnica que utilizaron (Osorio Saraz, Varón Aristizabal, & Herrera Mejia, 2007). Siguiendo las recomendaciones de estos autores e investigadores, se procedió de la siguiente manera:

1. Se prepara la solución de hidróxido de calcio al 5% de concentración, con los elementos actuantes que son el agua potable y la cal hidratada
2. Se deja reposar la solución por 48 horas
3. Luego de ese tiempo se procede a remover la solución y a sumergir las fibras por un periodo de 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24 °C.
4. Terminado este período de tiempo se procede a lavar la fibra con abundante agua para dejar al elemento en lo posible libre de agentes extraños
5. Ya limpia la fibra se procede al secado en hornos de laboratorio

Parte del proceso lo podemos observar en la figura 3.7

Terminado este proceso tenemos lista la fibra para incluirla como refuerzo en la matriz de concreto objeto de esta investigación.

Figuras 3.7 Proceso para el control de degradación de las fibras de bagazo de caña. Fuente: Laboratorio EPN Ing. Marlon Espinoza C.

CAPÍTULO 4.- ENSAYOS DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE PARA EL DISEÑO DE CONCRETO



Figura 4.1 *Cantera CONSTRUARENAS CIA. LTDA. Fuente: Google Earth.*



Figura 4.2 *Ubicación Geográfica CONSTRUARENAS CIA. LTDA. Fuente: Google Earth.*

4.1 PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS

Los agregados a utilizar en esta investigación son provenientes de la cantera de la empresa “Construarenas Cía. Ltda. (Figura 4.1), este material es extraído por explotación a cielo abierto y el proceso para obtener las diferentes dimensiones del agregado que conforma una granulometría apta para el diseño de concretos se la obtiene mediante la trituración del material pétreo.

4.1.1 UBICACIÓN DE LA CANTERA

La Cantera se ubica en la provincia de Pichincha, en el Cantón Pifo, sector Palugo, al Sur - Este de la ciudad de Quito,

El material extraído en la Cantera es en su mayoría:

- rocas andesíticas
- rocas sedimentarias
- andesitas meteorizadas

La ubicación geográfica es (figura 4.2):

- 0°15'15" S
- 78°20'7" O
- 2830 msnm

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS

En un metro cúbico de mezcla de concreto podemos tener más o menos un 70% solo de agregados. Es por ese motivo que se constituye en un elemento principal en elaboración de concretos.

Siendo que las propiedades de los agregados afectarán a las características del concreto, es importante su estudio y selección, tomando en consideración aspectos como los siguientes:



- Trabajabilidad
- Condiciones de trabajo
- Durabilidad
- Economía

4.2.1 TIPOLOGÍA DE AGREGADOS

Se denomina agregado grueso, ripio o grava a la fracción mayor de 4,75 mm (tamiz #4) y arena o agregado fino al pasante de 4,75 mm. De 3" a 3/4" se considera gravas gruesas, y de 3/4" a N° 4 se consideran gravas finas.

Entre los tamices N° 10 y N° 40 se limitan las arenas gruesas, medias y finas. Los agregados pueden ser rodados o triturados, los cuales brindan diferentes cualidades al concreto. Los primeros pueden aportar docilidad y trabajabilidad a las mezclas, en cambio que los segundos proporcionan mejor trabado de partículas, lo que garantiza una mayor resistencia al concreto.

La arena es el elemento fino, principal en la elaboración de concretos. Es el material que al mezclarse con cemento forman la pasta o mortero de unión con las partículas gruesas. Es por eso que cada material inmerso en el proceso de fabricación de concretos cumpla ciertos estándares de calidad y prestaciones físicas y mecánicas, propias de los materiales.

Arenas de calidad pueden ser las provenientes de río, siempre y cuando estas no estén contaminadas con impurezas orgánicas, su característica principal es ser poco porosa y por lo tanto bajo en absorción. Esto ayuda a la trabajabilidad del concreto, controlando así una buena relación agua cemento, importantes para alcanzar buenas resistencias en los concretos.

Al igual que en el agregado grueso, el agregado fino deberá cumplir con la especificación ASTM C-33(Especificación Estándar Para Los Agregados De Concreto).

Las propiedades físicas fundamentales de los agregados a ser analizados son las siguientes:

- Contenido de humedad
- Distribución granulométrica



Figura 4.3 Muestreo de los agregados cantera CONSTRUARENAS CIA. LTDA. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

- Pesos específicos reales y aparentes
- Porcentaje de absorción

4.2.2 MUESTREO

Para el ensayo de muestreo de los agregados debemos referenciarlos a la norma NTE INEN 695 (figura 4.3), en la cual se establece el procedimiento para la obtención de una muestra significativa del material a ser evaluado con los siguientes propósitos:

- Aceptación de la cantera
- Control del producto
- Aceptación o rechazo de los materiales

En la tabla 4.1 podemos observar los pesos recomendados según el tamaño de los agregados.

Tabla 4.1 Pesos recomendados según el tamaño nominal del agregado.

Tamaño del árido mm	Masa mínima de la muestra in situ Kg	Volumen mínimo de la muestra in situ 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

(Luna Hermosa , 2014)



4.2.3 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

La distribución de tamaños de las partículas de la muestra, en peso, de los diversos tamaños de agregados para una muestra significativa. Esta relación se suele indicar en peso, porcentajes que quedan retenidos en cada tamiz, que luego se lo toma como retenido acumulado (figura 4.4).

La muestra para el ensayo puede estar en el rango de 0,5 a 1 Kilogramo para el agregado fino y de 8 a 10 Kg para el agregado grueso.

De este proceso se puede identificar el tamaño máximo y el tamaño máximo nominal de la muestra, este parámetro es útil para garantizar la probabilidad y facilidad de vaciar el concreto en los elementos encofrados. Se exige como tamaño máximo del agregado:

- la quinta parte de la dimensión menor entre los lados de la formaleta ($1/5$ entre lados)
- un tercio de la profundidad de las losas ($1/3$ del espesor)
- los tres cuartos de la separación entre varillas consecutivas ($3/4$ entre varillas)

La menor de las tres condiciones. Los estudios de investigación nos recomiendan índices o parámetros límites, dentro del cual debe ubicarse la gradación de los agregados, obteniendo así las franjas o las curvas granulométricas. La granulometría tiene una relación directa con la trabajabilidad del concreto, y con la resistencia mecánica a través de las distintas probabilidades de densidad y compacidad, aunque esta última no solo depende de la granulometría sino también de su forma y textura. Dentro de las granulometrías la de mayor influencia en la trabajabilidad de los concretos es la arena, debido a su mayor valor del área específica.

Cuando una granulometría continua tiende a los finos, supone que necesitará mayor cantidad de agua, y si la granulometría continua tiende a los gruesos puede sufrir segregaciones en el momento de transporte y vaciado. Es de mucha importancia el análisis granulométrico de los materiales, porque de esta propiedad dependerá la cantidad de pasta de cemento y agua a emplearse en una mezcla de concreto. Al igual su influencia es permanente en la



Figura 4.4 Ensayo de granulometría agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



trabajabilidad, cohesión, segregación, y tipologías de acabado del hormigón fresco y fraguado.

Tabla 4.2 Ensayo de granulometría de agregado fino

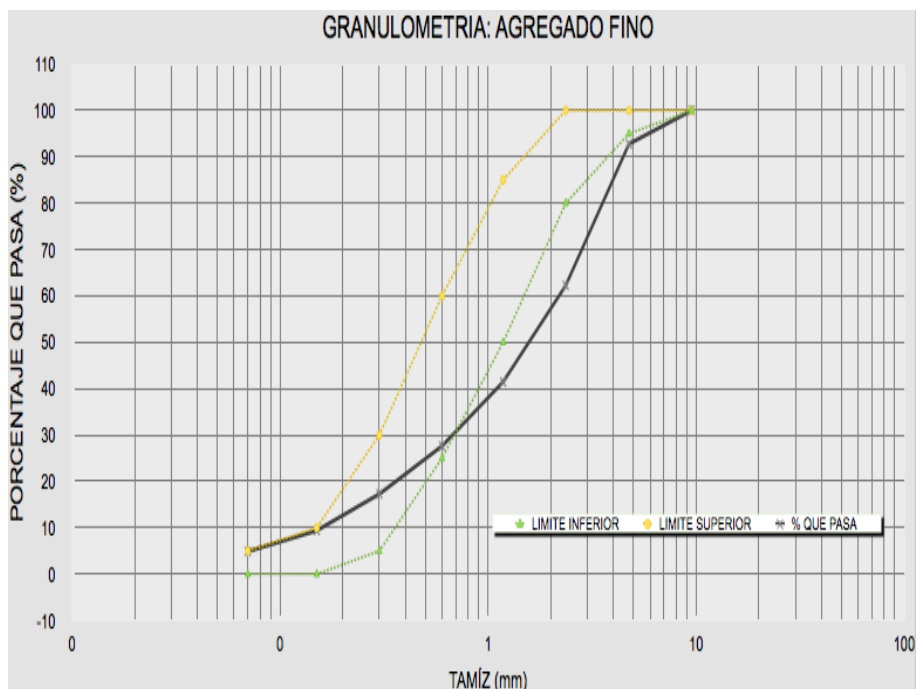


Figura 4.5 Gráfica granulométrica agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENID O ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	,00 gr.	,00 gr.	,00 gr.	0,00 %	100,00 %	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,60 gr.	499,30 gr.	41,70 gr.	41,70 gr.	7,23 %	92,77 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,40 gr.	593,50 gr.	176,10 gr.	217,80 gr.	37,74 %	62,26 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	405,90 gr.	526,00 gr.	120,10 gr.	337,90 gr.	58,55 %	41,45 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	359,00 gr.	438,80 gr.	79,80 gr.	417,70 gr.	72,38 %	27,62 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	335,00 gr.	394,70 gr.	59,70 gr.	477,40 gr.	82,72 %	17,28 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	367,50 gr.	45,50 gr.	522,90 gr.	90,61 %	9,39 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,50 gr.	325,50 gr.	26,00 gr.	548,90 gr.	95,11 %	4,89 %	0	5
BANDEJA	,00 gr.	28,20 gr.	28,20 gr.	577,10 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			577,10 gr.					

La visualización de la granulometría mediante curvas (figura 4.5 y 4.6), nos permite evaluar la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y conocer si la muestra es fina o gruesa. Existen dos factores que podemos calcular al realizar el ensayo de granulometría a los agregados, estos son:

- El módulo de finura (MF)
- El tamaño máximo nominal (TMN)



En la práctica de granulometría del agregado fino y grueso nos basamos en la Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN 696:2011

En la norma nos indica el equipo, muestreo, procedimiento, cálculos, precisión y desviación del ensayo. Teniendo los resultados en la tabla 4.2 y 4.3

El tamaño máximo nominal de los ensayos realizados nos dio como resultado $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y el módulo de finura es de 3,49.

Tabla 4.3 Ensayo de granulometría de agregado grueso

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	PESO		%		LIMITES	
	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
1" (25 mm)	0	0	0	100,00 %	100	100
3/4" (19 mm)	128,30 gr.	128,30 gr.	1,42 %	98,58 %	90	100
1/2" (12,5 mm)	4.453,50 gr.	4.581,80 gr.	50,85 %	49,15 %	55	77,5
3/8" (9,5 mm)	3.484,50 gr.	8.066,30 gr.	89,51 %	10,49 %	20	55
No. 4(4,75 mm)	750,50 gr.	8.816,80 gr.	97,84 %	2,16 %	0	10
No. 8(2,36 mm)	15,00 gr.	8.831,80 gr.	98,01 %	1,99 %	0	5
No. 16 (1,18 mm)	179,40 gr.	9.011,20 gr.	100,00 %	0,00 %	0	0
TOTAL	9.011,20 gr.					

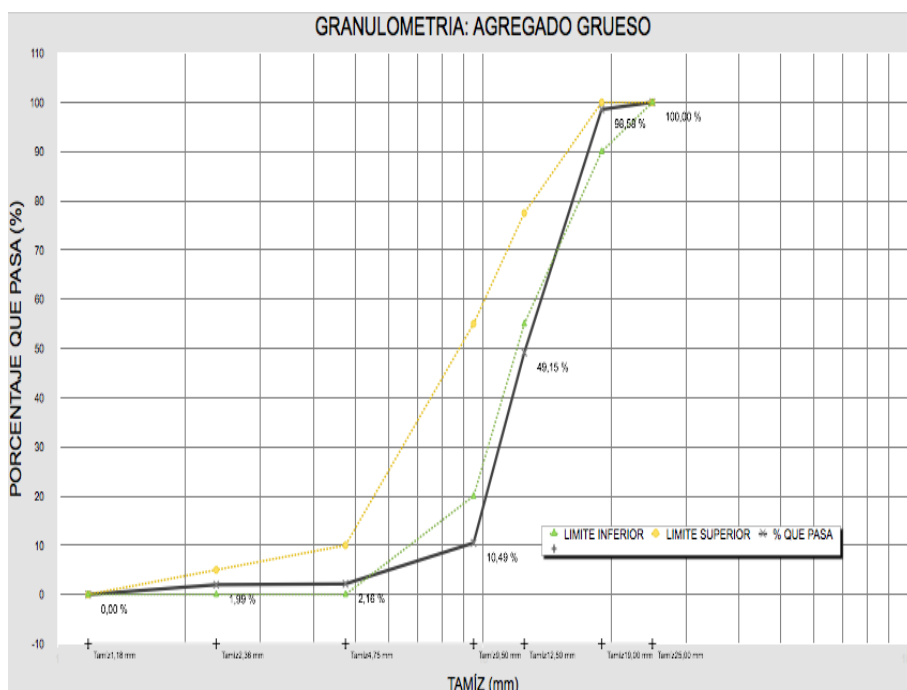


Figura 4.6 Gráfica granulométrica agregado grueso. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

4.2.4 PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Para determinar las cantidades en peso y volúmenes de los agregados en la dosificación de los concretos, es indispensable



conocer el peso específico o gravedad específica real del agregado fino y grueso, de la misma manera los porcentajes de absorción de agua en el material.

Se determina la densidad de los materiales al dividir el peso para el volumen que la ocupa. Esta densidad se la puede establecer en estado suelto o en estado compactado.

Se debe calcular también la densidad de los agregados conocidos también como en condición de superficie saturada seca (D_{sss}). Se calcula al dividir la masa total sobre el volumen total de los agregados completamente saturados en agua, pero obviando los espacios vacíos entre partículas (figura 4.7 y 4.8).

El porcentaje de absorción de un material se lo define como la capacidad que tienen estos en llenar de agua, los vacíos permeables en todo su volumen.

Para determinar el peso específico y la absorción en los agregados finos y gruesos nos referenciamos en las siguientes normas:

- NTE INEN 856 para agregados finos
- NTE INEN 857 para agregados gruesos

En la tabla 4.4 y 4.5 calculamos la densidad de volumen en estado sss del agregado fino y grueso respectivamente.

En la tabla 4.6 y 4.7 calculamos la capacidad de absorción de los agregados finos y gruesos respectivamente.

Tabla 4.4 Densidad del agregado fino en estado sss.

DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS		
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
Nº1	Masa del Picnómetro	W _p = 161,90 gr.
Nº2	Masa del Picnómetro + 500 cm ³ de Agua	W _p +H ₂ O = 660,60 gr.
Nº3	Masa del Picnómetro + Arena _{sss}	W _p +A _{sss} = 661,90 gr.
Nº4	Masa de la Arena _{sss}	500,00 gr.



Figura 4.7 Ensayo de densidad de volumen en estado sss y capacidad de absorción del agregado grueso. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



Nº5	Masa del Picnómetro + Arena + Agua	$W_p+W_a+WH_2O = 956,20$ gr.
Nº6	Volumen desalojado [4 - (5 - 2)]	204,40 cm ³
Nº7	Densidad de Volumen en estado SSS	2,446 gr/cm ³

Tabla 4.5 Densidad del agregado grueso en estado sss.

DENSIDAD DE VOLUMEN EN ESTADO SSS

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
Nº1	Masa del recipiente	$W_r = 1.092,20$ gr.
Nº2	Masa del Recipiente + Ripio _{sss}	$W_r+W_{rp} = 5.279$ gr.
Nº3	Masa del Ripio _{sss}	4.185,80 gr.
Nº4	Masa de la canastilla sumergida en el agua	$W_c = 2.147,4$ gr.
Nº5	Masa de la canastilla + ripio sumergido en el agua	$W_c+W_{rp} = 4.609,7$ gr.
Nº6	Masa del ripio en el agua	2.462,30 cm ³
Nº7	Volumen desalojado (3 - 6)	1.723,50 cm ³
Nº8	Densidad de Volumen en estado SSS	2,429 gr/cm ³

Tabla 4.6 Capacidad de absorción del agregado fino

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
Nº1	Masa del recipiente	$W_r = 274,50$ gr.
Nº2	Masa del Recipiente + Arena _{sss}	
Nº3	Masa de la Arena _{sss}	500,00 gr.
Nº4	Masa del Recipiente + Arena _{seca}	$W_r+A_{seca} = 757,80$ gr.



Figura 4.8 *Ensayo de densidad de volumen en estado sss y capacidad de absorción del agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.*



Figura 4.9 Ensayo de densidad aparente del agregado grueso. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

Nº5	Masa de la Arena _{seca}	483,30 gr.
Nº6	Masa del Agua	16,70 gr.
Nº7	Capacidad de Absorción	3,46 %

Tabla 4.7 Capacidad de absorción del agregado grueso

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN		
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
Nº1	Masa del recipiente	Wr = 1.095,20 gr.
Nº2	Masa del Recipiente + Ripio _{seco}	
Nº3	Masa del Ripio _{seco}	4.185,80 gr.
Nº4	Masa del Recipiente + Ripio _{seca}	Wr+Rseco = 5.147,3 gr.
Nº5	Masa de la Ripio _{seca}	4.052,10 gr.
Nº6	Masa del Agua	133,70 gr.
Nº7	Capacidad de Absorción	3,30 %

4.2.5 DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS

Se sabe que el peso de un determinado volumen de material depende de cuánto este compacto, es por esta razón que debemos conocer los valores de densidad suelta y densidad compactada, cuyos valores son determinantes en la dosificación de hormigones, sobre todo cuando se calcula dosificando por volumen.(figura 4.9 y 4.10)

Para determinar la densidad aparente en los agregados finos y gruesos nos referenciamos en las siguientes normas:

- NTE INEN 858:2010 para agregados finos y gruesos

En la tabla 4.8 y 4.9 calculamos la densidad aparente de los agregados finos y gruesos respectivamente.



Tabla 4.8 Densidad aparente del agregado grueso

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN		Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
N°1	Peso del molde	1.899,6 gr.	1.899,6 gr.	1.899,6 gr.
N°2	Volumen del Molde	2.887 cm3	2.887 cm3	2.887 cm3
N°3	Peso del molde + Material Suelto	5.055,2 gr.	4.967,1 gr.	5.024,1 gr.
N°4	Material Suelto	3.155,60 gr.	3.067,50 gr.	3.124,50 gr.
N°5	Densidad Aparente Suelta	1,093 gr/cm3	1,063 gr/cm3	1,082 gr/cm3
N°6	DENSIDAD APARENTE SUELTA (PROMEDIO)	1,079 gr/cm3		

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

DESCRIPCIÓN		Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
N°1	Peso del molde	1.899,6 gr.	1.899,6 gr.	1.899,6 gr.
N°2	Volumen del Molde	2.887 cm3	2.887 cm3	2.887 cm3
N°3	Peso del molde + Material Compactado	5.485,1 gr.	5.445,7 gr.	5.487,7 gr.
N°4	Material Compactado	3.585,50 gr.	3.546,10 gr.	3.588,10 gr.
N°5	Densidad Aparente Compactada	1,242 gr/cm3	1,228 gr/cm3	1,243 gr/cm3
N°6	DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)	1,238 gr/cm3		

Tabla 4.9 Densidad aparente del agregado fino

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN		Muestra N° 01	Muestra N° 02	Muestra N° 03
N°1	Peso del molde	4.903 gr.	4.903 gr.	4.903 gr.
N°2	Volumen del Molde	9.483,08 cm3	9.483,08 cm3	9.483,08 cm3



Figura 4.10 Ensayo de densidad aparente del agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



CAPÍTULO 4.- ENSAYOS DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE PARA EL DISEÑO DE CONCRETO

Nº3	Peso del molde + Material Suelto	18.143,9 gr.	18.074,2 gr.	18.415,6 gr.
Nº4	Material Suelto	13.240,90 gr.	13.171,20 gr.	13.512,60 gr.
Nº5	Densidad Aparente Suelta	1,396 gr/cm ³	1,389 gr/cm ³	1,425 gr/cm ³
Nº6	DENSIDAD APARENTE SUELTA (PROMEDIO)	1,403 gr/cm ³		

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

DESCRIPCIÓN		Muestra Nº 01	Muestra Nº 02	Muestra Nº 03
Nº1	Peso del molde	4.903 gr.	4.903 gr.	4.903 gr.
Nº2	Volumen del Molde	9.483,08 cm ³	9.483,08 cm ³	9.483,08 cm ³
Nº3	Peso del molde + Material Compactado	19.511,5 gr.	19.766,8 gr.	19.946,1 gr.
Nº4	Material Compactado	14.608,50 gr.	14.863,80 gr.	15.043,10 gr.
Nº5	Densidad Aparente Compactada	1,540 gr/cm ³	1,567 gr/cm ³	1,586 gr/cm ³
Nº6	DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PROMEDIO)	1,565 gr/cm ³		

4.2.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para la fabricación de concretos, es indispensable determinar el contenido de humedad de los agregados. Al ser el agua un elemento constitutivo de las mezclas de hormigón, debemos controlar la relación agua cemento, para precautelar la resistencia solicitada en la mezcla. Determinando cual es el contenido de humedad en cada agregado, podemos corregir el agua necesaria y óptima para la mezcla solicitada.

El contenido de humedad se define como la relación entre el peso del agua contenido en una muestra y el peso seco de la muestra multiplicada por cien, para la investigación nos referenciamos en la norma NTE INEN 862 para agregado grueso y agregado fino.

En las tablas 4.10 y 4.11, podemos observar el porcentaje de humedad de los agregados.



Tabla 4.10 Contenido de humedad del agregado fino

AGREGADO FINO		
DESCRIPCIÓN		
CANTIDAD		
Nº1	Masa del recipiente	Wr = 138,60 gr.
Nº2	Masa del Recipiente + Arena húmeda	Wr + Ah = 751,10 gr.
Nº3	Masa de la Arena húmeda	612,50 gr.
Nº4	Masa del Recipiente + Arena seca	Wr+Aseca = 722,50 gr.
Nº5	Masa de la Arena seca	583,90 gr.
Nº6	Masa del Agua	28,60 gr.
Nº7	Contenido de Humedad	4,90 %

Tabla 4.11 Contenido de humedad del agregado fino

AGREGADO GRUESO		
DESCRIPCIÓN		
CANTIDAD		
Nº1	Masa del recipiente	Wr = 285,10 gr.
Nº2	Masa del Recipiente + Ripio húmedo	Wr + Rh = 1.234,8 gr.
Nº3	Masa del Ripio húmedo	949,70 gr.
Nº4	Masa del Recipiente + Ripio seco	Wr + Reseco = 1.223,5 gr.
Nº5	Masa de la Ripio seco	938,40 gr.
Nº6	Masa del Agua	11,30 gr.
Nº7	Contenido de Humedad	1,20 %

4.2.7 ABRASIÓN

El ensayo se lo practica a los áridos gruesos y sirve para medir la dureza del agregado.

A través de este ensayo se obtiene indicadores muy importantes para aceptar o rechazar un agregado. Estos índices son:

- Porcentaje de pérdida
- Coeficiente de uniformidad

Este ensayo se basa en producir un desgaste en las caras del agregado a través de una carga abrasiva de esferas de acero. Se coloca tanto el agregado como el número de esferas recomendadas y se introduce en la Máquina de los Ángeles (figura 4.11).

Para este ensayo nos referenciamos en el ensayo de abrasión para partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles, norma NTE INEN 860.

Para nuestro agregado podemos observar en la tabla 4.12 el tipo de gradaciones que podemos escoger.

Tabla 4.12 Ensayo de abrasión

TAMAÑO DE LA MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gramos)			
PASA :	SE RETIENE EN :	A	B	C	D
1 1/2	1	1250±25			
1	3/4	1250±25			
3/4	1/2	1250±10	2500±10		
1/2	3/8	1250±10	2500±10		
3/8	1/4			2500±10	
1/4	Nº 4			2500±10	
Nº 4	Nº 8				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10



Figura 4.11 Ensayo de Abrasión. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



Figura 4.12 *Ensayo de Colorimetría. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.*

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
Nº1	Masa inicial del material	$W_m = 5.000,00 \text{ gr.}$
Nº2	Masa de ripio retenido en el tamiz No. 12 después de las 100 revoluciones	$P_{100} = 4.652,00 \text{ gr.}$
Nº3	Pérdida del material después de 100 revoluciones	348,00 gr.
Nº4	Porcentaje de pérdidas de material después de las 100 revoluciones	6,96 %
Nº5	Masa de ripio retenido en el tamiz No. 12 después de las 500 revoluciones	$P_{500} = 3.644,40 \text{ gr.}$
Nº6	Pérdida del material después de 500 revoluciones	1355,60 gr.
Nº7	Porcentaje de pérdidas de material después de las 500 revoluciones (< 40%)	27,11 %
Nº8	Uniformidad del material (Debe ser < 0,20)	0,257

4.2.8 CONTENIDO ORGÁNICO EN ARENA

Este ensayo sirve para determinar si el agregado fino posee contenido orgánico en su volumen. En el agregado fino de origen natural, pueden obtener impurezas orgánicas.

Las impurezas orgánicas son nocivas en el proceso de hidratación del cemento, llevando a un proceso defectuoso de desarrollo de resistencia en la mezcla de cemento.

En los depósitos o stocks de los materiales estas impurezas se pueden evitar con la remoción completa de la capa vegetal, o lavando la arena.

El procedimiento para determinar impurezas orgánicas en las arenas se lo realiza con el ensayo de Colorimetría (figura 4.12). Este se desarrolla empleando una solución de hidróxido de sodio y nos referenciamos en la norma NTE INEN 855.

El valor máximo de color para que el agregado sea aceptado para la fabricación de concretos es la N.º 3.



4.3 CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP SELVALEGRE

4.3.1 INTRODUCCIÓN

En la construcción se considera cemento hidráulico al material que tiene la propiedad de ligar los agregados, ya estando en contacto con el agua, para formar una pasta compacta y resistente.

Las variaciones de la calidad del cemento se deben al tiempo de almacenamiento y las condiciones de almacenamiento en obra.

Se lo puede adquirir en nuestro país en sacos de 50 Kg o al granel.

Cuando al cemento se lo guarda por largos períodos de tiempo, tiende a formarse bolas a especie de grumos. Si estos grumos se pueden deshacer con los dedos de las manos, se los puede utilizar, pero considerando que el fraguado será más lento de lo habitual. Esta formación de una fina capa dura sobre el cemento en polvo, es un indicativo de que está en contacto con la humedad. Si se encuentra bolas duras de cemento, este no es apto para la elaboración de concretos de calidad, por lo tanto a este cemento se lo debe descartar.

El cemento Portland tipo I, es fabricado para uso general en todo tipo de obras civiles en condiciones normales.

En el Ecuador, la normativa técnica INEN, ha establecido las propiedades del cemento hidráulico concerniente al desempeño del concreto, definiendo así:

- Tipo GU: Para construcciones en 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

A nivel internacional las especificaciones químicas del cemento las establece la norma ASTM C 150 y para el Ecuador la norma NTE INEN 160.



El cemento tiene un sinnúmero de propiedades físicas, entre las más importantes destacamos las siguientes:

- Densidad
- Finura
- Consistencia
- Tiempos de fraguado
- Resistencia a la compresión

4.3.2 DENSIDAD REAL

El cemento es uno de los materiales más pesados que existe, puesto que su densidad real está entre 3,00 y 3,16 Kg/cm³, variando este valor si el cemento se ha contaminado con elementos extraños o por condiciones climáticas en la fase de almacenamiento.

Para nuestra investigación utilizamos el método mediante el Frasco de Chatelier. Como referencia utilizaremos la norma NTE INEN 156. (Figura 4.13)

Para el cálculo de la densidad real utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{\text{Peso del cemento (gr)}}{\text{Volumen desalojado (cm}^3\text{)}}$$

En la tabla 4.13, se detalla los valores obtenidos durante la práctica.

Tabla 4.13 Ensayo de Densidad Real del Cemento.

DENSIDAD DEL CEMENTO MEDIANTE EL FRASCO LE CHATELIER

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
Nº1	Lectura Inicial (cm ³)	,90 cm ³
Nº2	Peso Inicial (gr)	325,90 gr.
Nº3	Temperatura Inicial (°C)	18 °C
Nº4	Lectura final (cm ³)	20,55 cm ³
Nº5	Peso final (gr)	384,70 gr.



Figura 4.13 Densidad Real del Cemento. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



Nº6	Temperatura final (°C)	22 °C
Nº7	Δ de temperatura (°C)	4 °C
Nº8	Peso del cemento (gr)	58,80 gr.
Nº9	Volumen del cemento (cm ³)	19,65 cm ³
Nº10	Densidad Real (gr/cm ³)	2,992 gr/cm ³

4.3.3 CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

La consistencia normal del cemento es el estado de una cantidad de cemento cuando se encuentra hidratada todas sus partículas.

El ensayo de laboratorio nos define la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta adecuada de cemento.

El valor de consistencia normal del cemento esta entre los rangos del 20% y 30%, esto dependerá de la calidad del cemento.

La consistencia normal del cemento se determina mediante la penetración de una aguja estandarizada (Tetmayer) en un tiempo determinado. La norma de referencia es al NTE INEN 157.

En la tabla 4.14, se detalla los valores obtenidos durante la práctica.

Tabla 4.14 Ensayo de Consistencia Normal del Cemento.

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO		
PROCEDIMIENTO		CANTIDAD
Nº1	Masa del material de Ensayo	650,10 gr.
Nº2	Cantidad requerida de Agua	174,90 gr.
Nº3	Consistencia	26,90%



4.3.4 TIEMPOS DE FRAGUADO

El cemento cuando inicia el contacto con el agua es cuando empieza su fraguado. Es por eso que existen tiempos de fraguado, los cuales se determinan de acuerdo a una norma determinada. Estos tiempos determinan la rigidez de una pasta, la cual especifica su cambio de estado de:

- Fresco - endurecido
- Plástica - rígida

En la práctica es necesario distinguir entre fraguado y endurecido.

En cementos el fraguado inicial esta entre los parámetros de 0,75 a 1,50 horas, después del amasado y el termino del fraguado esta entre 7 u 8 horas aproximadamente. Conocer estos tiempos de fraguado inicial como fraguado final, es de vital importancia para la planificación de la mezcla, el transporte, la colocación, vibrado y terminado del elemento de construcción. Este ensayo se lo realiza de acuerdo a lo norma NTE INEN 158, para el método de Vicat, y la norma NTE INEN 159 para el uso de las agujas de Gillmore.

En la tabla 4.15, se detalla los valores obtenidos durante la práctica.

Tabla 4.15 Ensayo de Tiempos de Fraguado.

TIEMPOS DE FRAGUADO			
	PENETRACIÓN	TIEMPO LOCAL	TIEMPO ACUMULADO
	MM		
Nº1	INICIO	9 h 16 min	0 h 0 min
Nº2	39	10 h 18 min	1 h 2 min
Nº3	22	11 h 44 min	2 h 28 min
Nº4	20	12 h 5 min	2 h 49 min
Nº5	0	15 h 41 min	6 h 25 min
TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL=		2 h 49 min	
TIEMPO DE FRAGUADO FINAL=		6 h 25 min	



4.4 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua en la mezcla del concreto, es de mucha importancia. Gracias al control de la calidad del agua podemos garantizar la calidad y la resistencia de la mezcla de concreto para su uso final.

En lugares donde el agua es tratada para su consumo, no se corre un mayor riesgo en cuanto a su uso.

El control se debe encaminar a aguas no tratadas, aguas que su procedencia es incierta, para esto se recomienda la realización de pruebas continuas a muestras de agua para descartar su contaminación.

Esta contaminación del agua luego al introducirla a la mezcla, formará parte del elemento que afectará la reacción química normal del cemento.

Las siguientes aguas no se aceptan para la elaboración de concretos:

- Aguas ácidas
- Aguas básicas provenientes de curtiembres
- Aguas carbónicas provenientes de plantas de galvanización
- Aguas con más del 3% de NaCl (cloruro de sodio)
- Aguas con más del 3,5% de SO_3Na_2 (sulfito de sodio)
- Aguas con azúcar

Es un riesgo muy alto el consumir agua sin certeza de su procedencia, debido a que afectará técnica y económicamente al producto final. Estas aguas no tratadas pueden aportar con sustancias nocivas disueltas o en suspensión, tales como:

- Materia orgánica
- Azúcares
- Sulfatos
- cloruros

El uso del agua que se acepta para realizar mezclas de concreto sobre la base de alcanzar más del 85% de resistencia con respecto al agua destilada, son las siguientes:

Aguas con menos del 1% de sulfatos



Aguas de mar pero no para concretos reforzados

Aguas alcalinas con menos de 0,15% de SO_4Na_2 (sulfato sódico)

Aguas provenientes de minas de carbón y yeso

Aguas de desecho de fábricas de cerveza, plantas de gas, pintura y jabón (ASOCRETO, 2010)

4.5 RESUMEN DE ENSAYOS

A continuación describiremos los ensayos practicados en laboratorio, los cuales nos servirán para el proceso de diseño de mezclas de concreto.

En la tabla 4.16 y 4.17 describiremos las propiedades físicas de los agregados finos. En la tabla 4.18 y 4.19 las propiedades físicas de los agregados gruesos. En estas tablas se resume los siguientes valores:

- Densidades aparentes
- Peso específico y absorción
- Ensayo contenido orgánico
- Ensayo de granulometría

En la tabla 4.20 las propiedades físicas del cemento se describen los siguientes valores:

- Densidad del cemento
- Consistencia del cemento
- Tiempo de fraguado inicial y final



Tabla 4.16 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Fino

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, NTE INEN 858
DENSIDAD SUELTA:	1,389 gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,567 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C127, NTE INEN 856
PESO ESPECIFICO:	2,364 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS:	2,446 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,570 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	3,455 %
CONTENIDO ORGÁNICO	NORMA: ASTM C40, NTE INEN 855
ESCALA DE GARDNER:	2

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO			NORMA: ASTM C136, NTE INEN 696		
TAMIZ N°.	TAMAÑO DE ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	9,50	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,75	40,40	6,88%	6,88%	93,12%
8	2,38	184,80	31,49%	38,37%	61,63%
16	1,19	124,40	21,20%	59,57%	40,43%
30	0,59	85,00	14,48%	74,05%	25,95%
50	0,30	65,40	11,14%	85,19%	14,81%
100	0,15	46,00	7,84%	93,03%	6,97%
BANDEJA		40,90	6,97%	100,00%	0,00%
TOTAL:		586,90	MODULO DE FINURA:		3,57

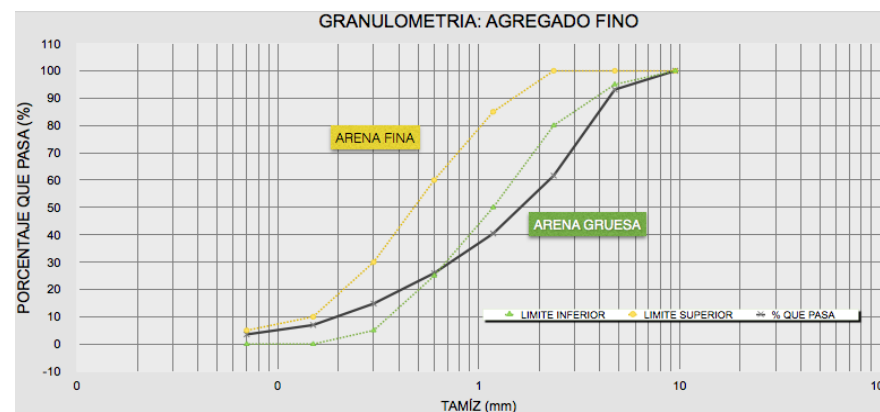




Tabla 4.17 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Fino

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, NTE INEN 858
DENSIDAD SUELTA:	1,396 gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,540 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C127, NTE INEN 856
PESO ESPECIFICO:	2,384 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS:	2,468 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,600 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	3,520 %
CONTENIDO ORGÁNICO	NORMA: ASTM C40, NTE INEN 855
ESCALA DE GARDNER:	2

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO			NORMA: ASTM C136, NTE INEN 696		
TAMIZ N°.	TAMAÑO DE ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	9,50	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,75	41,70	7,23%	7,23%	92,77%
8	2,38	176,10	30,51%	37,74%	62,26%
16	1,19	120,10	20,81%	58,55%	41,45%
30	0,59	79,80	13,83%	72,38%	27,62%
50	0,30	59,70	10,34%	82,72%	17,28%
100	0,15	45,50	7,88%	90,61%	9,39%
BANDEJA		54,20	9,39%	100,00%	0,00%
TOTAL:		577,10	MODULO DE FINURA:		3,49

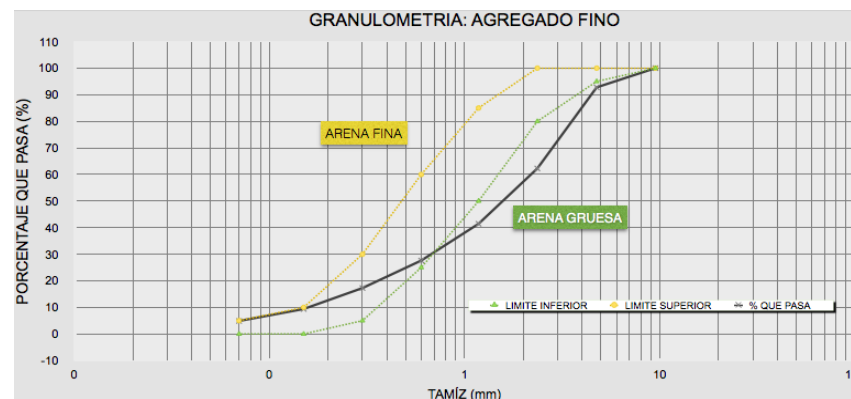




Tabla 4.18 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Grueso

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, NTE INEN 858
DENSIDAD SUELTA:	1,208 gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,351 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C128, NTE INEN 857
PESO ESPECIFICO:	2,351 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS:	2,429 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,549 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	3,300 %
ABRASIÓN	NORMA: ASTM C131, NTE INEN 860
GRADACIÓN:	B
NUMERO DE ESFERAS:	11
PORCENTAJE DE PERDIDA 500 Rev.	27,11 %
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,26

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO			NORMA: ASTM C136, NTE INEN 696		
TAMIZ N°.	TAMAÑO DE ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1"	25,00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19,00	128,30	1,42%	1,42%	98,58%
1/2"	12,50	4453,50	49,42%	50,85%	49,15%
3/8"	9,50	3484,50	38,67%	89,51%	10,49%
4	4,75	750,50	8,33%	97,84%	2,16%
8	2,36	15,00	0,17%	98,01%	1,99%
BANDEJA		179,40	1,99%	100,00%	0,00%
TOTAL:		9011,20	MODULO DE FINURA:		7,4

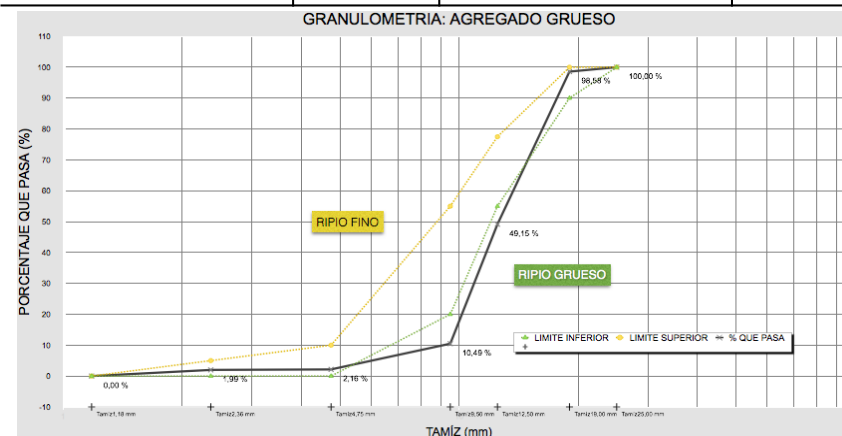




Tabla 4.19 Resumen De Propiedades Físicas Del Agregado Grueso

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C29, NTE INEN 858
DENSIDAD SUELTA:	1,202 gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,331 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C128, NTE INEN 857
PESO ESPECIFICO:	2,347 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS:	2,424 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,543 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	3,286 %
ABRASIÓN	NORMA: ASTM C131, NTE INEN 860
GRADACIÓN:	B
NUMERO DE ESFERAS:	11
PORCENTAJE DE PERDIDA 500 Rev.:	26,12 %
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,24

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO			NORMA: ASTM C136, NTE INEN 696		
TAMIZ N°.	TAMAÑO DE ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1"	25.00	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
3/4"	19.00	43,30	0,56%	0,56%	99,44%
1/2"	12,50	4199,50	54,03%	54,58%	45,42%
3/8"	9,50	2757,00	35,47%	90,05%	9,95%
4	4,75	585,90	7,54%	97,59%	2,41%
8	2,36	17,20	0,22%	97,81%	2,19%
BANDEJA		170,10	2,19%	100,00%	0,00%
TOTAL:		7773,00	MODULO DE FINURA:		7,43

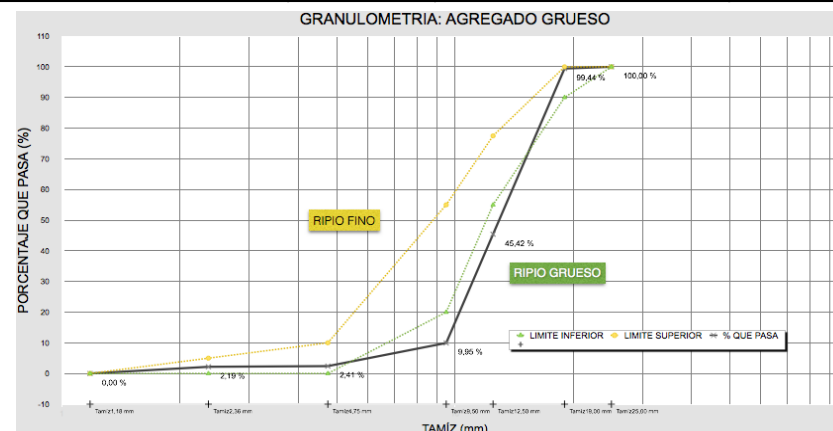




Tabla 4.20 Resumen De Propiedades Físicas Del Cemento

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	NORMA: ASTM C 188, NTE INEN 156
DENSIDAD REAL:	2,993 gr/cm ³
CONSISTENCIA NORMAL	NORMA: ASTM C 187, NTE INEN 157
CONSISTENCIA:	26,900 %
TIEMPOS DE FRAGUADO	NORMA: ASTM C 191, NTE INEN 158
FRAGUADO INICIAL:	169 minutos
FRAGUADO FINAL:	385 minutos



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Desde 1867

CAPÍTULO 4.- ENSAYOS DE LOS MATERIALES A UTILIZARSE PARA EL DISEÑO DE CONCRETO



CAPÍTULO 5.- DISEÑO DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI DE LA MUESTRA PATRÓN Y DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES

5.1 MÉTODO DE DISEÑO DEL ACI

Hay una variedad de métodos establecidos para el diseño de mezclas de concreto. Todos buscan encontrar las cantidades óptimas de los materiales inmersos en la mezcla para así garantizar calidad y economía. Al conocer las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido tiene como finalidad determinar el tipo de mezcla a diseñar.

Dentro de los métodos para dimensionamiento de materiales para una mezcla podemos encontrar los siguientes:

- Analíticos
- Experimentales
- Semi analíticos
- Empíricos

Es pertinente aclarar que el diseñador es el que determinará que método es el más adecuado para el tipo de concreto que se desea obtener, esto será más evidente cuando se verifique los resultados obtenidos con cada método practicado.

El método más difundido y practicado es el método del ACI, que es un método basado en la experiencia, es un método empírico.

En este método, el ACI ya estableció previamente las relaciones que tendrá los componentes de la mezcla, que no son más que una aproximación a la dosificación correcta. (Luna Hermosa , 2014)

Sabemos que los principales componentes de la mezcla de concreto son: agua, cemento y agregados, en algunos casos de aditivos.

Con referencia a la norma NTE INEN 694, se considera como aditivo al material diferente a las fibras de refuerzo, material hidráulico



cementante, agregados o agua. Un aditivo es una incorporación a la mezcla con fines de trabajabilidad, retardo en su fraguado o aceleración en su endurecimiento. Esto se logra al modificar algunas de las propiedades de la mezcla fresca, y su adición se la realiza incorporándole al agua de amasado final de cada vaciada de mezcla.

Una mezcla debe ser diseñada de tal forma que sus prestaciones sean las más adecuadas tanto para un estado fresco como para un estado endurecido. En un estado fresco debe suplir las prestaciones de manejabilidad y economía, mientras que para el estado endurecido debe solventar la resistencia adecuada, la durabilidad y el acabado final. (ASOCRETO, 2010)

Para proceder con el diseño de mezclas de concreto se debe conocer una serie de características propias de cada uno de los elementos a incorporarse. Dentro de estos los principales detallamos a continuación:

- De los agregados tanto finos como gruesos.
 - a) Análisis granulométrico
 - b) Módulo de finura
 - c) Tamaño máximo nominal
 - d) Densidad real en estado saturado con superficie seca (D_{sss})
 - e) Porcentaje de absorción
 - f) Peso unitario suelto y compactado (densidad aparente)
 - g) Contenido de humedad
- Del cemento
 - a) Tipo de cemento y si tiene o no inductor de aire
 - b) Densidad real
 - c) Densidad aparente suelta

(Luna Hermosa , 2014)

5.1.1 MÉTODO DEL ACI

Para emplear el método del ACI en el diseño de mezclas de concreto debemos considerar nueve pasos que a continuación se describen:



5.1.1.1 Selección del revenimiento

El revenimiento si por diseño o especificación técnica de la obra no se lo define, lo podemos definir en la tabla 5.1 recomendada por ACI de acuerdo al tipo de construcción que se requiera.

Tabla 5.1 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.

ASENTAMIENTO O (cm)	CONSISTENCIA (tipo de concreto)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0 - 2,00	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta
2,00 - 3,50	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,50 - 5,00	Semi - seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5,00 - 10,00	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,00 - 15,00	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

(ASOCRETO, 2010)

5.1.1.2 La elección del tamaño máximo del agregado

Para elegir el tamaño máximo del agregado, debemos considerar tres aspectos muy importantes:

- $2/3$ de la longitud de la fibra



- 1/5 del lado mayor del elemento
- 3/4 de la distancia libre entre barras de armado

Si consideramos como adecuado deberíamos elegir el de menor diámetro calculado, pero por cuestiones de economía es preferible el mayor tamaño disponible, considerando una adecuada trabajabilidad sin que en el proceso el concreto no permita llenar con certeza todos los espacios. Para nuestro caso, al tratarse de un concreto reforzado con fibras, se recomienda trabajar con un agregado de 19 mm como tamaño máximo.

5.1.1.3 Contenidos de agua recomendables

El contenido de agua recomendados está en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido. Lo podemos visualizar en la tabla 5.2

Tabla 5.2 Cantidades aproximadas de agua de amasado en kilogramos.

CANTIDADES APROXIMADAS DE AGUA DE AMASADO EN KILOGRAMOS O LITROS POR 1 M3 DE CONCRETO EN FUNCIÓN DEL REVENIMIENTO Y EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

Revenimiento	Tamaño Máximo del Agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
% aire atrapado	3,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,50	0,30	0,20

(ACI 211.1, 2002, p. 22)

5.1.1.4 Relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días

Esta relación está basada de acuerdo a la resistencia que se desea alcanzar en el diseño de la mezcla de concreto. Se la representa en la tabla 5.3



Tabla 5.3 Relación agua/cemento en peso con respecto al f'c

RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN PESO VS. f'c	
f'c(Kg/cm2) a 28 días	Sin Aire Incorporado
150	0,79
200	0,69
250	0,61
300	0,54
350	0,47
400	0,42
450	0,38

(ACI 211.1, 2002, p. 22)

5.1.1.5 El contenido de cemento

Es el producto de la división del contenido de agua recomendable y la relación agua cemento, cuando se requiera un mínimo de cemento a utilizar de acuerdo a requisitos de durabilidad se lo debería informar en las especificaciones correspondientes.

5.1.1.6 Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto

Estos valores se los obtienen por variables como la del tamaño máximo nominal de la grava y del módulo de finura de la arena. El volumen del agregado se muestra en metros cúbicos con base en compactado en seco para un metro cúbico de concreto (1 m³). Del volumen aparente compactado del agregado grueso se calculará el volumen real de sólidos gruesos en sss, por metro cúbico de hormigón de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen Real s.s.s.} = \text{Volumen aparente compactado} \times \frac{\text{Densidad Compactada}}{\text{Densidad Real s.s.s.}}$$



El volumen del agregado lo podemos calcular de acuerdo a la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Volumen del agregado grueso compactado en seco para 1 m³ con relación al módulo de finura de la arena

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO COMPACTADO EN SECO
POR 1 M³ DE CONCRETO VS MODULO DE FINURA DE LA ARENA

Tamaño Máximo Agregado Grueso	Módulo de Fineza de la Arena			
	2,4	2,6	2,8	3
3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,79	0,78	0,75
4"	0,87	0,85	0,83	0,81

(ACI 211.1, 2002, p. 23)

5.1.1.7 Volumen del agregado fino

El volumen del agregado fino se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_{\text{arena}} = 1000 \text{ dm}^3 - (V_{\text{AGUA}} + V_{\text{CEMENTO}} + V_{\text{ARE}} + V_{\text{ARE}})$$

5.1.1.8 Corrección por contenido de humedad

Esta corrección se la efectúa para agregados finos y gruesos, ya sea que estos estén en condición saturada o muy seca en su superficie.

Este incremento de humedad se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta w = W_m \left(\frac{100 + \%Ab}{100 + W\%} - 1 \right)$$



Donde:

Δw : Diferencia de agua, entre condición saturada y estado natural

W_m : Peso del material en estado natural

%Ab: Porcentaje de absorción del material

W%: Contenido de humedad del agregado

Entonces para el caso de materiales secos, la corrección de la dosificación consistirá en sumar la diferencia de agua (Δw) a la cantidad de agua de diseño, y a los pesos de los materiales se debe restar esta diferencia Δw que se está considerando en demasía en aquel material seco.

En el caso contrario, cuando el material este sobre saturado, por ejemplo luego de una lluvia, la corrección será a la inversa, es decir, se resta el Δw del agua de amasado y se suma Δw a la cantidad de material necesario. (Luna Hermosa , 2014, p. 136)

5.1.1.9 Ajustes a las mezclas de prueba

Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto el informe ACI 211.1-91, en la página 13, proporciona cuatro recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

5.2 DOSIFICACIÓN PARA LA MUESTRA PATRÓN

Para la dosificación de la muestra patrón, utilizaremos los resultados obtenidos, en laboratorio, de las características específicas de los materiales a utilizarse en esta investigación.

En la tabla 5.5 tenemos el resumen del agregado fino, en la tabla 5.6 el resumen del agregado grueso y en la tabla 5.7 las propiedades del cemento.



Tabla 5.5 Resumen de las propiedades del Agregado Fino

DENSIDADES APARENTES		NORMA: ASTM C 29, NTE INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:		1,389 gr/cm ³	
DENSIDAD COMPACTADA:		1,567 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN		NORMA: ASTM C 127, NTE INEN 856	
PESO ESPECIFICO:		2,364 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO SSS:		2,446 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO APARENTE:		2,570 gr/cm ³	
ABSORCIÓN DE AGUA:		3,455 %	
CONTENIDO ORGÁNICO		NORMA: ASTM C 40, NTE INEN 855	
ESCALA DE GARDNER:		2	
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO		NORMA: ASTM C 136, NTE INEN 696	
TOTAL:	586,90	MODULO DE FINURA:	3,57

Tabla 5.6 Resumen de las propiedades del Agregado Grueso

DENSIDADES APARENTES		NORMA: ASTM C 29, NTE INEN 858	
DENSIDAD SUELTA:		1,208 gr/cm ³	
DENSIDAD COMPACTADA:		1,351 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN		NORMA: ASTM C 128, NTE INEN 857	
PESO ESPECIFICO:		2,351 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO SSS:		2,429 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO APARENTE:		2,549 gr/cm ³	
ABSORCIÓN DE AGUA:		3,300 %	
ABRASIÓN		NORMA: ASTM C 131, NTE INEN 860	
GRADACIÓN:		B	
NUMERO DE ESFERAS:		11	
PORCENTAJE DE PERDIDA 500 Rev. :		27,11 %	
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:		0,26	
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO		NORMA: ASTM C 136, NTE INEN 696	
TOTAL:	9011,20	MODULO DE FINURA:	7,4



Tabla 5.7 Resumen de las propiedades del Cemento

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	NORMA: ASTM C 188, NTE INEN 156
DENSIDAD REAL:	2,993 gr/cm ³
CONSISTENCIA NORMAL	NORMA: ASTM C 187, NTE INEN 157
CONSISTENCIA:	26,900 %
TIEMPOS DE FRAGUADO	NORMA: ASTM C 191, NTE INEN 158
FRAGUADO INICIAL:	169 minutos
FRAGUADO FINAL:	385 minutos

5.2.1 PROCESO DE DOSIFICACIÓN

5.2.1.1 Comprobación de idoneidad de los materiales a utilizarse

La mezcla de prueba se efectuó de acuerdo a la norma ASTM C 31, evidenciando en el proceso que el agregado fino tiende a ser muy grueso, por lo tanto, se corregirá la granulometría del agregado fino. En la tabla 5.8 se representa los porcentajes de pesos corregidos de la granulometría al agregado fino. En la figura 5.1 tenemos la curva granulométrica de la corrección del agregado fino. Los demás materiales a intervenir en el proceso de dosificación son idóneos para su utilización.

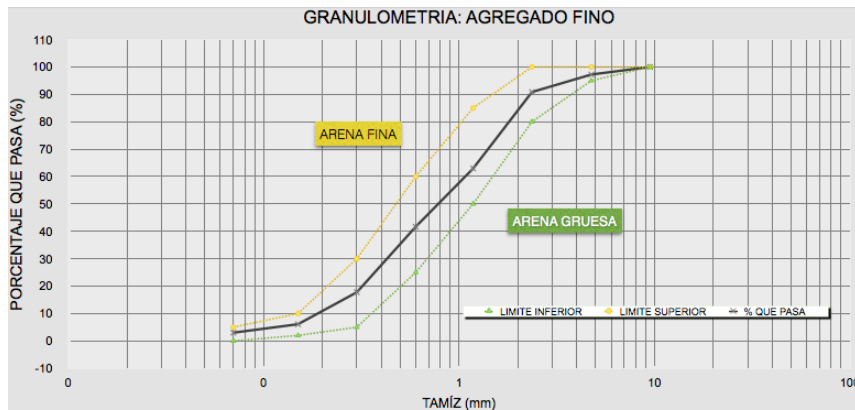


Figura 5.1 Curva granulométrica agregado fino. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

TABLA 5.8 Corrección de la granulometría del agregado fino

DENSIDADES APARENTES	NORMA: ASTM C 29, NTE INEN 858
DENSIDAD SUELTA:	1,389 gr/cm ³
DENSIDAD COMPACTADA:	1,567 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN	NORMA: ASTM C 127, NTE INEN 856
PESO ESPECIFICO:	2,364 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS:	2,446 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE:	2,570 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA:	3,455 %
CONTENIDO ORGÁNICO	NORMA: ASTM C 40, NTE INEN 855
ESCALA DE GARDNER:	2



GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO			NORMA: ASTM C 136, NTE INEN 696		
TAMIZ N°.	TAMAÑO DE ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	9,50	0	0,00%	0,00%	100,00%
4	4,75	41,70	2,77%	2,77%	97,23%
8	2,38	96,10	6,39%	9,16%	90,84%
16	1,19	420,10	27,92%	37,08%	62,92%
30	0,59	319,80	21,25%	58,33%	41,67%
50	0,30	359,70	23,91%	82,24%	17,76%
100	0,15	175,50	11,66%	93,91%	6,09%
BANDEJA		91,70	6,09%	100,00%	0,00%
TOTAL:		1504,60	MODULO DE FINURA:		2,83

5.2.1.2 Información para Diseño de Mezcla de prueba

Para proceder con la dosificación de la mezcla de concreto, es necesario saber en que tipo de elementos de estructura será utilizada, para lo cual necesitamos datos de entrada de acuerdo a las especificaciones solicitadas. En nuestro caso realizaremos una mezcla para pavimentos. Para la determinación de la resistencia promedio si no existen datos de campo para calcular la desviación estándar, hay que tomar el valor de f'_{cr} de la tabla 5.9

Tabla 5.9 Requisitos de la resistencia a la compresión cuando no se disponen de datos estadísticos.

RESISTENCIA ESPECIFICADA f'_c (MPa)	RESISTENCIA MEDIA REQUERIDA f'_{cr} (MPa)
Menos de 21	$f'_c + 7.0$
21 a 35	$f'_c + 8.5$
Más de 35	$1.10 f'_c + 5.0$

(NEC, 2011, p. 26)

En la tabla 5.10 describimos la información para el diseño del concreto solicitado.

Tabla 5.10 Información básica para el diseño de Concreto

TIPO DE ESTRUCTURA A FABRICAR:	PAVIMENTOS
DIMENSIÓN MÍNIMA DE ELEMENTOS:	100 mm
CONDICIONES DE EXPOSICIÓN:	NORMALES
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, A LOS 28 DÍAS f'_c :	21 MPa
RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN, A LOS 28 DÍAS f'_{cr} :	29.5 MPa



CONSISTENCIA DESEADA (ASENTAMIENTO):	50 mm
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO A EMPLEAR:	19 mm
TIPO DE AGREGADO GRUESO A EMPLEAR:	TRITURADO
TIPO DE AGREGADO FINO A EMPLEAR:	TRITURADO
TIPO DE CEMENTO A EMPLEAR:	IP
TIPO DE ADITIVO A EMPLEAR:	NO
UTILIZACIÓN DE VIBRADORES EN OBRA:	SI
DOSIFICACIÓN EN:	PESO
COMPROBACIÓN DE RESISTENCIA A:	28

Con estos datos procedemos al dimensionamiento de la mezcla de concreto.

5.2.1.3 Diseño de dosificación de materiales ($f'c = 21 \text{ MPa}$)

Con toda la información lista, procedemos con el cálculo de la dosificación para la primera muestra de diseño de concreto. En la tabla 5.11 podemos observar el desarrollo del cálculo de las dosificaciones, correcciones por humedad y pesos para la elaboración de los especímenes cilíndricos para probar la resistencia a los 7 días y 14 días. Con esta prueba podemos ya tener una idea de que resistencia llegaría a tener a los 28 días de fraguado.

Tabla 5.11 Diseño de la mezcla patrón por el método del ACI concreto sin aire incorporado

DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN POR EL MÉTODO DEL ACI CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO

1.0 INGRESO DE DATOS	
Selección de la resistencia de diseño $F'cr$	301 kg/cm ²
Peso específico del cemento	2,993 kg/dm ³
Ingresar Slump (mm)	25 - 50
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Peso específico del agua	1,000 kg/dm ³
Características Físicas del Agregado Grueso	
Peso Especifico SSS	2,429 kg/dm ³



Peso Volumétrico Compactado Seco	1,351 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	3,30%
Contenido de Humedad	3,10%
Características Físicas del Agregado Fino	
Peso Especifico SSS	2,446 kg/dm ³
Módulo de Finura	2,83
Porcentaje de Absorción	3,45%
Contenido de Humedad	3,70%

2.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Peso del agua de amasado (Ref. Tabla 5.2)	190 lt o dm ³
---	--------------------------

a). Volumen del agua	190,000 dm³
-----------------------------	-------------------------------

Relación Agua/Cemento (Ref. Tabla 5.3, interpolación lineal)	Rango F _c	Rango A/C
	300 kg/cm ²	0,54
	301 kg/cm²	0,539
	350 kg/cm ²	0,47

Peso del cemento	352,505 kg
------------------	------------

b). Volumen del cemento	117,776 dm³
--------------------------------	-------------------------------

Volumen del agregado grueso compactado en seco (Ref. Tabla 5.4, interpolación lineal)	Rango Fineza	Rango Agregado
	2,80	0,62 m ³
	2,83	0,617 m³
	3,00	0,60 m ³

c). Volumen del ripio	343,173 dm³
------------------------------	-------------------------------

Porcentaje de aire atrapado (Ref. Tabla 5.2)	2,00 %
--	--------

d). Volumen de aire atrapado	20,000 dm³
-------------------------------------	------------------------------

e). Volumen de arena	329,051 dm³
-----------------------------	-------------------------------

3.0 CALCULO DE VALORES DE DISEÑO

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso	Proporción (en peso)
Agua	190,00 dm ³	1,000 Kg/dm ³	190,00 kg	0,54
Cemento	117,78 dm ³	2,993 Kg/dm ³	352,50 kg	1,00
Arena (seca)	329,05 dm ³	2,446 Kg/dm ³	804,86 kg	2,28
Ripio (seco)	343,17 dm ³	2,429 Kg/dm ³	833,57 kg	2,36



Figura 5.2 Proceso de fabricación de la mezcla patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

Aire	20,00 dm ³		
	1000,00 dm ³		2180,93 kg

4.0 CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Elemento	Peso Absoluto	Corrección por Humedad	Peso Corregido	
Peso arena húmeda	804,86 kg	1,94 kg	806,80 kg	
Peso ripio húmeda	833,57 kg	-1,62 kg	831,95 kg	
Elemento	Humedad	Absorción	Humedad Superficial	Contribución de agua
Arena	3,70%	3,45%	-0,24%	-1,94 kg
Piedra	3,10%	3,30%	0,19%	1,62 kg
				-0,32 kg

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	190,00 kg	-0,32 kg	189,68 kg	0,54
Cemento	352,50 kg		352,50 kg	1,00
Arena (seca)	804,86 kg	1,94 kg	806,80 kg	2,29
Ripio (seco)	833,57 kg	-1,62 kg	831,95 kg	2,36
Aire				
7,05 sacos/m ³	2180,93 kg		2180,93 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Numero de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				7,24 kg
Cemento				13,45 kg
Arena (seca)	0,0053 m ³	6 UNIDADES	0,0382 m ³	30,80 kg
Ripio (seco)				31,76 kg

Con las dosificaciones del punto 6 de la tabla 5.11, obtenemos nuestros primeros pesos para proceder con la fabricación de la mezcla para especímenes de la matriz patrón.(figura 5.2)

5.2.2 AJUSTE A LA DOSIFICACIÓN DE PRUEBA

En la mezcla de prueba se obtuvo un asentamiento de 10 mm, faltando 40 mm para el requerimiento propuesto, Al necesitar un asentamiento de 50 mm, se procede al ajuste de la mezcla de prueba



Figura 5.3 *Proceso de verificación del revenimiento de la mezcla patrón.*
Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

(figura 5.3). Para la corrección de 40 mm de asentamiento faltante, se adopta el criterio a aumentar 2 Kg de agua por cada 10 mm de defecto en el asentamiento. Realizando la corrección tenemos los siguientes resultados representados en la tabla 5.12

Tabla 5.12 Corrección de Diseño de la mezcla patrón por el método del ACI concreto sin aire incorporado

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS				
Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				7,55 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)	0,0053 m ³	6, unidades	0,0382 m ³	28,69 kg
Ripio (seco)				31,76 kg
Aire				

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				8,01 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)	0,0113 m ³	3, unidades	0,0405 m ³	30,44 kg
Ripio (seco)				33,69 kg
Aire				

Con el ajuste efectuado a la mezcla obtuvimos un asentamiento de 46 mm, tiene una buena trabajabilidad y no presenta segregación de los elementos. Con este parámetro se procede al pesaje de los materiales para la fabricación de especímenes cilíndricos y prismáticos.

5.2.3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PRUEBA

Los resultados se muestran en la tabla 5.13, los especímenes fueron probados a los 7 y 28 días de fraguado, con un curado de cámara húmeda (figura 5.4).

Tabla 5.13 Ensayos de resistencia a la compresión en especímenes de prueba

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE PRUEBA MUESTRA PATRÓN
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta
Diseñada para: $f_c = 210,00 \text{ Kg/cm}^2$

Asentamiento en Cono de Abrams= 4,60 cm

1 MPa=10,2
Kg/cm²



IDEN. DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO	ÁREA	CARGA	RESISTENCIA	% DE RESISTENCIA
P.D.1	7	17/02/2015	24/02/2015	15,20 cm	181,46 cm ²	25.994,00 Kg	143,25 Kg/cm ²	68,21%
P.M.	7	17/02/2015	24/02/2015	15,20 cm	181,46 cm ²	26.140,00 Kg	144,06 Kg/cm ²	68,60%
P.D.3	7	17/02/2015	24/02/2015	15,20 cm	181,46 cm ²	25.709,00 Kg	141,68 Kg/cm ²	67,47%

Promedio= $f_c=14,02 \text{ MPa}$

IDEN. DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO	ÁREA	CARGA	RESISTENCIA	% DE RESISTENCIA
P.D.4	28	17/02/2015	17/03/2015	15,20 cm	181,46 cm ²	39.390,00 Kg	217,07 Kg/cm ²	103,37%
P.D.5	28	17/02/2015	17/03/2015	15,20 cm	181,46 cm ²	38.940,00 Kg	214,59 Kg/cm ²	102,19%
P.D.6	28	17/02/2015	17/03/2015	15,20 cm	181,46 cm ²	38.670,00 Kg	213,11 Kg/cm ²	101,48%

Promedio= $f_c=21,07 \text{ MPa}$

En vista que la resistencia a la compresión está dentro de los parámetros de lo proyectado, se acepta la dosificación planteada.

5.2.4 RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PRUEBA

Los requisitos de aceptabilidad del hormigón trabajando a tracción establecen, según el ACI 325. 9R y según la norma INEN 1855-1:2001, que:

- El promedio de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos de resistencia (media móvil) debe ser igual o superior al Módulo de Rotura (MR) especificado. (figura 5.5)

Figura 5.4 Ensayo de Resistencia a la Compresión de la muestra patrón.
Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

- Ningún resultado individual del ensayo de resistencia puede estar 0,5 MPa por debajo del Módulo de Rotura especificado. (INECYC, 2009, p. 6)

La resistencia Promedio Requerida a Tracción por Flexión se describe con las siglas MRr. Cuando la desviación estándar es desconocida se determina de acuerdo a la tabla 5.14

Tabla 5.14 Resistencia Promedio Requerida a Tracción por Flexión (MRr) Cuando la Desviación Estándar es Desconocida

RESISTENCIA ESPECIFICA (MR)	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA (MRr)
Menor que 2,5 MPa	MR + 0,92 MPa
Entre 2,5 y 4,0 MPa	MR + 1,11 MPa
Mayor de 4,0 MPa	MR + 1,31 MPa

(INECYC, 2009, p. 7)

Respecto a la correlación entre la resistencia a compresión (f'_c), a tracción por compresión diametral (f_t) y a tracción por flexión (MR), se han recomendado algunas ecuaciones como la de Adam Neville. El American Concrete Institute preconiza otra ecuación muy similar a la de Neville. Estas ecuaciones se las representa en la tabla 5.15

Tabla 5.15 Fórmulas para la correlación entre f'_c , f_t y MR

Adam M. Neville	American Concrete Institute	Burg y Ost (1992)
$f_t = 0,3 \cdot (f'_c)^{2/3}$	$MR = 0,392 \cdot (f'_c)^{2/3}$	$f_t = 0,61 \cdot (f'_c)^{0,5}$
$MR = 1,333 \cdot (f_t)$		
$MR = 0,399 \cdot (f'_c)^{2/3}$		

(INECYC, 2009, p. 8)

Con estas consideraciones se realizó las pruebas de resistencia a tracción por flexión, dándonos los siguientes resultados que los presentamos en la tabla 5.16



Figura 5.5 *Ensayo de Resistencia a la Tracción por flexión de la muestra patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.*



Tabla 5.16 Ensayos de resistencia a la tracción por flexión en especímenes de prueba

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MR) MATRIZ DE PRUEBA

Método del American Concrete Instituto (ACI) Probeta Diseñada para:										f'c= 20,59 MPa	
	DIMENSIONES				Carga (Kgf)	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico		Módulo de Ruptura Experimental		
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud entre apoyo (mm)							
Nº1	400,00	106,00	98,00	300,00	1403,30	Tercio Medio	2,94 MPa	30,04 Kg/cm2	4,05 MPa	41,35 Kg/cm2	
Nº2	400,00	102,00	102,00	300,00	1423,60	Tercio Medio			3,95 MPa	40,24 Kg/cm2	
Nº3	400,00	102,50	101,50	300,00	1432,90	Tercio Medio			3,99 MPa	40,71 Kg/cm2	
							Promedio =		4,00 MPa	40,77 Kg/cm2	

5.3 CONCENTRACIONES DE FIBRA

5.3.1 PLANTEAMIENTO DE CONCENTRACIONES DE FIBRA PARA MUESTRAS DE PRUEBA

Para la presente investigación se ha planteado incorporar a la matriz patrón cuatro porcentajes de fibras naturales con relación del volumen absoluto de la mezcla

Estos porcentajes son:

- 1,50 % de la fibra con respecto del volumen absoluto de la mezcla
- 2,50 % de la fibra con respecto del volumen absoluto de la mezcla
- 5,00 % de la fibra con respecto del volumen absoluto de la mezcla
- 8,00 % de la fibra con respecto del volumen absoluto de la mezcla

5.3.2 PREPARACIÓN DEL HORMIGÓN DE PRUEBA Y ADICIÓN DE FIBRAS

Teniendo como base la muestra patrón, procedemos a la incorporación de fibra natural de acuerdo al porcentaje solicitado (figura 5.6). Para todos los casos procedemos de la siguiente manera:

- Mediante el diseño de dosificación de la muestra patrón, procedemos a incorporar un elemento mas que es la fibra natural
- Ya ingresada la fibra a la dosificación de la mezcla con refuerzo natural, procedemos a verificar el contenido de humedad de la fibra
- Realizamos la corrección por humedad de la fibra, teniendo en cuenta que la fibra se la incorporará saturada en agua, para una mayor trabajabilidad en la mezcla
- Procedemos al mezclado de los materiales y como último elemento la incorporación de las fibras
- Hay que tener mucho cuidado al incorporar las fibras a la mezcladora, debido a que si se concentran en un solo lugar puede crearse bolas en la mezcla y esto es poco o nada recomendable para la investigación.

5.3.2.1 Incorporación a la matriz de cemento del 1,5% de fibra natural

En la tabla 5.17 se muestra el resumen de la dosificación de los mariales con una inclusión de fibra del 1,5% y aditivo acelerador de fraguado para 14 días.

Tabla 5.17 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 1,5% de fibra natural

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN CRFN 1,50%				
Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	0,15 kg	198,15 kg	0,50
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	-2,55 kg	747,19 kg	1,89
Ripio (seco)	833,57 kg	-4,87 kg	828,70 kg	2,09



Figura 5.6 Adicionamiento de fibra a la muestra patrón. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



Fibra (seco)	17,06 kg	7,27 kg	24,33 kg	0,06
Aire				
7,92 sacos/m3	2194,37 kg		2194,37 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Numero de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	7,56 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,52 kg
Ripio (seco)				31,63 kg
Fibra (seco)				0,93 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	8,03 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,26 kg
Ripio (seco)				33,56 kg
Fibra (seco)				0,99 kg
Aditivo				0,24 kg

5.3.2.2 Incorporación a la matriz de cemento del 2,5% de fibra natural

En la tabla 5.18 se muestra el resumen de la dosificación de los mariales con una inclusión de fibra del 2,5% y aditivo acelerador de fraguado para 14 días.

Tabla 5.18 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 2,5% de fibra natural

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN CRFN 2,50%

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	-10,00 kg	188,00 kg	0,47
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	1,81 kg	751,55 kg	1,90
Ripio (seco)	833,57 kg	-3,24 kg	830,33 kg	2,10



Fibra (seco)	28,43 kg	11,43 kg	39,86 kg	0,10
Aire				
7,92 sacos/m3	2205,74 kg		2205,74 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	7,18 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,69 kg
Ripio (seco)				31,69 kg
Fibra (seco)				1,52 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	7,61 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,44 kg
Ripio (seco)				33,63 kg
Fibra (seco)				1,61 kg
Aditivo				0,24 kg

5.3.2.3 Incorporación a la matriz de cemento del 5,0% de fibra natural

En la tabla 5.19 se muestra el resumen de la dosificación de los materiales con una inclusión de fibra del 5,0% y aditivo acelerador de fraguado para 14 días.

Tabla 5.19 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 5,0% de fibra natural

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN CRFN 5,00%

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	-26,58 kg	171,42 kg	0,43
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	3,25 kg	752,99 kg	1,90
Ripio (seco)	833,57 kg	-0,81 kg	832,76 kg	2,10
Fibra (seco)	56,85 kg	24,14 kg	80,99 kg	0,20



Aire			
7,92 sacos/m3	2234,16 kg		2234,16 kg

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	6,54 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,74 kg
Ripio (seco)				31,79 kg
Fibra (seco)				3,09 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	6,94 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,50 kg
Ripio (seco)				33,73 kg
Fibra (seco)				3,28 kg
Aditivo				0,24 kg

5.3.2.4 Incorporación a la matriz de cemento del 8,0% de fibra natural

En la tabla 5.20 se muestra el resumen de la dosificación de los mariales con una inclusión de fibra del 8,0% y aditivo acelerador de fraguado para 14 días.

Tabla 5.20 Resumen de dosificación de concreto reforzado con el 8,0% de fibra natural

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN CRFN 8,00%

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	-47,19 kg	150,81 kg	0,38
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	4,68 kg	754,42 kg	1,91
Ripio (seco)	833,57 kg	1,61 kg	835,18 kg	2,11
Fibra (seco)	90,96 kg	40,90 kg	131,86 kg	0,33
Aire				



7,92 sacos/m3	2268,27 kg		2268,27 kg
---------------	------------	--	------------

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	5,76 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,80 kg
Ripio (seco)				31,88 kg
Fibra (seco)				5,03 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	6,11 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,55 kg
Ripio (seco)				33,82 kg
Fibra (seco)				5,34 kg
Aditivo				0,24 kg

5.3.3 RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN POR FLEXIÓN EN MUESTRAS DE PRUEBA

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y de resistencia de la tracción por flexión son referenciados con la dosificación de la muestra patrón para un concreto de 21 MPa.

5.3.3.1 Especímenes de Muestra Patrón

En la tabla 5.21 se muestra el informe de los resultados obtenidos para los ensayos de Compresión y Tracción por Flexión de los especímenes de prueba



Tabla 5.21 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de Muestra Patrón

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE PRUEBA MUESTRA PATRÓN

Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para: $f_c = 20,59 \text{ MPa}$

Asentamiento en Cono de Abrams= 4,60 cm

1 MPa=10,2 Kg/cm²

IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	ALTURA (mm)	MASA (gr)	DENSIDAD (Kg/m ³)	CARGA DE RUPTURA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	% DE RESISTENCIA
MP 1	7	18/03/2015	25/03/2015	161,80	158,00	159,90	20081,07	303,30	13590,00	2.231,31	311,00	15,49	75,22%
MP 2	7	18/03/2015	25/03/2015	152,90	154,00	153,45	18493,69	303,70	12520,00	2.229,13	284,00	15,36	74,59%
MP 3	14	18/03/2015	01/04/2015	153,40	154,40	153,90	18602,32	302,20	12490,00	2.221,78	312,00	16,77	81,46%
MP 4	14	18/03/2015	01/04/2015	151,40	152,50	151,95	18133,90	299,50	12010,00	2.211,34	318,00	17,54	85,18%
MP 5	28	18/03/2015	15/04/2015	152,50	152,00	152,25	18205,58	304,20	12200,00	2.202,91	385,00	21,15	102,72%
MP 6	28	18/03/2015	15/04/2015	150,80	150,80	150,80	17860,46	302,20	11840,00	2.193,64	391,00	21,89	106,33%

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MR) MUESTRA PATRÓN

Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para: $f_c = 20,59 \text{ MPa}$

	DIMENSIONES				Masa (gr)	DENSIDAD (Kg/m ³)	Carga (KN)	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico	Módulo de Ruptura Experimental		
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud entre apoyo (mm)								
Nº1	535,00	151,30	149,00	450,00	26390,00	2188,07	30,12	Tercio Medio	2,94 MPa	30,04 Kg/cm ²	4,03 MPa	41,12 Kg/cm ²
Nº2	535,00	151,00	147,30	450,00	26150,00	2197,55	29,25	Tercio Medio			4,01 MPa	40,94 Kg/cm ²
Nº3	533,00	152,30	147,70	450,00	25860,00	2156,85	29,87	Tercio Medio			4,04 MPa	41,23 Kg/cm ²
									Promedio=	4,03 MPa	41,09 Kg/cm ²	



5.3.3.2 Especímenes de CRFN con 1,50% de fibra

En la tabla 5.22 se muestra el informe de los resultados obtenidos para los ensayos de Compresión y Tracción por Flexión de los especímenes con incorporación del 1,50% de fibra natural.

Tabla 5.22 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 1,5% de fibra

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE PRUEBA CRFN 1,5% DE FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:											f'c = 20,59 MPa		
Asentamiento en Cono de Abrams= 3,70 cm											1 MPa=10,2 Kg/cm2		
IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (cm2)	ALTURA (mm)	MASA (gr)	DENSIDAD (Kg/m3)	CARGA DE RUPTURA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	% DE RESISTENCIA
RF 1,5%-1.1	7	23/04/2015	30/04/2015	152,10	154,00	153,05	18397,40	306,60	12089,60	2.143,30	252,00	13,70	66,53%
RF 1,5%-1.2	7	23/04/2015	30/04/2015	151,50	151,90	151,70	18074,28	304,70	11821,84	2.146,60	241,00	13,33	64,76%
RF 1,5%-1.3	14	23/04/2015	07/05/2015	158,80	151,90	155,35	18954,50	306,60	12441,63	2.140,88	313,00	16,51	80,21%
RF 1,5%-1.4	14	23/04/2015	07/05/2015	155,00	152,40	153,70	18554,00	304,70	12089,38	2.138,43	309,00	16,65	80,89%
RF 1,5%-1.5	28	23/04/2015	21/05/2015	152,20	152,40	155,35	18954,50	306,60	12400,00	2.133,72	349,00	18,41	89,43%
RF 1,5%-1.6	28	23/04/2015	21/05/2015	150,30	150,60	153,70	18554,00	304,70	12050,00	2.131,46	351,00	18,92	91,89%
PROMEDIO=											18,67	90,66%	

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MR) CRFN, 1,50% FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:											f'c= 20,59 MPa		
No	DIMENSIONES				Masa (gr)	DENSIDAD (Kg/m3)	Carga (KN)	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico		Módulo de Ruptura Experimental		
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud entre apoyo (mm)									
Nº1	535,00	155,00	152,00	450,00	26886,00	2133,03	27,04	Tercio Medio	2,94 MPa	30,04 Kg/cm2	3,39 MPa	34,62 Kg/cm2	
Nº2	598,00	150,80	155,60	450,00	30010,00	2138,72	26,98	Tercio Medio			3,32 MPa	33,89 Kg/cm2	
Nº3	534,00	153,60	152,40	450,00	26724,00	2137,88	26,56	Tercio Medio			3,35 MPa	34,14 Kg/cm2	



Promedio=	3,35 MPa	34,22 Kg/cm2
-----------	----------	--------------

5.3.3.3 Especímenes de CRFN con 2,50% de fibra

En la tabla 5.23 se muestra el informe de los resultados obtenidos para los ensayos de Compresión y Tracción por Flexión de los especímenes con incorporación del 2,50% de fibra natural.

Tabla 5.23 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 2,5% de fibra

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE PRUEBA CRFN 2,5% DE FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:										f'c = 20,59 MPa		1 MPa=10,2 Kg/cm2	
Asentamiento en Cono de Abrams= 3,10 cm													
IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm2)	ALTURA (mm)	MASA (gr)	DENSIDAD (Kg/m3)	CARGA DE RUPTURA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	% DE RESISTENCIA
RF 2,5%-1	7	19/03/2015	26/03/2015	152,00	154,00	153,00	18385,39	304,20	11710,00	2.093,75	110,00	5,98	29,06%
RF 2,5%-2	7	19/03/2015	26/03/2015	151,60	151,90	151,75	18086,20	304,90	11570,00	2.098,11	104,70	5,79	28,12%
RF 2,5%-3	14	19/03/2015	02/04/2015	159,20	159,40	159,30	19930,65	306,10	12730,00	2.086,62	184,80	9,27	45,04%
RF 2,5%-4	14	19/03/2015	02/04/2015	152,00	152,00	152,00	18145,84	306,30	11590,00	2.085,26	173,10	9,54	46,33%
RF 2,5%-5	28	19/03/2015	16/04/2015	152,10	154,00	153,05	18397,40	304,20	11580,00	2.069,15	201,00	10,93	53,07%
RF 2,5%-6	28	19/03/2015	16/04/2015	151,50	151,90	151,70	18074,28	304,30	11310,00	2.056,36	198,00	10,95	53,21%

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MR) CRFN, 2,50% FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:										f'c= 20,59 MPa			
Nº	DIMENSIONES				Masa (gr)	DENSIDAD (Kg/m3)	Carga (KN)	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico		Módulo de Ruptura Experimental		
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud entre apoyo (mm)									
Nº1	537,00	151,20	152,30	450,00	25480,00	2060,50	23,65	Tercio Medio	2,94 MPa	30,04 Kg/cm2	3,03 MPa	30,92 Kg/cm2	
Nº2	536,00	151,30	153,00	450,00	25610,00	2064,02	23,39	Tercio Medio			2,97 MPa	30,28 Kg/cm2	
Nº3	537,00	150,00	156,00	450,00	25770,00	2050,80	24,27	Tercio Medio			2,99 MPa	30,49 Kg/cm2	
Promedio=											3,00 MPa	30,56 Kg/cm2	



5.3.3.4 Especímenes de CRFN con 5,00% de fibra

En la tabla 5.24 se muestra el informe de los resultados obtenidos para los ensayos de Compresión y Tracción por Flexión de los especímenes con incorporación del 5,00% de fibra natural.

Tabla 5.24 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 5,00% de fibra

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE PRUEBA CRFN 5,00% DE FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:										f'c = 20,59 MPa			
Asentamiento en Cono de Abrams= 2,60 cm										1 MPa=10,2 Kg/cm2			
IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	ALTURA (mm)	MASA (gr)	DENSIDAD (Kg/m ³)	CARGA DE RUPTURA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	% DE RESISTENCIA
RF 5,0%-1	7	23/03/2015	30/03/2015	152,00	152,20	152,10	18169,72	306,40	10320,00	1.853,71	19,66	1,08	5,26%
RF 5,0%-2	7	23/03/2015	30/03/2015	150,20	150,30	150,25	17730,41	302,70	9749,37	1.816,54	18,90	1,07	5,18%
RF 5,0%-3	14	23/03/2015	06/04/2015	152,10	152,80	152,45	18253,44	306,60	10000,00	1.786,83	72,66	3,98	19,33%
RF 5,0%-4	14	23/03/2015	06/04/2015	150,70	150,90	150,80	17860,46	302,80	9470,00	1.751,06	71,70	4,01	19,50%
RF 5,0%-5	28	23/03/2015	20/04/2015	152,20	152,40	152,30	18217,54	306,40	9643,20	1.727,60	81,00	4,45	21,60%
RF 5,0%-6	28	23/03/2015	20/04/2015	150,30	150,60	150,45	17777,65	302,40	9185,26	1.708,58	83,00	4,67	22,68%

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MR) CRFN, 5,00% FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:										f'c= 20,59 MPa			
	DIMENSIONES				Masa (gr)	DENSIDAD (Kg/m ³)	Carga (KN)	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico		Módulo de Ruptura Experimental		
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud entre apoyo (mm)									
Nº1	593,00	151,00	157,00	450,00	24450,00	1739,19	4,87	Tercio Medio	2,94 MPa	30,04 Kg/cm2	0,59 MPa	6,00 Kg/cm2	
Nº2	599,00	150,00	155,00	450,00	24130,00	1732,64	4,69	Tercio Medio			0,59 MPa	5,97 Kg/cm2	
Nº3	540,00	150,00	151,10	450,00	21263,00	1737,30	4,53	Tercio Medio			0,59 MPa	6,07 Kg/cm2	
Promedio=										0,59 MPa	6,01 Kg/cm2		



5.3.3.5 Especímenes de CRFN con 8,00% de fibra

En la tabla 5.25 se muestra el informe de los resultados obtenidos para los ensayos de Compresión y Tracción por Flexión de los especímenes con incorporación del 8,00% de fibra natural.

Tabla 5.25 Informe de Resultados de Resistencia a Compresión simple y Resistencia a Tracción por Flexión de especímenes de CRFN con 8,00% de fibra

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE PRUEBA CRFN 8,00% DE FIBRA													
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:										f'c = 20,59 MPa			
Asentamiento en Cono de Abrams= 2,30 cm										1 MPa=10,2 Kg/cm2			
IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	PRUEBA EN DÍAS	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	DIÁMETRO 1 (mm)	DIÁMETRO 2 (mm)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm2)	ALTURA (mm)	MASA (gr)	DENSIDAD (Kg/m3)	CARGA DE RUPTURA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	% DE RESISTENCIA
RF 8,0%-1	7	24/03/2015	31/03/2015	152,10	152,40	152,25	18205,58	304,80	8320,00	1.499,35	N/C		
RF 8,0%-2	7	24/03/2015	31/03/2015	154,10	154,40	154,25	18687,03	305,80	8120,00	1.420,95	N/C		
RF 8,0%-3	14	24/03/2015	07/04/2015	160,00	160,10	160,05	20118,76	306,70	8480,00	1.374,30	N/C		
RF 8,0%-4	14	24/03/2015	07/04/2015	154,60	154,80	154,70	18796,22	306,10	7890,00	1.371,33	N/C		
RF 8,0%-5	28	24/03/2015	21/04/2015	160,00	160,10	160,05	20118,76	306,70	8420,00	1.364,57	N/C		
RF 8,0%-6	28	24/03/2015	21/04/2015	154,60	154,80	154,70	18796,22	306,10	7920,00	1.376,55	N/C		

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MR) CRFN, 8,00% FIBRA														
Método del American Concrete Instituto (ACI.) Probeta Diseñada para:										f'c= 20,59 MPa				
	DIMENSIONES				Masa (gr)	DENSIDAD (Kg/m3)	Carga (KN)	Sección de Falla	Módulo de Ruptura Teórico		Módulo de Ruptura Experimental			
	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud entre apoyo (mm)										
Nº1	533,00	150,00	156,00	450,00	17156,00	1375,54	0,71	Tercio Medio	2,94 MPa	30,04 Kg/cm2	,09 MPa	0,89 Kg/cm2		
Nº2								Tercio Medio						
Nº3								Tercio Medio						
										Promedio=	,09 MPa	0,89 Kg/cm2		



UNIVERSIDAD DE CUENCA
desde 1867

CAPÍTULO 5.- DISEÑO DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI DE LA MUESTRA PATRÓN Y DE LOS CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS NATURALES

CAPÍTULO 6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se hace un análisis de los resultados de los diferentes ensayos realizados en las mezclas de concreto reforzado con fibras naturales, con referencia a la muestra patrón.

6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En la tabla 6.1 Analizaremos la relación entre resistencia a la compresión vs porcentaje de fibra incorporada (figura 6.1).

Tabla 6.1 Relación Resistencia a la compresión vs % de fibra

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS % DE FIBRA	
PORCENTAJE DE FIBRA NATURAL (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
0%	21,89
1,50%	18,67
2,50%	10,94
5,00%	4,56
8,00%	0,00



Figura 6.1 Ensayo de compresión de los especímenes de prueba. Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

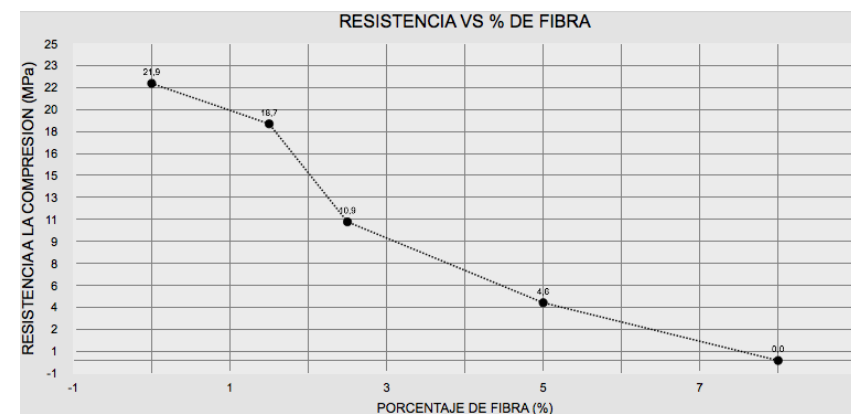




Figura 6.2 Ensayo de tracción por flexión de los especímenes de prueba.
Fuente: Ing. Marlon Espinoza.

La resistencia a la compresión simple va decreciendo a medida que se va incorporando cantidades de fibra con respecto a su volumen total.

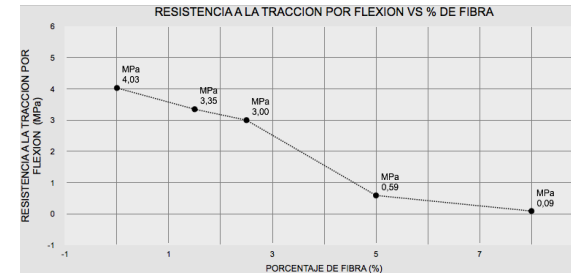
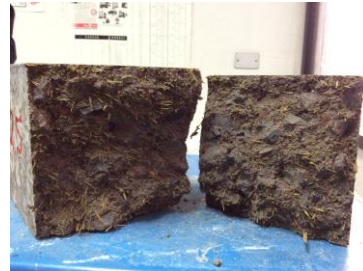
Para nuestro estudio incorporamos cuatro porcentajes de fibra dentro de la matriz de cemento. Teniendo como resultado que para la primera incorporación de 1,50% de fibra perdemos el 15% de la resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón. Es evidente que empieza a decrecer su resistencia. Y para la incorporación de 2,5% de fibra perdemos el 50% de la resistencia a la compresión. Y para la incorporación del 8,00% de fibra perdemos el 100% de resistencia a la compresión.

6.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN

En las tabla 6.2 analizaremos la relación entre resistencia a la tracción por flexión vs porcentaje de fibra incorporada (figura 6.2 y 6.3).

Tabla 6.2 Relación Resistencia a la tracción por flexión vs % de fibra

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN VS % DE FIBRA	
PORCENTAJE DE FIBRA NATURAL (%)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MPa)
0%	4,03
1,50%	3,35
2,50%	3,00
5,00%	0,59
8,00%	0,09



Con el análisis de la incorporación de fibras en estos porcentajes la relación es indirectamente proporcional, a menor porcentaje de fibra mayor resistencia a tracción por flexión.

La resistencia a la tracción por flexión se ve disminuida de acuerdo al porcentaje de incorporación de fibra en el elemento.

En el estudio realizado comprobamos que para la incorporación de 1,5% de fibra con respecto a su volumen, la resistencia a la tracción por flexión descendió en un 17% con respecto a la muestra patrón. Muy similar a la pérdida obtenida en la resistencia a la compresión. Y que para la incorporación de fibra de un 2,50% descendió la resistencia a la tracción por flexión en un 26% con respecto a la muestra patrón. Y para el 8,00% de incorporación de fibra perdió el 98% de la resistencia a la tracción por flexión con respecto a la muestra patrón.

Comprobando así que el mejor comportamiento se obtiene al incorporar el 1,50% de fibra natural con respecto al volumen en la matriz de cemento.



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CRFN DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE FIBRA INCORPORADO

PORCENTAJE DE FIBRA NATURAL (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MPa)	MR TEÓRICO CON REFERENCIA AL f'c (MPa)	INCREMENTO DEL MR CON LA INCORPORACIÓN DE FIBRA DE REFUERZO (MPa)
1,50%	18,67	3,35	2,76	0,59
2,50%	10,94	3,00	1,93	1,07
5,00%	4,56	0,59	1,08	-0,49
8,00%	0,00	0,09	0,00	0,09

Figura 6.3 Ensayo de tracción por flexión de los especímenes de prueba.
Fuente: Ing. Marlon Espinoza.



Si analizamos que el módulo de rotura teórico en el caso de incorporación de fibra al 1,50% con respecto al volumen, es de 2,76 MPa, y la resistencia experimental es de 3,35 MPa, verificamos un incremento de resistencia a la tracción por flexión de 0,59 MPa.

Pudiendo suponer que la fibra está funcionando como refuerzo a la tracción en la base de cemento.

Lo cual sucede con la incorporación del 2,50% de fibra, más no con los casos de incorporación de fibra del 5,00% y 8,00%.

Esto nos evidencia que cuando se incorpora porcentajes de fibra en cantidades superiores al 5,00% con respecto al volumen, no hay aporte a la resistencia a la tracción por flexión.

6.3 DENSIDAD DEL CONCRETO

En las tabla 6.3 analizaremos la relación entre densidad del concreto vs porcentaje de fibra incorporada.

Tabla 6.3 Relación densidad del concreto vs % de fibra

La relación es indirectamente proporcional, a mayor incorporación de porcentaje de fibra, menor densidad del material.

Es indudable que la densidad de la matriz de cemento se vea alterada por la incorporación de fibra natural.

El estudio evidencia claramente que para la incorporación del 1,50% de fibra en la matriz de cemento la densidad de la masa decrece en un 7% con respecto a un concreto simple con una densidad promedio de 2.300 Kg/m³ y un 11% con respecto a un concreto reforzado con una densidad promedio de 2.400 Kg/m³.

Para la incorporación del 2,50% de fibra en la matriz de cemento la densidad de la masa decrece en un 11% con respecto a un concreto simple con una densidad promedio de 2.300 Kg/m³ y un 14% con respecto a un concreto reforzado con una densidad promedio de 2.400 Kg/m³.



Para la incorporación del 5,00% de fibra en la matriz de cemento la densidad de la masa decrece en un 25% con respecto a un concreto simple con una densidad promedio de 2.300 Kg/m³ y un 28% con respecto a un concreto reforzado con una densidad promedio de 2.400 Kg/m³.

Para la incorporación del 8,00% de fibra en la matriz de cemento la densidad de la masa decrece en un 40% con respecto a un concreto simple con una densidad promedio de 2.300 Kg/m³ y un 43% con respecto a un concreto reforzado con una densidad promedio de 2400 Kg/m³.

Para la puesta en práctica de la utilización de la mezcla reforzada con fibra natural para la construcción de elementos, se optaría por la que se incorpora 1,5% de fibra con respecto a su volumen. Así obtenemos un material ligero con un promedio de disminución de peso de entre un 7% con respecto a un concreto convencional. Muy favorable para un análisis estructural de elementos.

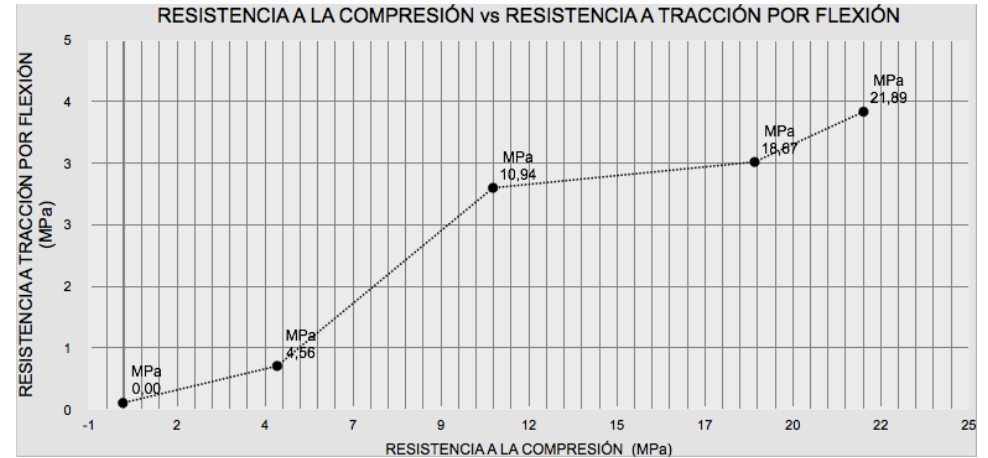
6.4 RELACIÓN F´C VS MR

En las tabla 6.4 analizaremos la relación entre resistencia a la compresión vs resistencia a la tracción por flexión.

Tabla 6.4 Relación resistencia a la compresión vs resistencia a la tracción por flexión

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN

PORCENTAJE DE FIBRA NATURAL (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (MPa)
0,00%	21,89	4,03
1,50%	18,67	3,35
2,50%	10,94	3,00
5,00%	4,56	0,59
8,00%	0,00	0,09



La relación es directamente proporcional, a mayor resistencia a la compresión, mayor es la resistencia a la tracción por flexión.

Pudiendo observar que es relativamente constante la resistencia a la tracción por flexión con respecto a la compresión entre el segmento conformado por la incorporación de fibra entre el 1,50% y 2,50% con respecto a la mezcla patrón.

6.5 RELACIÓN COSTO FIBRA NATURAL VS FIBRA SINTÉTICA

Para este análisis se cuantificará el costo de un metro cúbico reforzado con fibra natural, y un metro cúbico reforzado con fibra sintética y adicionalmente se analizará con incorporación de fibra de acero. Por lo tanto, se realizará el análisis de precio unitario respectivo. En la tabla 6.5 tenemos el costo por elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra natural con un valor de \$171,47. En la tabla 6.6 tenemos el costo por elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra sintética con un valor de \$186,79. En la tabla 6.7 tenemos el costo por elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra de acero con un valor de \$205,47.



Es evidente la diferencia de costo entre hormigones reforzados con fibra.

RELACIÓN DE COSTOS ENTRE CONCRETOS REFORZADOS CON FIBRAS		
FIBRA	COSTO / M3	INCREMENTO DE COSTO CON REFERENCIA A LA FIBRA NATURAL
NATURAL DE BAGAZO	171,47	0%
SINTÉTICA	186,79	8%
ACERO	205,47	17%

Tabla 6.5 Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra natural

Hoja 1 de 3

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 reforzado con fibra natural **UNIDAD:** m3

DETALLE:

EQUIPOS

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO	1,83			1,83
Concreteira de 1 saco	1	3,10	3,10	1,25	3,87
Vibrador Weber a gasolina	1	3,00	3,00	1,00	3,00
SUBTOTAL M					8,70

MANO DE OBRA

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	8	3,13	3,13	0,71	17,78
Albañil	6	3,88	3,88	0,71	16,53
Maestro de obra	0.50	6,25	6,25	0,71	2,22
SUBTOTAL N					36,53

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario	Costo
Fibra natural de bagazo de caña de azúcar	Kg	14,40	1	0,28	4,03
Agua	lt	150,86	0	0,01	1,51
Arena (P. Suelto=1,460 kg/m3 aprox.)	m3	0,65	0	20,00	13,00
RIPIO	m3	0,95	0	18,50	17,58
Cemento Portland Tipo I	saco 50 kg	7,92	0	7,77	61,54
SUBTOTAL O					97,66

TRANSPORTE

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
SUBTOTAL P				

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	142,89
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %	28,58
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	171,47
VALOR OFERTADO	171,47

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.



Tabla 6.6 Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra sintética

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 2 de 3

RUBRO: Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm² reforzado con fibra sintética

UNIDAD: m³

DETALLE:

EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO	1,83			1,83
Concretera de 1 saco	1,00	3,10	3,10	1,25	3,87
Vibrador Weber a gasolina	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00
SUBTOTAL M					8,70
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	8,00	3,13	3,13	0,71	17,78
Albañil	6,00	3,88	3,88	0,71	16,53
Maestro de obra	0,50	6,25	6,25	0,71	2,22
SUBTOTAL N					36,53
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario	Costo
Fibra TUF STRAND SF	Kg	1,20	0	14,00	16,80
Agua	lt	150,86	0	0,01	1,51
Arena (P. Suelto=1,460 kg/m ³ aprox.)	m ³	0,65	0	20,00	13,00
RIPIO	m ³	0,95	0	18,50	17,58
Cemento Portland Tipo I	saco 50 kg	7,92	0	7,77	61,54
SUBTOTAL O					110,43
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
SUBTOTAL P					0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					155,66
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					31,13
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					0
COSTO TOTAL DEL RUBRO					186,79
VALOR OFERTADO					186,79

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.



Tabla 6.7 Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de concreto reforzado con fibra de acero.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Hoja 3 de 3

RUBRO: Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm² reforzado con fibra de acero

UNIDAD: m³

DETALLE:

EQUIPOS						
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Herramienta menor	5.00 %MO	1,83			1,83	
Concretera de 1 saco	1,00	3,10	3,10	1,25	3,87	
Vibrador Weber a gasolina	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	
SUBTOTAL M					8,70	
MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo	
Peón	8,00	3,13	3,13	0,71	17,78	
Albañil	6,00	3,88	3,88	0,71	16,53	
Maestro de obra	0,50	6,25	6,25	0,71	2,22	
SUBTOTAL N					36,53	
MATERIALES						
Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio Unitario	Costo	
Fibra de acero DRAMIX 3D	Kg	15,00	0	2,15	32,25	
Agua	lt	150,86	0	0,01	1,51	
Arena (P. Suelto=1,460 kg/m ³ aprox.)	m ³	0,65	0	20,00	13,00	
RIPIO	m ³	0,95	0	18,50	17,58	
Cemento Portland Tipo I	saco 50 kg	7,92	0	7,77	61,54	
SUBTOTAL O					125,88	
TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo		
SUBTOTAL P						0
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					171,11	
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.000 %					34,22	
OTROS INDIRECTOS: 0.000 %					0	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					205,33	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					VALOR OFERTADO	205,33





CAPÍTULO 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 SOBRE LO IMPORTANTE DE REALIZAR LA INVESTIGACIÓN

Una de las recomendaciones del ACI 544 acerca del uso de fibras naturales como refuerzo en el concreto, es que se profundice la investigación hacia el uso de fibras naturales, al ser este material de bajo costo y de una producción a gran escala en países en vías de desarrollo. Esto ayudaría a bajar costos en los procesos de construcción de obras civiles y generaría alternativas válidas para el uso de estos materiales como refuerzos estructurales.

7.2 SOBRE EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CRFN

El comportamiento mecánico del CRFN, fue decreciendo a medida que aumentaba el porcentaje de inclusión de fibras naturales. El porcentaje aceptable en base a los resultados obtenidos tanto en la resistencia a la compresión como en la resistencia a la tracción por flexión, es el de 1,50% de fibra con respecto al volumen. Las incorporaciones de 2,50% de fibra decayó la resistencia a la compresión alrededor del 50% con respecto al elemento de prueba patrón. En cambio con los porcentajes de 5,00% y 8,00% no se obtuvo resistencia apropiadas para la utilización en elementos estructurales.

Al incorporar a la matriz de cemento un 8,00% de fibra con relación al volumen, este elemento se degradó, teniendo como característica un bloque no cohesivo, asemejándose a un bloque de adobe crudo. Lamentablemente el material se desprendía con facilidad y no soportó los ensayos de resistencia a la compresión y el de resistencia a la tracción por flexión.



Al fallar la incorporación del 8% se probó con 1,5% de fibra. Este CRFN, con 1,5% de fibra tuvo los mejores resultados a la hora de ensayar mecánicamente a los especímenes elaborados, pero tampoco pudo igualar las resistencias obtenidas por el núcleo patrón. Concluyendo que la incorporación sobre el 1,50% de fibra con respecto al volumen, no es recomendable en la construcción de elementos estructurales. En concretos reforzados con fibra natural al 2,50% con respecto al volumen, se podría utilizar en actividades de construcción civil, en la elaboración de elementos de nivelación o de relleno. Para concretos reforzados con fibra natural sobre el 2,50% con respecto al volumen no se recomienda su utilización, debido a la falta de resistencia a la compresión como a la tracción por flexión. Para una mejor resistencia a la tracción por flexión en concretos reforzados con fibras de bagazo de caña con adhesiones menores del 1,50% de fibra con respecto al volumen, se recomienda trabajar en aumentar la resistencia en la matriz de cemento.

7.3 SOBRE EL PROCESO DE PROTECCIÓN DE DEGRADACIÓN DE LAS FIBRAS

Para el proceso de control de degradación y protección de agentes físicos y químicos en las fibras naturales, se optó por la utilización de la cal viva, como elemento fluido para la adecuada protección del cuerpo fibroso. La adherencia entre la matriz de cemento y la fibra fue directa, sin vacíos entre elementos, los cuales suelen ser provocados por la pérdida de volumen de la fibra. Al momento de realizar los ensayos de laboratorio se observó que la fibra no perdió resistencia dentro de la matriz de cemento, manteniéndose intacta y completa en su estructura, lo que nos da a entender que fue adecuado y acertado el proceso de protección efectuado. Al ser esta una práctica insertada en el medio no se tendría problemas en el momento de llevarlo a obra. Con eso se reduciría gastos en implementación de infraestructura especializada y a su vez un aumento de costo al concreto reforzado.



7.4 SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Para la investigación se utilizó materiales de la zona de Pifo, Parroquia de Tumbaco del Cantón Quito, agregados de origen volcánico, todos aptos para la elaboración de concretos.

El cemento tipo IP, de buenas características, y el agua sin contaminantes. Al ser la fibra natural un sub producto de la caña de azúcar, compensamos los efectos que ocasiona los residuos de sacarosa con la inclusión de un aditivo como acelerante de fraguado. Estos elementos residuales dentro de la fibra no se pueden eliminar por completo por mas que se los trate de combatir con lavados constantes, produciendo un retardo al fraguado al entrar en contacto con el cemento.

Es recomendable para los agregados finos, que sean extraídos de cantos rodados, esto permite un menor porcentaje de absorción y por lo tanto mayor trabajabilidad en la mezcla.

7.5 SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO REFORZADO

La primera muestra patrón, tuvo poca manejabilidad, faltó un pequeño porcentaje de adición de agua, lo cual se suplió con el reajuste que se realizó al diseño.

Mientras el porcentaje de fibra de adición era mas alto, la mezcla perdía con facilidad el estado de fluidez que se diseñó en un inicio.

La estrategia de saturar la fibra nos ayudo a que la mezcla no se seque de forma acelerada, para mantener la trabajabilidad de la misma, tomando en consideración que utilizamos aditivo acelerante para equilibrar el proceso de fraguado en el tiempo.

Al adicionar la fibra en la mezcla se debe tener cuidado de no colocar el refuerzo en un solo lado de la pasta, sino más bien la precaución de distribuir de forma homogénea sobre la superficie de la mezcla. El no tomar esta consideración ocasionará que se creen grumos en la



mezcla, y por lo tanto ya no cumplirá con los servicios para la que fue solicitada.

7.6 SOBRE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CRFN CON RESPECTO A SU RESISTENCIA

Sobre las ventajas del concreto reforzado con fibras naturales:

- En lo que se refiere a la resistencia a la compresión simple, debemos resaltar que con la adición de fibra del 1,5% del volumen de la mezcla, obtuvimos un 85% de la resistencia de diseño a los 28 días de fraguado, lo cual nos hace recomendar su uso en capas de contra piso y pavimentos. Al ser su densidad mas baja que el concreto tradicional, bordeando los 2136 Kg/m³, es un aliado muy apreciable para bajar la carga muerta a las edificaciones.
- Con respecto a la resistencia de la tracción por flexión, podemos concluir que con adiciones del 1,5% o menores de fibras en la mezcla, se obtiene módulos de rotura que están por encima del módulo de rotura teórico. Dando lugar a su utilización para construir elementos expuestos a cargas de flexión, contracción y retracción.
- La utilización real de la fibra de bagazo de caña de azúcar como fibra natural esta alrededor del 20% del volumen total de producción de bagazo en una molienda. Con esto precautelamos que el 80% restante de bagazo sea utilizado en actividades, propias o externas de la molienda.
- Dependiendo de la utilidad que se requiera, el CRFN tiene una baja densidad como material, siendo esta inversamente proporcional a la cantidad de fibra que contenga.
- La incorporación de fibra natural al concreto, eliminó la retracción plástica de la mezcla, como también la pérdida de volumen ocurrido en concretos normales luego del fraguado inicial.
- Al ser natural, se obtiene en grandes cantidades, a precios muy módicos.



Como desventajas al utilizar las fibras naturales tenemos las siguientes apreciaciones:

- Al no ser un material industrializado, el proceso de preparación de la fibra se lo debe realizar de forma artesanal
- Requiere de gran espacio para almacenamiento, tamizado y secado del producto
- La degradación acelerada del material cuando entra en contacto con el cemento, es un gran inconveniente para su uso.
- La fibra al ser natural tiene un alto porcentaje de absorción de agua, si no se contrarresta esta particularidad, ocasiona un vacío entre la matriz de cemento y las caras de la fibra, esto sucede por el proceso de deshidratación en la etapa de fraguado.
- Para porcentajes de incorporación de fibra mayores al 2,5%, pierde aceleradamente las características de resistencia el concreto

7.7 SOBRE EL COSTO DE UN CONCRETO REFORZADO CON FIBRA NATURAL, SINTÉTICA Y DE ACERO

Es muy claro que un concreto reforzado con fibra natural tiene un costo de producción menor que un concreto reforzado con fibra sintética o de acero, en iguales condiciones de servicio del material.

Este ahorro esta oscilando entre un 8% con respecto a la fibra sintética y un 17 % con respecto a la fibra de acero.

7.8 SOBRE EL USO SOSTENIBLE DE LA FIBRA NATURAL

El uso sostenible de la fibra natural como refuerzo en mezclas de concreto, se basa en mantener el ciclo material de la fibra sin que esta se convierta en desecho de determinadas industrias de la producción. Al ser un sub producto de la agroindustria no ha sido utilizado en su



máximo potencial como materia prima para la elaboración de otros productos de la industria, esto debido a la falta de investigación del material. Es por eso que creí acertado el investigar una probabilidad real de su uso en forma industrializada, lo cual me ha permitido tener resultados alentadores cuando incorporamos cantidades mínimas de fibra, hasta en un 2,5% del volumen de la mezcla. Como resultado obtuve características óptimas para su uso en la industria de la construcción.



BIBLIOGRAFÍA

Juárez Alvarado , C. A., & Rodríguez López, P. (2004). Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *VII (22)*.

Coutts R., S. P. (1988). Wood Fibre Reinforced Cement Composites, Concrete Technology and Design. In R. Swamy (Ed.). U.K.: Blackie and Son Ltd.

Rodríguez López, P., & Juárez Alvarado, C. A. (2004). *Uso de Fibras Naturales de Lechuguilla como refuerzo para concreto*. (Vol. VII). Departamento de Tecnología del Concreto, Instituto de Ingeniería Civil-UANL.

Aziz M., A., Paramasivan, P., & Lee S., L. (1981). Prospects of Natural Fiber Reinforced Concretes in Construction. *Int. J. Cement Composites and Lightweight Concrete*.

Lewis, G., & Mirihaglia, P. (1979). Natural Vegetable Fibers as Reinforcement in Cement Sheets. *Magazine of Concrete Research* , 31 (107), 104-108.

Fördös, Z. (1988). Natural or Modified Cellulose Fibres as Reinforced in Cement Composites. (N. R., B. Swamy, & Son Ltd, Eds.) *Concrete Technology and Design* , 5, 173-207.

Barajas Alvarado, C. A., & Oquendo Vargas , D. C. (2011). *Estado del Arte sobre la elaboracion de mezclas de Concreto con agregados no convencionales en America para el periodo 2000-2010*. Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga.

Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2006). Effectiveness of Superplasticizers Incorporating Shrinkage-Reducing Admixture in Recycled-Aggregate Concrete. (239), 533-544.

ACHE. (2002). *Manual de Tecnología del Hormigon Reforzado con Fibras de Acero*. Comisión 2.

Simbaña, A. (2002). *Fibras Naturales, Alternativa para el Desarrollo Nacional*. Criterios.

SERA, E., E., ROBLES, Austriaco, L., & Pama, R. P. (1990). Natural Fibers as Reinforcement. *Journal of Ferrocement* , 20 (2), 109-124.

Symonds, Argus, Cowi, & Prc Brouwcentrum. (1999). *Construction and demolition waste management practices and their economic impacts*. European.



Caram, J. (2012). El Impacto Ambiental de los Materiales de Construcción. *REDAC* (11).

Juarez, A., Rodriguez, & Rivera. (2004). Uso de Fibras Naturales de Lechuguilla Como Refuerzo en Concreto. *Ingenierías*, VII (22).

Anink, D., Boonstra, C., & Mak, J. (1996). *Handbook of Sustainable Building And Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*. Londres.

Ibid. (2009).

González Canga, A., Fernández Martínez, N., Sahagún Prieto, A. M., García Vieitez, J. J., Díez Liébana, M. J., Díez Láiz, R., et al. (2010). *Dietary fiber and its interaction with drugs*. España: NUTRICION HOSPITALARIA.

Pernalte, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., & Aiello, C. (2008). *Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: Efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoniaco*. Bioagro.

ACI Committe 544. (1998). *State of the Art on fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice*.

Córtés García, R., & Hernández, S. G. (2007). *El Bagazo de la caña de azúcar*. Universidad Veracruzana, Xalapa.

INECYC, I. E. (2009). *CONTROL POR RESISTENCIA*. Quito: NOCIÓN.

NTE INEN 2554. (2011). *HORMIGON DE CEMENTO HIDRÁULICO . DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL HORMIGON. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS)*. 1 (1), Primera, 10. Quito, Pichincha, Ecuador: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

ASTM C39. (2015). *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón* (Vols. C-39). (PA, Ed.) West Conshohocken.

ASTM C 496 / C 496M - 11. (2011). *Método de Ensayo Normalizado para la Resistencia a la Tracción indirecta de especímenes cilíndricos de Concreto*. West Conshohocken.

ASTM C39. (2015). *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón*. In A. International, & PA (Ed.). West Conshohocken.



ACI Committe 544. (2002). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete(ACI 544.1R-2002). *ACI Journal*, .

ACI Committe 544. (1998). State of the Art on fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice.

ACI 544-5R. (2010). *Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete*. Michigan: American Concrete Institute.

544.1R, A. (2002). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. Michigan: American Concrete Institute.

ACI 544-1R. (2009). *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. Michigan: American Concrete Institute.

Osorio Saraz, J. A., Varón Aristizabal, F., & Herrera Mejia, J. A. (2007). Comportamiento Mecanico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azucar. (153), 69-79.

Luna Hermosa , G. V. (2014). *Estudio del Hormigon. Guia didactica para el diseño de mezclas*. (G. V. Luna Hermosa, Ed.) Quito, Pichincha, Ecuador: Edicumbre.

ASOCRETO. (2010). *COLECCION DEL CONCRETO. TECNOLOGIA DEL CONCRETO TOMO 1* (Vol. 1). Bogotá, Colombia: Nomos Impresores.

ACI 211.1. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. ACI.

NEC. (6 de ABRIL de 2011). *ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION* . Quito, Pichincha, Ecuador.

INECYC. (2009). *NOTAS TECNICAS. CONTROL DE CALIDAD EN EL HORMIGON* , 2 , 15. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR: NOCION.





ANEXOS

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETOS

AJUSTE A LA DOSIFICACIÓN DE LA MUESTRA PATRÓN

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL ACI CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO

1.0 INGRESO DE DATOS

Selección de la resistencia de diseño F'_{cr}	301 kg/cm ²
Peso específico del cemento	2,993 kg/dm ³
Ingresar Slump (mm)	25 - 50
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Peso específico del agua	1,000 kg/dm ³
Características Físicas del Agregado Grueso	
Peso Específico SSS	2,429 kg/dm ³
Peso Volumétrico Compactado Seco	1,351 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	3,30%
Contenido de Humedad	3,10%
Características Físicas del Agregado Fino	
Peso Especifico SSS	2,446 kg/dm ³
Módulo de Fineza	2,83
Porcentaje de Absorción	3,45%
Contenido de Humedad	3,70%

2.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Peso del agua de amasado (Ref. Tabla 5.2)	198 lt o dm ³	
a). Volumen del agua	198,000 dm³	
Relación Agua/Cemento (Ref. Tabla 5.3, interpolación lineal)	Rango F'_{c}	Rango A/C
	300 kg/cm ²	0,54
	301 kg/cm²	0,5
	350 kg/cm ²	0,47
Peso del cemento	396,000 kg	
b). Volumen del cemento	132,309 dm³	
Volumen del agregado grueso compactado en seco (Ref. Tabla 5.4, interpolación lineal)	Rango Fineza	Rango Agregado
	2,80	0,62 m ³
	2,83	0,617 m³
	3,00	0,60 m ³



c). Volumen del agregado grueso	343,173 dm3
Porcentaje de aire atrapado (Ref. Tabla 5.2)	2,00 %
d). Volumen de aire atrapado	20,000 dm3
e). Volumen de arena	306,518 dm3

3.0 CALCULO DE VALORES DE DISEÑO

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso	Proporción (en peso)
Agua	198,00 dm3	1,000 Kg/dm3	198,00 kg	0,50
Cemento	132,31 dm3	2,993 Kg/dm3	396,00 kg	1,00
Arena (seca)	306,52 dm3	2,446 Kg/dm3	749,74 kg	1,89
Ripio (seco)	343,17 dm3	2,429 Kg/dm3	833,57 kg	2,10
Aire	20,00 dm3			
	1000,00 dm3		2177,31 kg	

4.0 CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Elemento	Peso Absoluto	Corrección por Humedad	Peso Corregido	
Peso arena húmeda	749,74 kg	1,81 kg	751,55 kg	
Peso ripio húmeda	833,57 kg	-1,62 kg	831,95 kg	
Elemento	Humedad	Absorción	Humedad Superficial	Contribución de agua
Arena	3,70%	3,45%	-0,24%	-1,81 kg
Piedra	3,10%	3,30%	0,19%	1,62 kg
				-0,19 kg

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	-0,19 kg	197,81 kg	0,50
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	1,81 kg	751,55 kg	1,90
Ripio (seco)	833,57 kg	-1,62 kg	831,95 kg	2,10
Aire				
7,92 sacos/m3	2177,31 kg		2177,31 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS



Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	7,55 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,69 kg
Ripio (seco)				31,76 kg
Aire				
Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	8,01 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,44 kg
Ripio (seco)				33,69 kg
Aire				

DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 1,5% DE FIBRA

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL ACI CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO

1.0 INGRESO DE DATOS	
Selección de la resistencia de diseño F'_{cr}	301 kg/cm ²
Peso específico del cemento	2,993 kg/dm ³
Ingresar Slump (mm)	25 - 50
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Peso específico del agua	1,000 kg/dm ³
Características Físicas del Agregado Grueso	
Peso Específico SSS	2,429 kg/dm ³
Peso Volumétrico Compactado Seco	1,351 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	3,30%
Contenido de Humedad	2,70%
Características Físicas del Agregado Fino	
Peso Específico SSS	2,446 kg/dm ³
Módulo de Fineza	2,83
Porcentaje de Absorción	3,45%
Contenido de Humedad	3,10%
Características Físicas de la Fibra Natural	



Peso Específico SSS	1,137 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	73,68%
Contenido de Humedad	202,68%

2.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Peso del agua de amasado (Ref. Tabla 5.2)	198 lt o dm ³
---	--------------------------

a). Volumen del agua	198,000 dm³
-----------------------------	-------------------------------

Relación Agua/Cemento (Ref. Tabla 5.3, interpolación lineal)	Rango F'c	Rango A/C
	300 kg/cm ²	0,54
	301 kg/cm²	0,5
	350 kg/cm ²	0,47

Peso del cemento	396,000 kg
------------------	------------

b). Volumen del cemento	132,309 dm³
--------------------------------	-------------------------------

Volumen del agregado grueso compactado en seco (Ref. Tabla 5.4, interpolación lineal)	Rango Fineza	Rango Agregado
	2,80	0,62 m ³
	2,83	0,617 m³
	3,00	0,60 m ³

c). Volumen del agregado grueso	343,173 dm³
--	-------------------------------

Porcentaje de aire atrapado (Ref. Tabla 5.2)	2,00 %
--	--------

d). Volumen de aire atrapado	20,000 dm³
-------------------------------------	------------------------------

e). Volumen de arena	306,518 dm³
-----------------------------	-------------------------------

f). Volumen de fibra	15,000 dm³
-----------------------------	------------------------------

3.0 CALCULO DE VALORES DE DISEÑO

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso	Proporción (en peso)
Agua	198,00 dm ³	1,000 Kg/dm ³	198,00 kg	0,50
Cemento	132,31 dm ³	2,993 Kg/dm ³	396,00 kg	1,00
Arena (seca)	306,52 dm ³	2,446 Kg/dm ³	749,74 kg	1,89
Ripio (seco)	343,17 dm ³	2,429 Kg/dm ³	833,57 kg	2,10
Fibra (seca)	15,00 dm ³	1,137 Kg/dm ³	17,06 kg	0,04
Aire	20,00 dm ³			
	1015,00 dm ³		2194,37 kg	



4.0 CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Elemento	Peso Absoluto	Corrección por Humedad	Peso Corregido
Peso arena húmeda	749,74 kg	-2,55 kg	747,19 kg
Peso ripio húmeda	833,57 kg	-4,87 kg	828,70 kg
Peso fibra húmeda	17,06 kg	7,27 kg	24,33 kg

Elemento	Humedad	Absorción	Humedad Superficial	Contribución de agua
Arena	3,10%	3,45%	0,34%	2,55 kg
Piedra	2,70%	3,30%	0,58%	4,87 kg
Fibra	202,68%	73,68%	-42,62%	-7,27 kg
				0,15 kg

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	0,15 kg	198,15 kg	0,50
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	-2,55 kg	747,19 kg	1,89
Ripio (seco)	833,57 kg	-4,87 kg	828,70 kg	2,09
Fibra (seco)	17,06 kg	7,27 kg	24,33 kg	0,06
Aire				
7,92 sacos/m3	2194,37 kg		2194,37 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				7,56 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	28,52 kg
Ripio (seco)				31,63 kg
Fibra (seco)				0,93 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				8,03 kg
Cemento	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	16,04 kg



Arena (seca)				30,26 kg
Ripio (seco)				33,56 kg
Fibra (seco)				0,99 kg
Aditivo				0,24 kg

DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 2,5% DE FIBRA

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL ACI CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO

1.0 INGRESO DE DATOS

Selección de la resistencia de diseño F'cr	301 kg/cm ²
Peso específico del cemento	2,993 kg/dm ³

Ingresar Slump (mm)	25 - 50
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Peso específico del agua	1,000 kg/dm ³

Características Físicas del Agregado Grueso

Peso Especifico SSS	2,429 kg/dm ³
Peso Volumétrico Compactado Seco	1,351 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	3,30%
Contenido de Humedad	2,70%

Características Físicas del Agregado Fino

Peso Especifico SSS	2,446 kg/dm ³
Módulo de Fineza	2,83
Porcentaje de Absorción	3,45%
Contenido de Humedad	3,10%

Características Físicas de la Fibra Natural

Peso Especifico SSS	1,137 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	73,68%
Contenido de Humedad	202,68%

2.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Peso del agua de amasado (Ref. Tabla 5.2)	198 lt o dm ³
---	--------------------------

a). Volumen del agua	198,000 dm³
-----------------------------	-------------------------------

Relación Agua/Cemento (Ref. Tabla 5.3,	Rango F'c	Rango A/C
--	-----------	-----------



interpolación lineal)	300 kg/cm ²	0,54
	301 kg/cm²	0,5
	350 kg/cm ²	0,47

Peso del cemento	396,000 kg
------------------	------------

b). Volumen del cemento	132,309 dm³
--------------------------------	-------------------------------

Volumen del agregado grueso compactado en seco (Ref. Tabla 5.4, interpolación lineal)	Rango Fineza	Rango Agregado
	2,80	0,62 m ³
	2,83	0,617 m³
	3,00	0,60 m ³

c). Volumen del agregado grueso	343,173 dm³
--	-------------------------------

Porcentaje de aire atrapado (Ref. Tabla 5.2)	2,00 %
--	--------

d). Volumen de aire atrapado	20,000 dm³
-------------------------------------	------------------------------

e). Volumen de arena	306,518 dm³
-----------------------------	-------------------------------

f). Volumen de fibra	15,000 dm³
-----------------------------	------------------------------

3.0 CALCULO DE VALORES DE DISEÑO

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso	Proporción (en peso)
Agua	198,00 dm ³	1,000 Kg/dm ³	198,00 kg	0,50
Cemento	132,31 dm ³	2,993 Kg/dm ³	396,00 kg	1,00
Arena (seca)	306,52 dm ³	2,446 Kg/dm ³	749,74 kg	1,89
Ripio (seco)	343,17 dm ³	2,429 Kg/dm ³	833,57 kg	2,10
Fibra (seca)	15,00 dm ³	1,137 Kg/dm ³	17,06 kg	0,04
Aire	20,00 dm ³			
	1015,00 dm ³		2194,37 kg	

4.0 CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Elemento	Peso Absoluto	Corrección por Humedad	Peso Corregido
Peso arena húmeda	749,74 kg	-2,55 kg	747,19 kg
Peso ripio húmeda	833,57 kg	-4,87 kg	828,70 kg
Peso fibra húmeda	17,06 kg	7,27 kg	24,33 kg

Elemento	Humedad	Absorción	Humedad Superficial	Contribución de agua
Arena	3,10%	3,45%	0,34%	2,55 kg



Piedra	2,70%	3,30%	0,58%	4,87 kg
Fibra	202,68%	73,68%	-42,62%	-7,27 kg
				0,15 kg

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	0,15 kg	198,15 kg	0,50
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	-2,55 kg	747,19 kg	1,89
Ripio (seco)	833,57 kg	-4,87 kg	828,70 kg	2,09
Fibra (seco)	17,06 kg	7,27 kg	24,33 kg	0,06
Aire				
7,92 sacos/m3	2194,37 kg		2194,37 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	7,56 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,52 kg
Ripio (seco)				31,63 kg
Fibra (seco)				0,93 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	8,03 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,26 kg
Ripio (seco)				33,56 kg
Fibra (seco)				0,99 kg
Aditivo				0,24 kg

DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 5,0% DE FIBRA

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL ACI CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO

1.0 INGRESO DE DATOS

- -



Selección de la resistencia de diseño F'cr	301 kg/cm ²
Peso específico del cemento	2,993 kg/dm ³
Características Físicas del Agregado Grueso	
Ingresar Slump (mm)	25 - 50
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Peso específico del agua	1,000 kg/dm ³
Características Físicas del Agregado Grueso	
Peso Específico SSS	2,429 kg/dm ³
Peso Volumétrico Compactado Seco	1,351 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	3,30%
Contenido de Humedad	2,90%
Características Físicas del Agregado Fino	
Peso Específico SSS	2,446 kg/dm ³
Modulo de Fineza	2,83
Porcentaje de Absorción	3,45%
Contenido de Humedad	3,70%
Características Físicas de la Fibra Natural	
Peso Específico SSS	1,137 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	73,68%
Contenido de Humedad	190,40%

2.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Peso del agua de amasado (Ref. Tabla 5.2)	198 lt o dm ³	
a). Volumen del agua	198,000 dm³	
Relación Agua/Cemento (Ref. Tabla 5.3, interpolación lineal)	Rango Fc	Rango A/C
	300 kg/cm ²	0,54
	301 kg/cm²	0,5
	350 kg/cm ²	0,47
Peso del cemento	396,000 kg	
b). Volumen del cemento	132,309 dm³	
Volumen del agregado grueso compactado en seco (Ref. Tabla 5.4, interpolación lineal)	Rango Fineza	Rango Agregado
	2,80	0,62 m ³
	2,83	0,617 m³
	3,00	0,60 m ³



c). Volumen del agregado grueso	343,173 dm³
Porcentaje de aire atrapado (Ref. Tabla 5.2)	2,00 %
d). Volumen de aire atrapado	20,000 dm³
e). Volumen de arena	306,518 dm³
f). Volumen de fibra	25,000 dm³

3.0 CALCULO DE VALORES DE DISEÑO

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso	Proporción (en peso)
Agua	198,00 dm ³	1,000 Kg/dm ³	198,00 kg	0,50
Cemento	132,31 dm ³	2,993 Kg/dm ³	396,00 kg	1,00
Arena (seca)	306,52 dm ³	2,446 Kg/dm ³	749,74 kg	1,89
Ripio (seco)	343,17 dm ³	2,429 Kg/dm ³	833,57 kg	2,10
Fibra (seca)	25,00 dm ³	1,137 Kg/dm ³	28,43 kg	0,07
Aire	20,00 dm ³			
	1025,00 dm ³		2205,74 kg	

4.0 CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Elemento	Peso Absoluto	Corrección por Humedad	Peso Corregido
Peso arena húmeda	749,74 kg	1,81 kg	751,55 kg
Peso ripio húmeda	833,57 kg	-3,24 kg	830,33 kg
Peso fibra húmeda	28,43 kg	11,43 kg	39,86 kg

Elemento	Humedad	Absorción	Humedad Superficial	Contribución de agua
Arena	3,70%	3,45%	-0,24%	-1,81 kg
Piedra	2,90%	3,30%	0,39%	3,24 kg
Fibra	190,40%	73,68%	-40,19%	-11,43 kg
				-10,00 kg

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	-10,00 kg	188,00 kg	0,47
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	1,81 kg	751,55 kg	1,90
Ripio (seco)	833,57 kg	-3,24 kg	830,33 kg	2,10
Fibra (seco)	28,43 kg	11,43 kg	39,86 kg	0,10



Aire			
7,92 sacos/m3	2205,74 kg		2205,74 kg

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0053 m3	6, unidades	0,0382 m3	7,18 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)				28,69 kg
Ripio (seco)				31,69 kg
Fibra (seco)				1,52 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	7,61 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)				30,44 kg
Ripio (seco)				33,63 kg
Fibra (seco)				1,61 kg
Aditivo				0,24 kg

DISEÑO DE MEZCLA PARA CRFN CON EL 8,0% DE FIBRA

DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL ACI CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO

1.0 INGRESO DE DATOS	
Selección de la resistencia de diseño F'cr	301 kg/cm2
Peso específico del cemento	2,993 kg/dm3
Ingresar Slump (mm)	25 - 50
Tamaño máximo del agregado	3/4"
Peso específico del agua	1,000 kg/dm3
Características Físicas del Agregado Grueso	
Peso Específico SSS	2,429 kg/dm3
Peso Volumétrico Compactado Seco	1,351 kg/dm3
Porcentaje de Absorción	3,30%



Contenido de Humedad	3,50%
Características Físicas del Agregado Fino	
Peso Específico SSS	2,446 kg/dm ³
Modulo de Fineza	2,83
Porcentaje de Absorción	3,45%
Contenido de Humedad	4,10%
Características Físicas de la Fibra Natural	
Peso Específico SSS	1,137 kg/dm ³
Porcentaje de Absorción	73,68%
Contenido de Humedad	215,60%

2.0 CALCULO DE VOLÚMENES ABSOLUTOS

Peso del agua de amasado (Ref. Tabla 5.2)	198 lt o dm ³
---	--------------------------

a). Volumen del agua	198,000 dm³
-----------------------------	-------------------------------

Relación Agua/Cemento (Ref. Tabla 5.3, interpolación lineal)	Rango F/c	Rango A/C
	300 kg/cm ²	0,54
	301 kg/cm²	0,5
	350 kg/cm ²	0,47

Peso del cemento	396,000 kg
------------------	------------

b). Volumen del cemento	132,309 dm³
--------------------------------	-------------------------------

Volumen del agregado grueso compactado en seco (Ref. Tabla 5.4, interpolación lineal)	Rango Fineza	Rango Agregado
	2,80	0,62 m ³
	2,83	0,617 m³
	3,00	0,60 m ³

c). Volumen del agregado grueso	343,173 dm³
--	-------------------------------

Porcentaje de aire atrapado (Ref. Tabla 5.2)	2,00 %
--	--------

d). Volumen de aire atrapado	20,000 dm³
-------------------------------------	------------------------------

e). Volumen de arena	306,518 dm³
-----------------------------	-------------------------------

f). Volumen de fibra	80,000 dm³
-----------------------------	------------------------------

3.0 CALCULO DE VALORES DE DISEÑO



Elemento	Volumen Absoluto	Peso Específico	Peso	Proporción (en peso)
Agua	198,00 dm ³	1,000 Kg/dm ³	198,00 kg	0,50
Cemento	132,31 dm ³	2,993 Kg/dm ³	396,00 kg	1,00
Arena (seca)	306,52 dm ³	2,446 Kg/dm ³	749,74 kg	1,89
Ripio (seco)	343,17 dm ³	2,429 Kg/dm ³	833,57 kg	2,10
Fibra (seca)	80,00 dm ³	1,137 Kg/dm ³	90,96 kg	0,23
Aire	20,00 dm ³			
	1080,00 dm ³		2268,27 kg	

4.0 CORRECCIÓN POR ABSORCIÓN Y HUMEDAD

Elemento	Peso Absoluto	Corrección por Humedad	Peso Corregido
Peso arena húmeda	749,74 kg	4,68 kg	754,42 kg
Peso ripio húmeda	833,57 kg	1,61 kg	835,18 kg
Peso fibra húmeda	90,96 kg	40,90 kg	131,86 kg

Elemento	Humedad	Absorción	Humedad Superficial	Contribución de agua
Arena	4,10%	3,45%	-0,62%	-4,68 kg
Piedra	3,50%	3,30%	-0,19%	-1,61 kg
Fibra	215,60%	73,68%	-44,97%	-40,90 kg
				-47,19 kg

5.0 DISEÑO FINAL CORREGIDO POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

Elemento	Peso Absoluto	Corrección	Peso Corregido	Proporción (en peso)
Agua	198,00 kg	-47,19 kg	150,81 kg	0,38
Cemento	396,00 kg		396,00 kg	1,00
Arena (seca)	749,74 kg	4,68 kg	754,42 kg	1,91
Ripio (seco)	833,57 kg	1,61 kg	835,18 kg	2,11
Fibra (seco)	90,96 kg	40,90 kg	131,86 kg	0,33
Aire				
7,92 sacos/m ³	2268,27 kg		2268,27 kg	

6.0 DOSIFICACIÓN EN PESO PARA PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS PRISMÁTICAS

Elemento	Volumen de la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				5,76 kg
Cemento				15,12 kg
Arena (seca)	0,0053 m ³	6, unidades	0,0382 m ³	28,80 kg
Ripio (seco)				31,88 kg



Fibra (seco)				5,03 kg
Aditivo				0,23 kg

Elemento	Volumen de la probeta prismática de 15 x 50 cm	Número de probetas	Volumen total a fabricar	Dosificación en Peso
Agua				6,11 kg
Cemento				16,04 kg
Arena (seca)	0,0113 m3	3, unidades	0,0405 m3	30,55 kg
Ripio (seco)				33,82 kg
Fibra (seco)				5,34 kg
Aditivo				0,24 kg



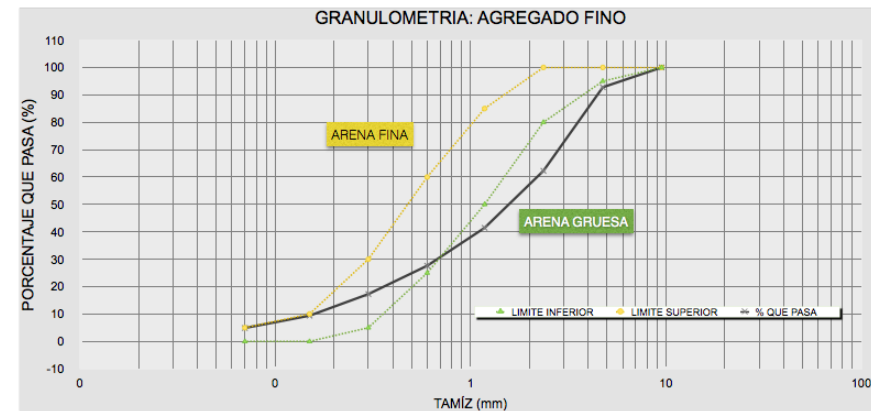
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES DE GRANULOMETRÍAS

ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 01
 ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
 NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
 LUGAR: PIFO: SECTOR PALUGO
 FECHA: martes, 3 de febrero de 2015
 REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
 PESO DE LA MUESTRA: 577,10 gr.
 PROYECTO: Tesis de Posgrado
 MODULO DE FINURA (M.F) : **3,49**

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO			%		LIMITES		
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0,00 gr.	0,00 gr.	0,00 gr.	0,00 %	100,00 %	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,60 gr.	499,30 gr.	41,70 gr.	41,70 gr.	7,23 %	92,77 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,40 gr.	593,50 gr.	176,10 gr.	217,80 gr.	37,74 %	62,26 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	405,90 gr.	526,00 gr.	120,10 gr.	337,90 gr.	58,55 %	41,45 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	359,00 gr.	438,80 gr.	79,80 gr.	417,70 gr.	72,38 %	27,62 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	335,00 gr.	394,70 gr.	59,70 gr.	477,40 gr.	82,72 %	17,28 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	367,50 gr.	45,50 gr.	522,90 gr.	90,61 %	9,39 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,50 gr.	325,50 gr.	26,00 gr.	548,90 gr.	95,11 %	4,89 %	0	5
BANDEJA	0,00 gr.	28,20 gr.	28,20 gr.	577,10 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			577,10 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

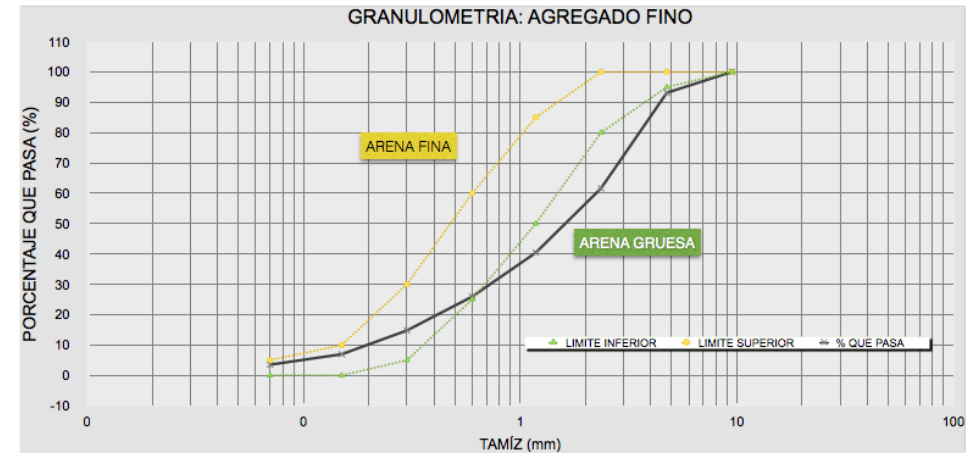


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 02
ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
LUGAR: PIFO, SECTOR PALUGO
FECHA: martes, 3 de febrero de 2015
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 586,90 gr.
PROYECTO: Tesis de Posgrado
MODULO DE FINURA (M.F.): 3,57

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0	0,00 gr.	0,00 gr.	0,00 gr.	100,00 %	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,70 gr.	498,10 gr.	40,40 gr.	40,40 gr.	6,88 %	93,12 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,50 gr.	602,30 gr.	184,80 gr.	225,20 gr.	38,37 %	61,63 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	408,00 gr.	530,40 gr.	124,40 gr.	349,60 gr.	59,57 %	40,43 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	359,10 gr.	444,10 gr.	85,00 gr.	434,60 gr.	74,05 %	25,95 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	335,00 gr.	400,40 gr.	65,40 gr.	500,00 gr.	85,19 %	14,81 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	368,00 gr.	46,00 gr.	546,00 gr.	93,03 %	6,97 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,50 gr.	319,70 gr.	20,20 gr.	566,20 gr.	96,47 %	3,53 %	0	5
BANDEJA	0,00 gr.	20,70 gr.	20,70 gr.	586,90 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			586,90 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

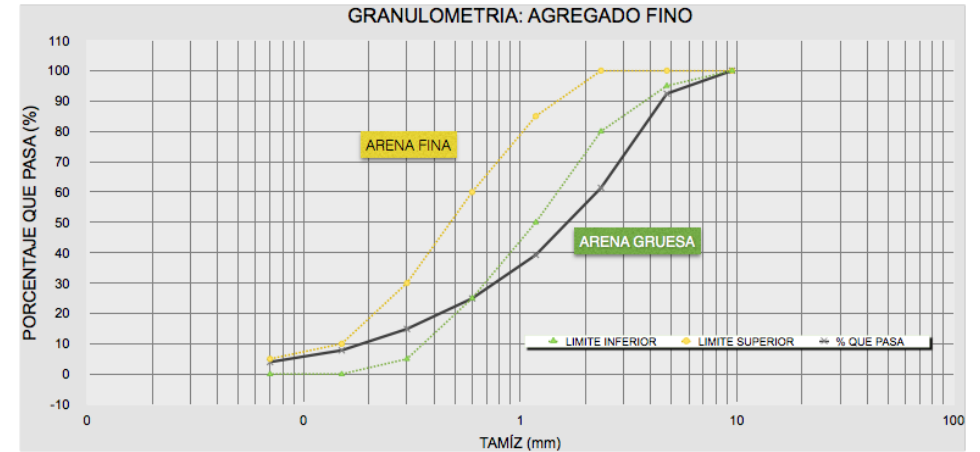


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 03
ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
LUGAR: PIFO, SECTOR PALUGO
FECHA: martes, 3 de febrero de 2015
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 652,90 gr.
PROYECTO: Tesis de Posgrado
MODULO DE FINURA (M.F.) : 3,59

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0	0,00 gr.	0,00 gr.	0,00 gr.	100,00 %	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,60 gr.	507,10 gr.	49,50 gr.	49,50 gr.	7,58 %	92,42 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,80 gr.	620,50 gr.	202,70 gr.	252,20 gr.	38,63 %	61,37 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	408,10 gr.	550,40 gr.	144,30 gr.	396,50 gr.	60,73 %	39,27 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	359,00 gr.	452,60 gr.	93,60 gr.	490,10 gr.	75,07 %	24,93 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	335,00 gr.	400,70 gr.	65,70 gr.	555,80 gr.	85,13 %	14,87 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	368,00 gr.	46,00 gr.	601,80 gr.	92,17 %	7,83 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,40 gr.	324,60 gr.	25,20 gr.	627,00 gr.	96,03 %	3,97 %	0	5
BANDEJA	0,00 gr.	25,90 gr.	25,90 gr.	652,90 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			652,90 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

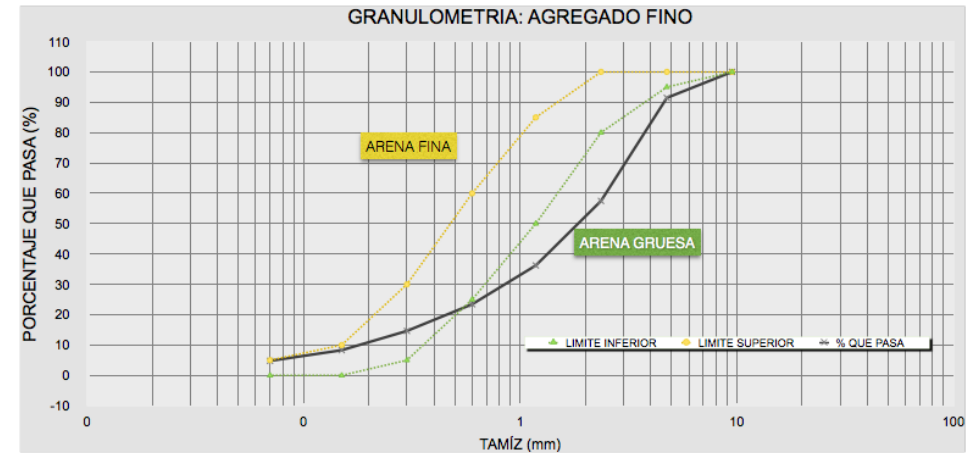


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 04
ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
LUGAR: PIFO, SECTOR PALUGO
FECHA: martes, 3 de febrero de 2015
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 760,60 gr.
PROYECTO: Tesis de Posgrado
MODULO DE FINURA (M.F.): 3,68

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0	0,00 gr.	0,00 gr.	0,00 gr.	100,00 %	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,60 gr.	522,70 gr.	65,10 gr.	65,10 gr.	8,56 %	91,44 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,70 gr.	676,00 gr.	258,30 gr.	323,40 gr.	42,52 %	57,48 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	405,90 gr.	567,60 gr.	161,70 gr.	485,10 gr.	63,78 %	36,22 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	359,00 gr.	456,20 gr.	97,20 gr.	582,30 gr.	76,56 %	23,44 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	334,90 gr.	401,80 gr.	66,90 gr.	649,20 gr.	85,35 %	14,65 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	370,20 gr.	48,20 gr.	697,40 gr.	91,69 %	8,31 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,40 gr.	326,20 gr.	26,80 gr.	724,20 gr.	95,21 %	4,79 %	0	5
BANDEJA	0,00 gr.	36,40 gr.	36,40 gr.	760,60 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			760,60 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



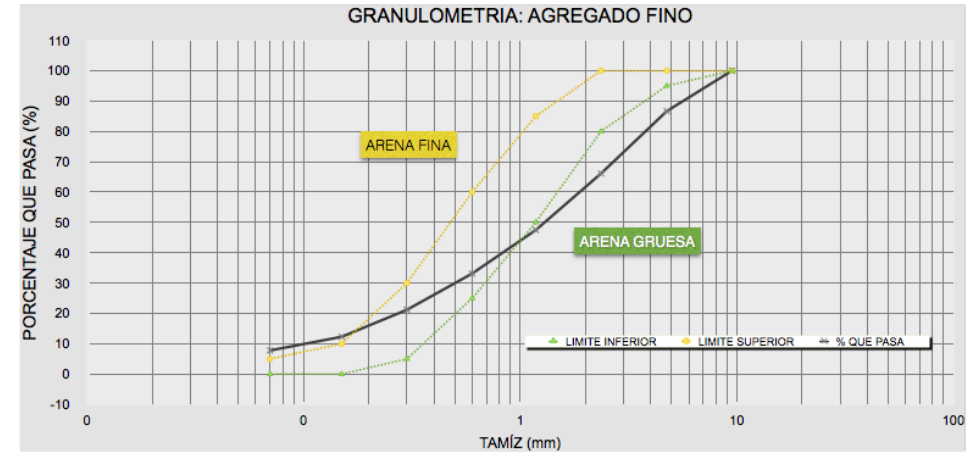
ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 05
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
FECHA: martes, 3 de febrero de 2015
PESO DE LA MUESTRA: 967,00 gr.
MODULO DE FINURA (M.F.) : 3,33

ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
LUGAR: PIFO, SECTOR PALUGO
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PROYECTO: Tesis de Posgrado

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0	0	0,00 gr.	0,00 gr.	100,00 gr.	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,50 gr.	586,40 gr.	128,90 gr.	128,90 gr.	13,33 %	86,67 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,40 gr.	616,30 gr.	198,90 gr.	327,80 gr.	33,90 %	66,10 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	408,00 gr.	586,10 gr.	180,10 gr.	507,90 gr.	52,52 %	47,48 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	358,90 gr.	497,60 gr.	138,70 gr.	646,60 gr.	66,87 %	33,13 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	334,80 gr.	450,30 gr.	115,50 gr.	762,10 gr.	78,81 %	21,19 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	408,00 gr.	86,00 gr.	848,10 gr.	87,70 %	12,30 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,40 gr.	343,00 gr.	43,60 gr.	891,70 gr.	92,21 %	7,79 %	0	5
BANDEJA	356,00 gr.	431,30 gr.	75,30 gr.	967,00 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			967,00 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

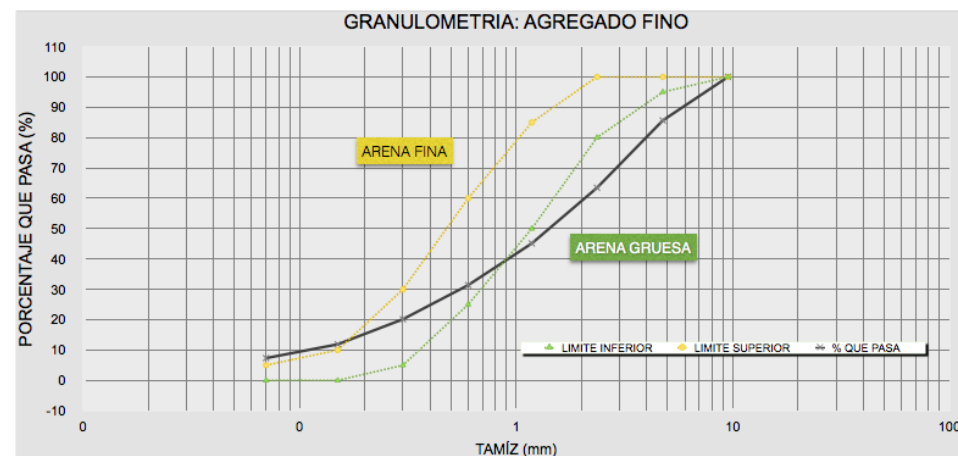


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 06
ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
LUGAR: PIFO, SECTOR PALUGO
FECHA: martes, 3 de febrero de 2015
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 751,20 gr.
PROYECTO: Tesis de Posgrado
MODULO DE FINURA (M.F.): 3,42

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0	0	0,00 gr.	0,00 gr.	100,00 gr.	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,60 gr.	565,40 gr.	107,80 gr.	107,80 gr.	14,35 %	85,65 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,50 gr.	584,20 gr.	166,70 gr.	274,50 gr.	36,54 %	63,46 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	406,50 gr.	544,20 gr.	137,70 gr.	412,20 gr.	54,87 %	45,13 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	359,10 gr.	462,30 gr.	103,20 gr.	515,40 gr.	68,61 %	31,39 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	334,90 gr.	419,30 gr.	84,40 gr.	599,80 gr.	79,85 %	20,15 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	384,10 gr.	62,10 gr.	661,90 gr.	88,11 %	11,89 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,30 gr.	333,50 gr.	34,20 gr.	696,10 gr.	92,67 %	7,33 %	0	5
BANDEJA	355,90 gr.	411,00 gr.	55,10 gr.	751,20 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			751,20 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

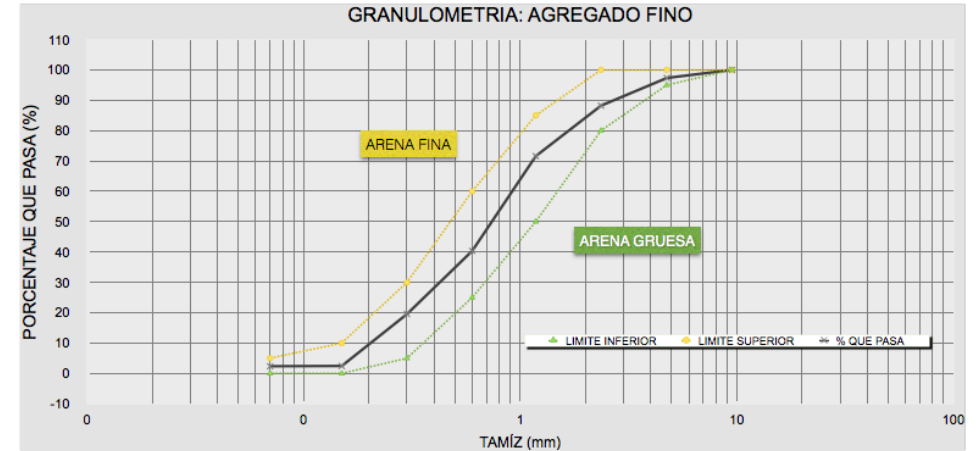


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

ENSAYO: Muestra N° 01
ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
LUGAR: PIFO, SECTOR PALUGO
FECHA: martes, 10 de febrero de 2015
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 1083,80 gr.
PROYECTO: Tesis de Posgrado
MODULO DE FINURA (M.F.): 2,81

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ	PESO				%		LIMITES	
	PESO DE TAMIZ	PESO DE TAMIZ + MUESTRA	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
3/8" (9,5)	0	0	0	0	0	100	100	100
No 4 (4,75 mm)	457,50 gr.	486,40 gr.	28,90 gr.	28,90 gr.	2,67 gr.	97,33 %	95	100
No 8 (2,36 mm)	417,40 gr.	516,30 gr.	98,90 gr.	127,80 gr.	11,79 %	88,21 %	80	100
No 16 (1,18 mm)	408,00 gr.	586,10 gr.	180,10 gr.	307,90 gr.	28,41 %	71,59 %	50	85
No 30 (0,6 mm)	358,90 gr.	697,60 gr.	338,70 gr.	646,60 gr.	59,66 %	40,34 %	25	60
No 50 (0,3 mm)	334,80 gr.	560,30 gr.	225,50 gr.	872,10 gr.	80,47 %	19,53 %	5	30
No 100 (0,15 mm)	322,00 gr.	507,30 gr.	185,30 gr.	1057,40 gr.	97,56 %	2,44 %	0	10
No 200 (0,07 mm)	299,40 gr.	300,50 gr.	1,10 gr.	1058,50 gr.	97,67 %	2,33 %	0	5
BANDEJA	356,00 gr.	381,30 gr.	25,30 gr.	1083,80 gr.	100,00 %	0,00 %		
TOTAL =			1083,80 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

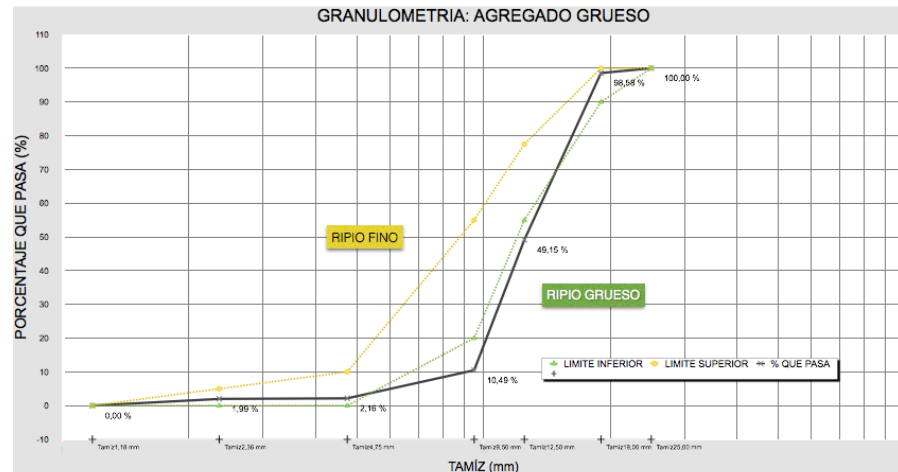


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: Muestra N° 01
ORIGEN: CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136
LUGAR: PIPO: SECTOR PALUGO
FECHA: miércoles, 28 de enero de 2015
REALIZADO POR: Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 9011,20 gr.
PROYECTO: Tesis de Posgrado
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (T.M.N.): 3/4" (19 mm)

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	PESO		%		LIMITES	
	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
1" (25 mm)	0	0	0	100,00 %	100	100
3/4" (19 mm)	128,30 gr.	128,30 gr.	1,42 %	98,58 %	90	100
1/2" (12,5 mm)	4453,50 gr.	4581,80 gr.	50,85 %	49,15 %	55	77,5
3/8" (9,5 mm)	3484,50 gr.	8066,30 gr.	89,51 %	10,49 %	20	55
No 4 (4,75 mm)	750,50 gr.	8816,80 gr.	97,84 %	2,16 %	0	10
No 8 (2,36 mm)	15,00 gr.	8831,80 gr.	98,01 %	1,99 %	0	5
No 16 (1,18 mm)	179,40 gr.	9011,20 gr.	100,00 %	0,00 %	0	0
TOTAL	9011,20 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

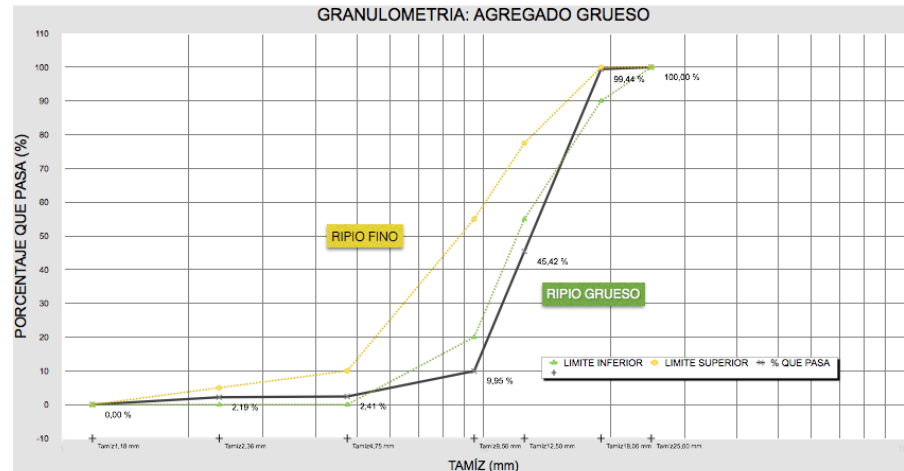


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: Muestra N° 02 **ORIGEN:** CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136 **LUGAR:** PIFO: SECTOR PALUGO
FECHA: miércoles, 28 de enero de 2015 **REALIZADO POR:** Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 7773,00 gr. **PROYECTO:** Tesis de Posgrado
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (T.M.N.): 3/4" (19 mm)

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	PESO		%		LIMITES	
	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
1" (25 mm)	0	0	0	100,00 %	100	100
3/4" (19 mm)	43,3	43,30 gr.	0,56 %	99,44 %	90	100
1/2" (12,5 mm)	4199,50 gr.	4242,80 gr.	54,58 %	45,42 %	55	77,5
3/8" (9,5 mm)	2757,00 gr.	6999,80 gr.	90,05 %	9,95 %	20	55
No 4 (4,75 mm)	585,90 gr.	7585,70 gr.	97,59 %	2,41 %	0	10
No 8 (2,36 mm)	17,20 gr.	7602,90 gr.	97,81 %	2,19 %	0	5
No 16 (1,18 mm)	170,10 gr.	7773,00 gr.	100,00 %	0,00 %	0	0
TOTAL	7773,00 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO

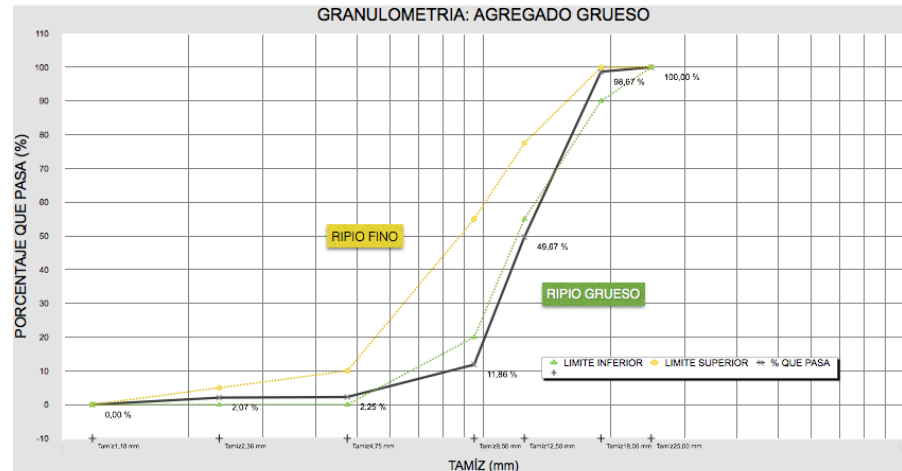


ENSAYO DE GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: Muestra N° 04 **ORIGEN:** CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 696 ; ASTM C - 136 **LUGAR:** PIFO: SECTOR PALUGO
FECHA: miércoles, 28 de enero de 2015 **REALIZADO POR:** Ing. Marlon J. Espinoza C.
PESO DE LA MUESTRA: 8402,80 gr. **PROYECTO:** Tesis de Posgrado
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL (T.M.N.): 3/4" (19 mm)

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ	PESO		%		LIMITES	
	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA	INFERIOR	SUPERIOR
1" (25 mm)	0	0	0	100,00 %	100	100
3/4" (19 mm)	111,4	111,4	1,33 %	98,67 %	90	100
1/2" (12,5 mm)	4117,5	4228,90 gr.	50,33 %	49,67 %	55	77,5
3/8" (9,5 mm)	3177,70 gr.	7406,80 gr.	88,14 %	11,86 %	20	55
No 4 (4,75 mm)	806,80 gr.	8213,40 gr.	97,75 %	2,25 %	0	10
No 8 (2,36 mm)	15,70 gr.	8229,10 gr.	97,93 %	2,07 %	0	5
No 16 (1,18 mm)	173,70 gr.	8402,80 gr.	100,00 %	0,00 %	0	0
TOTAL	8402,80 gr.					



Ing. Mercedes Villacis
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYO DE ABRASION DEL AGREGADO GRUESO

ENSAYO: Muestra N° 01 **ORIGEN:** CANTERA CONSTRUARENAS CIA. LTDA.
NORMA: NTE - INEN 860 ; ASTM C - 131 **LUGAR:** PIFO: SECTOR PALUGO
TAMAÑO NOMINAL: 3/4" **FECHA:** miércoles, 28 de enero de 2015
GRADACION: B (1/2' ; 3/8") **REALIZADO POR:** Ing. Marlon J. Espinoza C.
UNIFORMIDAD DEL MATERIAL: 0,257 **NO CUMPLE** **PROYECTO:** Tesis de Posgrado

TAMAÑO DE LA MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gramos)			
PASA :	SE RETIENE EN :	A	B	C	D
1 1/2	1	1250±25			
1	3/4	1250±25			
3/4	1/2	1250±10	2500±10		
1/2	3/8	1250±10	2500±10		
3/8	1/4			2500±10	
1/4	Nº4			2500±10	
Nº4	Nº8				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

DESCRIPCION		CANTIDAD
Nº1	Masa inicial del material	Wm = 5.000,00 gr.
Nº2	Masa de ripio retenido en el tamiz No. 12 después de las 100 revoluciones	P100 = 4.652,00 gr.
Nº3	Perdida del material después de 100 revoluciones	348,00 gr.
Nº4	Porcentaje de perdidas de material después de las 100 revoluciones	6,96 %
Nº5	Masa de ripio retenido en el tamiz No. 12 después de las 500 revoluciones	P500 = 3.644,40 gr.
Nº6	Perdida del material después de 500 revoluciones	1355,60 gr.
Nº7	Porcentaje de perdidas de material después de las 500 revoluciones (< 40%)	27,11 %
Nº8	Uniformidad del material (Debe ser < 0,20)	0,257

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DE LABORATORIO

FOTOGRAFÍAS DE LOS ESPECÍMENES DE CRFN







ESPECÍMENES DE PRUEBA



ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

