

“Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Velasquez Velasquez Maycoll Ernesto

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

INGENIERÍA CIVIL / ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE Y TRACCION INDIRECTA DE CONCRETO REFORZADO CON VIRIUTAS DE ACEROS RECICLADAS

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 25 del mes setiembre de año 2020 a las 3:00 pm. Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

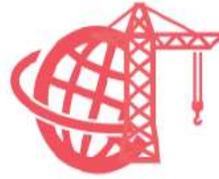
Según orden de mención al inicio de ésta carta:


Ernesto 25/09/20.



Universidad
LATINA

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*



**INGENIERÍA
CIVIL**

UNIVERSIDAD LATINA

**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA, ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL.**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL.**

**ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A COMPRESION
SIMPLE Y TRACCION INDIRECTA DE CONCRETO REFORZADO
CON VIRIUTAS DE ACEROS RECICLADAS.**

**ESTUDIANTE: MAYCOLL ERNESTO VELASQUEZ
VELASQUEZ.**

SAN JOSÉ, COSTA RICA

SETIEMBRE 2020

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil, requisito para optar para el grado de licenciatura.

Ing. Rafael Kauffman Incer.
Tutor

Ing. Minor Murillo Chacon
Lector

Ing. José María Ulate Zárate
Lector

DERECHOS DE AUTOR

Fecha: 11 Setiembre de 2020

El suscrito, Maycoll Ernesto Velasquez Velasquez, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina de Costa Rica, con número de carné 2014010309, manifiesta que es el autor del Trabajo Final de Graduación **“ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE Y TRACCION INDIRECTA DE CONCRETO REFORZADO CON VIRIUTAS DE ACEROS RECICLADAS”**, bajo la dirección del ingeniero Rafael Kauffmann Incer, quién en consecuencia tiene derechos compartidos sobre la utilización del presente trabajo a la Universidad Latina de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N°6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de Julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, según el Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en este texto.

Maycoll Ernesto Velasquez
Cédula número: 801020472

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por iluminar mi mente y haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este periodo de estudio.

Quiero agradecer al Ing. Gonzalo Delgado Ramirez y Lic. Fernando Castro Garro, por el apoyo fundamental y desinteresado e incondicional que me brindaron estos años para poder concluir esta carrera.

Mis más sinceros agradecimientos a mis amigos Ing. Fernando Rodriguez Aju y Ing. Esteban Sánchez por su ayuda brindada, incluso en los momentos más turbulentos, terminar no fue fácil, pero siempre estuvieron ahí motivándome cuando fui superando cada peldaño y ayudándome hasta donde sus alcances se los permitieron.

A mi amigo Ing. Johan Fernández muchas gracias por ser incondicional conmigo y estar siempre dispuesto ayudarme, este final de carrera la carga se hizo menor gracia a tu ayuda.

A compañeros presentes y pasados que se acercaron a mí para ayudarme y sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas además de hacerme reír, o para regalarme parte de su tiempo. Al lado de estas personas, la carga universitaria se hizo menor y las horas más cortas a lo largo de estos años.

Por último y no menos importante, agradecerle los Ing. Minor Murillo Chacon y Ing. Rafael Kauffmann Incer por su apoyo y dedicación durante el proceso de esta investigación.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con mucho amor y cariño a mi amada hija Camila Velasquez Mendez, quien ha sido fuente de motivación e inspiración para superarme cada día y así luchar para que la vida nos depara un futuro mejor.

Agradecer a mi esposa Ing. Olga Mendez Arce por su sacrificio y esfuerzo a pesar de que ha habido momentos difíciles ha estado apoyándome brindándome su comprensión y cariño a lo largo de este proceso universitario.

De todo corazón quiero agradecerle a mi madre Thelma Velasquez Gutierrez y abuela materna Mercedes Gutierrez Hernández por haberme enseñado a siempre hacer lo correcto, aun cuando este no sea el camino más fácil o corto. Al inculcarme valores como la honradez, respeto y perseverancia no solo hicieron de mí una mejor persona, sino crearon en mí una manera de pensar ganadora, que a pesar de las circunstancias no hay que perder de vista los objetivos.

A todas aquellas personas que se encuentran en camino a realizar sus sueños, quiero recordarles que no hay que detenerse, que Dios siempre va adelante abriendo el camino y que por más difícil que se vean las cosas siempre hay una salida, porque nunca podemos perder la confianza en nosotros mismos, eso es la base de todo lo que nos proponemos hacer.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo por objeto analizar la adición de viruta de acero reciclada al concreto, el cual determinó si este produce un incremento en la resistencia a la compresión y tracción indirecta.

Esta investigación se basó en muestras de concreto, los cuales fueron elaborados con cemento de la casa comercial CEMEX, agregado fino y grueso del tajo Chirripó ubicado en Limón, la viruta reciclada fue extraída del torno de precisión Los Albinos de la ciudad del Alajuela.

El diseño de mezclas para el concreto patrón y el concreto adicionado con viruta reciclada se realizó mediante el método ACI 211.1.

Dichas muestras estuvieron conformadas por especímenes circulares, los cuales fueron ensayados en proporciones de 5% y 8 % de viruta de acero reciclada con respecto al peso del agregado fino, para 7 y 28 días de edad para compresión y especímenes en proporción de 5 % y 8 % fallados a tracción, a 28 días de edad.

Fueron evaluados los parámetros de resistencia tanto a la compresión como a tracción, luego fueron comparadas dichas adiciones con un concreto patrón de calidad de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

INDICE

1.0	Introducción.....	6
1.1	Estado actual de objeto del estudio.....	6
1.2	Formulación del Problema.....	11
1.3	Formulación del Problema.....	14
1.4	Justificación.....	14
1.5	Objetivo General.....	16
1.6	Objetivo Específico.....	16
1.7	Alcances de la Investigación.....	16
1.8	Limitaciones de la Investigación.....	17
1.9	Delimitaciones Espacial.....	17
2.0	Fundamentación Teórica.....	19
2.1	Marco Legal.....	19
2.2	Marco Teórico.....	24
2.3	Historia del Concreto.....	26
3.0	Marco Metodológico.....	30
3.1.1	Definición del Enfoque Cuantitativo.....	30
3.1.2	Tipo de Investigación.....	31
3.1.3	Sujetos de investigación.....	32
3.1.4	Fuentes de Información.....	32
3.1.5	Definición de variables conceptual, operativa e instrumental.....	33
3.1.6	Instrumentos y técnicas utilizadas en la recopilación de datos.....	35
3.1.7	Sustentación de la confiabilidad y la validez de los instrumentos de la investigación.....	36
4.0	Características de los Materiales a usar para la Fabricación del Concreto Reforzado con Fibra Reciclada para este Ensayo.....	39
4.1.1	Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica.....	39
4.1.2	Componentes Química y Especificaciones Técnica del Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica.....	40
4.1.3	Usos y Aplicaciones Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica....	41
4.1.4	Proceso de producción Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica	42

4.1.5	Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento, Cemento Tipo UG Cemex Costa Rica.	44
4.1.6	Agregados para el Ensayo Proveniente del Tajo Chirripó	44
4.1.7	Agregados Grueso de Tajo Chirripó.	47
4.1.8	Agregados Fino de Tajo Chirripó.	50
4.1.9	Virutas de Acero Recicladas Para este Ensayo.	52
4.1.10	Proceso para Obtener la Viruta.	54
4.1.11	Cantidad de Viruta Reciclada.	56
4.1.12	Características de la Viruta Reciclada.	57
4.1.13	Datos Técnicos de la Viruta reciclada.	59
4.1.14	Composición Química de la Viruta Reciclada.	61
4.1.15	Propiedades Mecánicas de esta viruta:	61
4.1.16	Densidad de esta Viruta.	61
4.1.17	Guía para Realizar el concreto y moldeo de los cilindros de este ensayo según ACI y ASTM.	62
4.1.18	Tabla Tamaño Máximo de Agregado ACI 211.1	62
4.1.19	Relación agua-cemento ACI 211.1.	63
4.1.20	Contenido de aire para diferentes revenimientos y agregados ACI 211.1.	64
4.1.21	Temperatura del Concreto ASTM C1064.	65
4.1.22	Asentamiento ASTM C143.	66
4.1.23	Peso Unitario Concreto Fresco ASTM C138.	68
4.1.24	Determinación del Rendimiento de la Mezcla.	69
4.1.25	Moldeo y Curado de Cilindros ASTM C31	70
4.1.26	Coronamiento de especímenes cilindros de concreto ASTM C1231.	73
4.1.27	Resistencia a la Compresión del Concreto ASTM C39.	75
4.1.28	Resistencia a la tracción ASTM C 496	77
4.1.29	Equipo a utilizar para fabricar los cilindros de concreto.	78
4.1.2.1	Diseño de Mezcla según ACI 211.1.	79
4.1.2.2	Paso 1: Considerar un factor de seguridad (fs).	80
4.1.2.3	Paso 2: Seleccionar cantidad de agua y aire.	81
4.1.2.4	Paso 3: Encontrar relación Agua/Cemento.	81
4.1.2.5	Paso 4: Determinar la cantidad de agregado grueso por volumen.	81

4.1.2.6	Paso 5: Cantidades por volumen absoluto para 1 m ³ .	82
4.1.2.7	Paso 6: Cantidades para 1m ³ de concreto con agregados secos.	83
4.1.2.8	Paso 7: Determinación de las proporciones por Peso y Volumen.	84
4.1.2.9	Paso 8: cantidades a usar la mezcla de 40 lts:	85
4.1.2.10	Paso 9: Corrección de agua de diseño por Humedad y Absorción:	86
4.1.2.11	Paso 10: Corrección de agregados por Humedad:	87
4.1.2.12	Paso 11: Cantidades corregidas a usar en el Ensayo:	87
4.1.2.13	Paso 12: Cantidad de Viruta por Mezcla de 40 Litros.	88
4.1.3	Procedimiento	89
4.1.4	Elaboración concreta reforzado con fibra reciclada C-192 ASTM.	89
4.1.5	Asentamiento del Concreto.	90
4.1.6	Toma Temperatura de Concreto.	91
4.1.7	Determinación Peso Unitario Concreto Fresco.	91
4.1.8	Moldeo y Curado de Cilindros de Concreto.	92
4.1.9	Determinación del Rendimiento de la Mezcla.	93
4.1.10	Cabeceo en Estado de Concreto Endurecido.	93
4.2	Memoria de cálculo.	94
4.2.2	Simbología.	94
4.2.3	Calculo del Asentamiento.	95
4.2.4	Calculo Peso Unitario Concreto Fresco.	96
4.2.5	E Rendimiento del Concreto por volumen.	96
4.2.6	Rendimiento del Concreto por Pesos.	98
4.2.7	Calculo de Resistencia a Compresión 7 días.	99
4.2.6.1	Calculo de Áreas y Volumen de Cilindros.	99
4.2.6.2	Calculo de Resistencia a compresión de Cilindros 5% viruta reciclada la edad 7 días.	101
4.2.6.3	Calculo de Resistencia a tracción de Cilindros 0 % viruta reciclada la edad 28 días.	102
4.2.7	Calculo de Peso Unitario Endurecido.	103
4.3	Resultados.	104
4.3.2	Temperaturas de los concretos.	104
4.3.2	Asentamientos Obtenidos.	105
4.3.4	Peso Unitario Concreto fresco.	105

4.3.5 Rendimientos de los concretos.....	106
4.3.6 Resistencia a la Compresión.....	106
4.3.6.1 Resultados compresión 0% viruta a 7 días.	106
4.3.6.2 Resultados compresión 5% viruta a 7 días.....	107
4.3.6.3 Resultados compresión 8 % viruta a 7 días.....	107
4.3.6.4 Promedio de esfuerzos a 7 días.	108
4.3.6.5 Resultados concretos 0% viruta a 28 días.....	108
4.3.6.6 Resultados concretos 5% viruta a 28 días.....	109
4.3.6.7 Resultados concretos 8% viruta a 28 días.....	109
4.3.6.8 Promedio de esfuerzos a 28 días.	110
4.3.7 Resistencia a la Tracción Indirecta.....	110
4.3.7.1 Resultados a la Tracción Indirecta 0 % Viruta reciclada a 28 días.....	110
4.3.7.2 Resultados a la Tracción Indirecta 5 % Viruta reciclada a 28 días.....	111
4.3.7.3 Resultados a la Tracción Indirecta 8 % Viruta reciclada a 28 días.....	111
4.3.7.4 Promedios esfuerzos a la Tracción Indirecta a 28 días.	112
4.4 Análisis de Resultados.	113
4.4.1 Temperatura de las mezclas.....	113
4.4.2 Asentamiento de Concretos.....	113
4.4.3 Peso Unitario concreto Fresco y Endurecido.	114
4.4.4 Rendimiento de las Concretos.	115
4.5 Resistencia a la compresión.....	116
4.5.1 Tipos de fallas en los cilindros.	116
4.5.2 Resistencia a la Compresión 0 viruta % a 7 días.	117
4.5.3 Resistencia a la Compresión 5 % viruta a 7 días.	119
4.5.4 Resistencia a la Compresión 8 % viruta a 7 días.	121
4.5.5 Resistencia a la Compresión Promedios a 7 días.	123
4.5.6 Resistencia a la Compresión 0 % viruta a 28 días.	124
4.5.7 Resistencia a la Compresión 5 % viruta a 28 días.	125
4.5.8 Resistencia a la Compresión 8 % viruta a 28 días.	126
4.5.9 Resistencia a la Compresión promedios a 28 días.....	127
4.6 Resistencia a la Tracción Indirecta.....	129
4.6.1 Tipos de falla a Tracción Indirecta.....	129

4.6.2	Resistencia a Tracción 0 % viruta a 28 días.....	131
4.6.3	Resistencia a Tracción 5 % viruta a 28 días.....	133
4.6.4	Resistencia a Tracción 8 % viruta a 28 días.....	135
4.6.5	Resistencia promedios a Tracción a 28 días.....	137
5	Conclusiones.....	140
5.1	Hallazgos.....	141
5.2	Recomendaciones.....	142
6	Bibliografía.....	143
7	Anexos.....	146
7.1	Acreditación de laboratorio.....	146
7.2	Informes de laboratorio a Compresión.....	148
7.2.2	Informes de laboratorio a 7días.....	148
7.2.3	Informes de laboratorio a 28 días.....	150
7.3	Fotografías Fabricación de Cilindros y Fallas.....	152

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla: 1 Variables para la fabricación del concreto.....	33
Tabla: 2 Características de los agregados.....	80
Tabla: 3 Cantidades por volumen para fabricar concreto.....	82
Tabla: 4 Cantidades por peso para fabricar concreto.....	83
Tabla: 5 Proporción por para fabricar concreto.....	84
Tabla: 6 Volumen de materiales para fabricar concreto.....	84
Tabla: 7 Proporción por volumen de concreto.....	85
Tabla: 8 Proporción por peso de concreto.....	86
Tabla: 9 Tabla Corrección de Humedad.....	86
Tabla: 10 Tabla de pesos de agregados corregidos.....	87
Tabla: 11 Tabla de cantidades a usar en diseño.....	87
Tabla: 12 Cantidad de viruta a usar por 40L de mezcla.....	88
Tabla: 13 Tabla Temperaturas.....	104
Tabla: 14 Asentamientos Promedios.....	105
Tabla: 15 Pesos Unitario concreto fresco.....	105
Tabla: 16 Porcentajes de los rendimientos de los concretos.....	106
Tabla: 17 Esfuerzos en cilindros 0 % viruta a 7 días.....	106
Tabla: 18 Esfuerzos en cilindros 5 % viruta a 7 días.....	107
Tabla: 19 Esfuerzos en cilindros 8 % viruta a 7 días.....	107
Tabla: 20 Esfuerzos promedios a 7 días.....	108
Tabla: 21 Esfuerzos en cilindros 0 % viruta a 28 días.....	108
Tabla: 22 Esfuerzos en cilindros 5 % viruta a 28 días.....	109
Tabla: 23 Esfuerzos en cilindros 8 % viruta a 28 días.....	109
Tabla: 24 Esfuerzos promedios a 28 días.....	110
Tabla: 25 Esfuerzos a tracción en cilindros 0 % viruta a 28.....	110
Tabla: 26 Esfuerzos a tracción en cilindros 5 % viruta a 28 días.....	111
Tabla: 27 Esfuerzos a tracción en cilindros 8 % viruta a 28 días.....	111
Tabla: 28 Esfuerzos a Promedios en cilindros 5 % viruta a 28 días.....	112

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Investigaciones de Fibras	15
Ilustración 2: Microfibras sintéticas	20
Ilustración 3 Diferentes presentaciones de fibras	21
Ilustración 4 Fibras de acero y sintéticas.	22
Ilustración 5 Fibras de acero.....	22
Ilustración 6 Características Mecánicas de los tipos de fibras.....	23
Ilustración 7 Ubicación Planta de Cemento Cemex Costa Rica	39
Ilustración 8 Especificaciones técnicas del cemento Hidráulico Cemex	40
Ilustración 9 Presentación saco de 50 kg cemento tipo UG	42
Ilustración 10 Ubicación geográfica tajo Chirripó	47
Ilustración 11 Informe laboratorio agregado grueso	49
Ilustración 12 Informe laboratorio agregado fino.	51
Ilustración 13 Barra de acero colocada en torno de precisión	54
Ilustración 14 Origen de la viruta reciclada.	55
Ilustración 15 Cantidad de viruta reciclada Recolectada	56
Ilustración 16 Verificando peso por cubetas de viruta reciclada	56
Ilustración 17 Ancho de Viruta	58
Ilustración 18 Espesor de Viruta	58
Ilustración 19 Ficha técnica de las barras ARSA 1020.....	60
Ilustración 20 Composición de química de la barra ARSA 1020	61
Ilustración 21 Composición de Mecánica de la barra ARSA 1020.....	61
Ilustración 22 Tamaño Máximo Agregado Grueso.	63
Ilustración 23 Relación Agua – cemento.	64
Ilustración 24 Tabla de asentamiento según agregado grueso.	65
Ilustración 25 Toma de temperatura de concreto con termómetro bimetálico.....	66
Ilustración 26 Medición de asentamiento.	67
Ilustración 27 Tabla de Asentamientos.	67
Ilustración 28 Medición Asentamiento.....	68
Ilustración 29 Peso Unitario concreto fresco	69
Ilustración 30 Diámetro de varilla y numero de penetración para compactar concreto	70
Ilustración 31 Compactación de Concreto.....	71
Ilustración 32 Cilindro Moldeados.	71
Ilustración 33 Curado cilindros 8% viruta	72
Ilustración 34 Curado cilindros 5% viruta sumergido en estañón.	72
Ilustración 35 Cilindro concreto endurecido cabeceado.	74
Ilustración 36 Días a fallar especímenes.....	75
Ilustración 37 Horas y tolerancias para ensayo.....	75
Ilustración 38 Cilindro fallado en la maquina universal.....	76

Ilustración 39 Cilindro fallado en la maquina universal.....	76
Ilustración 40 Diagrama ensayo C-496	77
Ilustración 41 Tipos de fallas en Cilindros	116
Ilustración 42 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 0 % Viruta 7 días.....	117
Ilustración 43 Imágenes tipos de fallas en cilindros 0 % viruta a 7 días.	118
Ilustración 44 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 5 % Viruta 7 días.....	119
Ilustración 45 Imágenes tipos de fallas en cilindros 5 % viruta a 7 días	120
Ilustración 46 Imagen resultado de falla cilindro M-1, 8 % Viruta 7 días.....	121
Ilustración 47 Imágenes tipos de fallas en cilindros 8 % viruta a 7 días	122
Ilustración 48 Tipos de fracturas a tracción (A, B.).....	130
Ilustración 49 Tipos de fracturas a tracción (C).....	130
Ilustración 50 Imagen resultado de falla cilindro M-1, 0 % Viruta 28 días.....	131
Ilustración 51 Cilindro fallado a tracción falla tipo normal.....	132
Ilustración 52 Cilindro fallado a tracción falla tipo normal.....	132
Ilustración 53 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 5 % Viruta 28 días.....	133
Ilustración 54 Cilindros fallados a tracción falla tipo normal 5 % viruta.....	134
Ilustración 55 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 8 % Viruta 28 días.....	135
Ilustración 56 Cilindros fallados a tracción falla tipo normal 8 % viruta.....	136
Ilustración 57 Cilindros fallados a Tracción 8 % viruta.	138
Ilustración 58 Certificado de Acreditación.	146
Ilustración 59 Informe Laboratorio a 7 días.	148
Ilustración 60Informe Laboratorio a 28 días	150

Índice de Gráficos.

Gráfico: 1 Gráficos de resistencias 0% viruta a 7 días	117
Gráfico: 2 Gráficos de resistencias 5 % viruta a 7 días.	119
Gráfico: 3 Gráficos de resistencias 8 % viruta a 7 días.	121
Gráfico: 4 Gráficos de resistencias promedios a 7 días	123
Gráfico: 5 Gráficos de resistencias 0 % viruta a 28 días	124
Gráfico: 6 Gráficos de resistencias 5 % viruta a 28 días	125
Gráfico: 7 Gráficos de resistencias 8 % viruta a 28 días	126
Gráfico: 8 Gráficos de resistencias promedios a 28 días	127
Gráfico: 9 Gráficos de resistencias a tracción 0 % viruta a 28 días	131
Gráfico: 10 Gráficos de resistencias a tracción 5 % viruta a 28 días	133
Gráfico: 11 Gráficos de resistencias a tracción 8 % viruta a 28 días	135
Gráfico: 12 Grafico resistencia promedios a Tracción.	137

CAPITULO I
PROBLEMA Y PROPÓSITO.

1.0 Introducción.

1.1 Estado actual de objeto del estudio.

Como sabemos la industria de aditivos y fibras sintéticas (fibras de acero, de Nylon o polipropileno) tienen tiempo en el mercado mejorando la resistencia al desgaste y durabilidad del concreto.

Avances en investigación y tecnología han demostrado que las fibras sintéticas son viables para reducir las fisuras causadas por la contracción plástica, obteniéndose óptimos diseños para concreto realizados con fibras, pero su aplicación comercial aún está limitada debido a que estas fibras incrementan un poco el costo.

Un concreto que use fibras naturales podría ser barato y además no tendría un impacto ambiental. Además, son posibles de obtener a un bajo costo haciendo uso de la mano de obra disponible en las obras y las técnicas para su elaboración

Existen algunas fibras que son llamadas típicamente naturales no procesadas. Sin embargo, las fibras naturales son generalmente derivadas de la madera, pero estos procesos son altamente industrializados y no se dispone aún en países en desarrollo. A tales fibras se les conoce como fibras naturales procesadas. Un tipo de fibra que al parecer tiene un futuro prometedor son las virutas de acero que son residuos que se obtienen de corte del acero o fabricación de piezas que son fabricadas en los tornos de precisión. Estas virutas han incrementado el desperdicio a medida que se requiere un trabajo realizado en tornos o talleres de metalurgia por mencionar algunos.

Según (Ramos 2012) El Concreto Reforzado con Fibras de Acero constituye una de las innovaciones más relevantes en el campo de los concretos especiales. El uso de este tipo de concreto está avanzando a una gran velocidad debido a las nuevas tendencias constructivas. La adición al concreto de fibras de acero de un tamaño y forma normalizada mejora su capacidad de protección a la figuración, le hace dúctil, incrementa su resistencia a la tensión y mejora de forma notable su durabilidad; por ello, demostradas estas cualidades, los concretos son de utilización habitual en numerosos países. El Concreto Reforzado con Fibras de Acero constituye una de las innovaciones más relevantes en el campo de los concretos especiales. El uso de este tipo de concreto está avanzando a una gran velocidad debido a las nuevas tendencias constructivas.

De acuerdo a (Saif Eldeen & Taniguchi 2007) El reforzamiento con fibras discretas, cuyo papel de éstas en una forma discreta, discontinua y aleatoriamente distribuidas es el de crear un puente a través de las grietas que desarrolla el concreto cuando es cargado o cuando es sometido a cambios ambientales extremos, el concreto reforzado con fibras esta hoy en día firmemente establecido como un material de construcción, y uno de sus grandes beneficios es alcanzar una utilidad a largo plazo de la estructura, entendiéndose la utilidad como la disponibilidad de la estructura específica para mantener su resistencia e integridad, y proveer su función diseñada sobre la vida útil proyectada

Por criterio de (Oh et al. 1997). Desde que el diseño de mezclas razonable y su ajuste es ciertamente algo complicado, consume tiempo, y tareas tediosas que son fáciles para ser negligentes en ejecutarse y así como esto muchas veces no es posible para ser ayudadas por expertos, existen entonces esfuerzos para desarrollar sistemas expertos aplicados al diseño de mezclas de concretos, incluyendo los ajustes, como una herramienta valiosa En estos sistemas expertos se trata de ayudar al usuario del diseño de mezclas de concreto con el apoyo de las fibras, pero esto es aún imposible para los vacíos de los errores

personales, físicos y mecánicos, y las incertidumbres encontradas en los materiales, ambientes de los ensayos, ambientes en la construcción, y otros factores como el transporte, la colocación y las condiciones climáticas (Oh et al. 1997). Se hace entonces necesario desarrollar herramientas que permitan reducir las incertidumbres y los errores que son aún vacíos en el diseño de las mezclas de concretos y sus respectivos ajustes necesarios. Un punto de partida es el conocimiento relacionado con la influencia de los diversos materiales componentes de una mezcla de concreto, sobre sus propiedades mecánicas.

Citado por (Plaza 2010) La fibra ejerce un mecanismo de puenteo, con el fin de transmitir esfuerzos en el concreto agrietado y proporcionarle capacidad de seguir recibiendo carga aun en una condición agrietada, sin fallar; además de este mecanismo de puenteo, la longitud de la fibra tiene una acción diferenciada en el control de la micro fisura y la macro fisura.

De acuerdo (Van Chanh 2005) Las fibras hacen poco para aumentar la resistencia a compresión, con incrementos del orden del 25%, incluso en elementos estructurales con reforzamiento convencional, la adición de fibras tiene poco efecto sobre la resistencia a compresión; sin embargo, las fibras hacen sustancialmente un incremento de la ductilidad post-agrietamiento o absorción de energía del material

Por Investigación de (Juárez, Rodriguez, & Rivera, 2004) 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.

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.

De acuerdo (Julián Carrillo León 2013) Las fibras de acero incrementan las propiedades a flexión, tensión, cortante, fatiga, impacto y desgaste, y controlan la figuración del CS. Por tanto, la adición de fibras de acero promueve concretos con mejores desempeños y con mayor durabilidad. Usualmente, las fibras de acero producen ligeras modificaciones de la resistencia a compresión del concreto.

Según (Carlos Javier Mendoza 2011) Durante los últimos años se han realizado diversos estudios para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en los que el porcentaje de fibras ha variado entre 0.1 y 10% del volumen. Algunos de estos resultados son contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las resistencias a compresión y flexión del concreto. Algunos estudios indican que la presencia de las fibras tiene efectos negativos en la resistencia a compresión, aunque se alcanzan ligeros incrementos en la resistencia a flexión, cuando el contenido de fibra es relativamente alto. Otros estudios presentan efectos favorables de la adición de fibra sobre la tenacidad e incremento en la resistencia a compresión, del orden de 25%, cuando se emplea un porcentaje volumétrico de 0.5% de fibras de polipropileno. El uso de concreto reforzado con fibra ha pasado de la experimentación a pequeña escala a aplicaciones de rutina en plantas de prefabricados y en campo que incluye la colocación de muchos miles de metros cúbicos en todo el mundo. En la práctica actual de la construcción a la matriz de concreto se añaden fibras discontinuas en volúmenes relativamente bajos, usualmente en porcentajes menores a 2%, aunque lo más común es que varíe entre 0.1 y 0.7%

Como reseña (Valerio Galarza 2015) Históricamente las fibras han sido utilizadas como material de construcción por muchos siglos para mejorar y reforzar diferentes tipos de materiales de construcción, conocidos como materiales compuestos. Estas fibras anteriormente eran de origen vegetal. En tiempos modernos las fibras de acero, vidrio, asbestos y poliméricas (de polipropileno) han ganado popularidad para remediar y mejorar problemas en el concreto. El

fenómeno de la retracción del concreto se ha ganado de lejos (de manera merecida o no), el puesto de la causa más frecuente, de la mayoría de los problemas de figuración que aquejan a nuestras estructuras. Lo cierto es que si la retracción es la responsable de la mitad de las fisuraciones que se le imputan, aún continúa ocupando un lugar de privilegiado interés para los estudiosos y usuarios del material. A pesar de esto, hay desconocimiento acerca de este fenómeno y sus causas.

(Por estudios de Carlos Javier Mendoza¹; Carlos Aire² y Paula Dávila³) Las principales ventajas de la adición de fibras sintéticas en el concreto son, en estado endurecido, el incremento de la tenacidad y de la resistencia al impacto y, en el estado fresco, el control de la contracción plástica. Adicionalmente, controla la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura y brinda mayor resistencia a la fatiga.

Durante los últimos años se han realizado diversos estudios para evaluar las propiedades mecánicas del del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en los que el porcentaje de fibras ha variado entre 0.1 y 10% del volumen. Algunos de estos resultados son contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las resistencias a compresión y flexión del concreto. Algunos estudios indican que la presencia de las fibras tiene efectos negativos en la resistencia a compresión, aunque se alcanzan ligeros incrementos en la resistencia a flexión, cuando el contenido de fibra es relativamente alto. Otros estudios presentan efectos favorables de la adición de fibra sobre la tenacidad e incremento en la resistencia a compresión, del orden de 25%, cuando se emplea un porcentaje volumétrico de 0.5% de fibras de polipropileno.

El uso de concreto reforzado con fibra ha pasado de la experimentación a pequeña escala a aplicaciones de rutina en plantas de prefabricados y en campo que incluye la colocación de muchos miles de metros cúbicos en todo el mundo. En la práctica actual de la construcción a la matriz de concreto se añaden fibras

discontinuas en volúmenes relativamente bajos, usualmente en porcentajes menores a 2%, aunque lo más común es que varíe entre 0.1 y 0.7%.

El concreto con fibra se ha empleado en variadas aplicaciones siendo las más frecuentes en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concreto lanzado para la estabilización de taludes, revestimiento de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas, entre otras.

Las juntas son así los lugares donde las placas tienen el espacio para llevar a cabo los cambios dimensionales sin mayor restricción. Estos cambios dimensionales son producidos principalmente por la retracción del material en el tiempo (horizontal), por las dilataciones y contracciones de origen hídrico y térmico (alabeo, giro, horizontal-vertical) y claro por los movimientos verticales y horizontales producidos por las cargas.

Por supuesto en la medida en que una estructura de concreto no se fisure es mejor en cuanto a su durabilidad, la transmisión y continuidad de las cargas, la no concentración de esfuerzos y la estética de un concreto cada vez más a la vista.

1.2 Formulación del Problema.

El concreto es un material de construcción y estructural por excelencia, elaborado con cemento, agua, agregados y algunos aditivos según sea el caso, Sin embargo, es conocido también como un material quebradizo.

La fisuración del concreto es un fenómeno indeseable cuyas causas van desde variaciones en la composición del material, hasta los efectos provocados por cambios climáticos térmicos. Una fisura delata realmente la competencia perdida entra capacidad del material de resistir un esfuerzo frente al efecto de un esfuerzo actuante.

La ingeniería, sin embargo, muchas veces cuenta de partida con la fisuración del material y digamos que en algunos casos la provoca. De esta forma, los elementos de concreto reforzado diseñados para trabajar en flexión (vigas, placas etc.), dan por descontado en su diseño inicial, que el concreto de recubrimiento en la cara inferior se fisurará y se despreja la resistencia a la tensión del material. El material exigido en este caso es el acero, en la parte inferior de la viga.

El que el concreto de recubrimiento se fisure es normal y para algunos ingenieros estructurales es prueba de que el acero ha asumido la mayor parte de la carga a tensión.

Por supuesto las fisuras tienen un ancho máximo permitido tanto por consideraciones estéticas como de durabilidad de los elementos, en el caso de algunos códigos europeos y otros, éste ancho de fisura máxima, depende del medio ambiente y la durabilidad calculada para la estructura, sin embargo, el ancho permitido oscila entre 0 mm - 0.3 mm. La fisuración es así un mal con el que se ha aprendido a convivir como lo demuestra también el caso de los pavimentos donde la controlamos simplemente anticipándonos a las fisuras, con las juntas; que son como se ha dicho en muchas ocasiones, fisuras controladas.

El refuerzo estructural está destinado a controlar y asumir las cargas externas (estructurales) para las que se diseñó el elemento (momentos, cortantes, torsión), pero los esfuerzos generados por cargas producidas por retracción por secado, ciclos de humedecimiento y secado, los ingenieros estructurales los han resuelto usualmente adicionando acero de refuerzo o mallas electro soldadas, estas últimas principalmente en entre pisos y contra pisos.

La malla electro soldada empleada como refuerzo secundario en elementos de entrepisos y contra pisos y pavimentos se posiciona en la mayoría de los casos en la mitad de la altura del elemento. A edades tempranas (horas) en la mayoría de las ocasiones la parte superior de la losa, es la que se retrae más al desecarse y la malla se encuentra muy lejos de esta zona donde se generan los esfuerzos iniciales resulta así usual que con la malla electrosoldada se presente una fisuración

desordenada antes de las 24 horas. Este es el caso de algunas contra pisos y la mayor parte del concreto lanzado. Por ello algunos constructores, posicionan la malla en el tercio superior de la losa. Eso no elimina la existencia de un debate alrededor de la colocación de esta malla que otros constructores prefieren incluso localizarla en el tercio inferior del espesor.

Aun así, las mallas empleadas como refuerzo secundario tienen algunas limitaciones en cuanto a que su colocación es algo tediosa (tiempo y mano de obra) pero más allá de esto, es el lugar sobre el que todos caminan en la obra y su colocación teórica en el plano termina siendo muy diferente cuando se colan los elementos en la realidad.

No es así extraño ver las mallas hundidas o levantadas cerca de la superficie podríamos incluso afirmar que el que las mallas queden exactamente posicionadas donde las queremos corresponden a los casos menos frecuentes. De esta manera el refuerzo secundario (que no está destinado a asumir o resolver esfuerzos de flexión y cortante) queda alejado de los lugares que pretendemos proteger. Debido justamente a las dificultades de colocación y eficiencia en el destino final de estos refuerzos secundarios, por esta razón hizo su irrupción en el concreto el uso de las fibras.

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

Su comportamiento estructural y sus aplicaciones, así como sobre las prácticas de construcción con el concreto, esto ha resultado en nuevas generaciones de concretos siendo constantemente improvisado y desarrollado en el sentido de encontrar el continuo incremento de la demanda para una manejabilidad y propiedades mecánicas y durabilidad superior.

1.3 Formulación del Problema.

¿Cómo influyen las fibras en el aumento de esfuerzos y en la reducción de fisuras asociadas a la retracción plástica en el concreto?

1.4 Justificación.

Al realizar esta investigación, se contribuirá con el estudio del comportamiento del hormigón a compresión y Tracción a partir de la incorporación de fibra reciclada en el concreto.

Existen diversas investigaciones sobre la mejora de las propiedades mecánicas del concreto mediante la adición o reemplazo de un material con mejores características físicas y mecánicas. Existen algunas investigaciones sobre la adición de fibras, virutas de aluminio, desechos de alto horno, puzolana, coco, cuero, paja y otros materiales los cuales incrementaron la resistencia del concreto

Ilustración 1 Investigaciones de Fibras

Exploración con redes neuronales artificiales para estimar la resistencia a la	Luis Octavio González Salcedo, Aydée Patricia Guerrero	2012	El trabajo se basó en la elaboración de redes neuronales artificiales para predecir la resistencia a la compresión en concretos reforzados con fibras de
Hormigones con fibra de acero características mecánicas	Patricia Cristina Mámol Salazar	2010	Este trabajo presenta una introducción al conocimiento de 3 tipos de hormigones (acero, vidrio y polipropileno) tratando exclusivamente las características mecánicas del hormigón con fibras de acero.
Análisis comparativo entre el concreto hidráulico simple y el reforzado con fibras de acero	José Castañeda Ávila, Cecilia Olague, Facundo Almeraya, Citlalli Gaona y Alberto Martínez	2000	En este estudio se comparan las propiedades mecánicas (módulo de ruptura, resistencia a la flexión, tenacidad, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad) y de durabilidad (resistencia a la corrosión) del concreto reforzado con fibras de acero (CRFA).

Fuente: Los autores.

Teniendo en cuenta los antecedentes que se relacionan en la Tabla anterior y las conclusiones, se determinó un porcentaje de incorporación de fibras como reemplazo parcial del cemento o de los agregado fino y gruesos.

La fibra de se aplica en diversas obras. Entonces se decidió analizar el aporte de esfuerzos de la fibra a base de virutas de acero (residuos de material producidos por los tornos de precisión al momento de cortar o sometes piezas de acero) para hacer una comparación sobre la respuesta a los esfuerzos del concreto reforzado con fibras. La fibra proporciona resistencia a la compresión, a la tensión y mejora la ductilidad del concreto y elimina el fisuramiento.

Por esto en esta investigación vamos a recolectar virutas de acero de los talleres de precisión y talleres de metalurgia, para usar estas virutas como un tipo de fibra metálica reciclada y la cual después clasificaremos por tamaño y grosor para adicionarla al concreto en dos tipos de porcentajes para luego fallarlas a compresión y flexión versus concreto convencional, ósea concreto sin ningún tipo de refuerzo.

Queremos corroborar si los resultados son positivos y si realmente existe algún tipo de aumentos en los esfuerzos al concreto partiendo de que este resultado sea positivo también ayudamos a darle un uso útil a estos desperdicios que generalmente los sacan afuera de las instalaciones para que los camiones recolectores de basura hagan el proceso de reciclaje.

Las virutas se incluyen y mezclan en el concreto como si fuesen un agregado más, normalmente exigen un tiempo de mezclado adicional entre 3 a 5 minutos para garantizar su completa dispersión para las dosificaciones y volúmenes antes mencionados

1.5 Objetivo General.

Analizar el comportamiento del concreto sometido a esfuerzos de compresión y tracción indirecta, en adiciones con porcentajes de 5 % y 8 % de virutas de acero recicladas de tornos de precisión.

1.6 Objetivo Específico.

- Determinar las ventajas y desventajas del hormigón reforzado con virutas de acero recicladas con respecto a su resistencia a la compresión.
- Diseñar la mezcla para los porcentajes de viruta especificados 5% y 8 %
- Determinar en laboratorio la resistencia a la compresión y tracción de los cilindros de concreto a 7 y 28 días.

1.7 Alcances de la Investigación.

Con esta investigación lo que se quiere obtener el aporte de las virutas de acero, obtener el porcentaje de fibra requerida óptima para aumentar los esfuerzos y evitar las fisuraciones principalmente para usos de coladas en contra pisos, aceras y losa de parqueos.

1.8 Limitaciones de la Investigación.

Las limitaciones en el uso de esta fibra (Virutas de acero) en los concretos reforzados es por ningún motivo la fibra reemplaza al acero en un elemento estructural como Vigas de carga o una columna, esta se limita al uso de losas para contra pisos, aceras o losa de parqueos.

1.9 Delimitaciones Espacial.

El presente escrito tiene como objeto de estudio el reforzamiento del concreto con virutas de acero, que se enfocara en el espacio o área de Universidad Latina sede San Pedro, San José, Costa Rica, ya que esta investigación contara con los recursos que son propios del país.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.0 Fundamentación Teórica.

2.1 Marco Legal.

Las fibras para refuerzo de concreto están hechas con diferentes materiales y se producen en varios tamaños y geometrías. ACI-544 y ASTM C1116 categorizan las fibras basados en la composición: acero, vidrio, fibras sintéticas y naturales.

Las fibras de acero y fibras sintéticas son las fibras más utilizadas en la industria de la construcción.

Cuando se consideran el tamaño y la funcionalidad de las fibras, que se pueden clasificar en microfibras y macrofibras.

Las microfibras se utilizan generalmente para el control de agrietamiento por contracción plástica y por lo general no añaden ninguna capacidad estructural a una sección de concreto.

Estas fibras son muy finas con un diámetro que van de 0,02 mm a 0,05 mm y una longitud en un rango de 6 mm -38 mm.

Las Microfibras de acero o sintéticas se utilizan para controlar las grietas por contracción temperatura, así como proporcionar capacidad de carga post-agrietamiento de los elementos de concreto sometidos a flexión y tensión para reemplazar malla electrosoldadas y varillas para refuerzo de acero para ciertas aplicaciones.

Las Macrofibras son relativamente gruesas con diámetros que van de 0,5 mm -0,7 mm y una longitud en un rango de 19 mm - 50 mm. La decisión sobre el tipo, tamaño, geometría, y la dosificación de las fibras depende de la aplicación y el tipo de condiciones de carga y la exposición.

Muchas empresas producen una amplia gama de fibras que incluye la línea de microfibras, línea de Macrofibra y fibras de acero entre otras, De acuerdo a las fichas técnicas de ellas cumplen con la norma ASTM C1116 lo cual se pueden comercializar legalmente.

En las últimas cinco décadas se han venido empleando las fibras sintéticas, en especial las fibras de polipropileno en la industria de la construcción, el cual ha superado a las fibras de polietileno, nylon y hasta a las fibras de vidrio.

Las últimas investigaciones fueron muy exitosas y resultaron económicas, aparecieron grupos dedicados a la investigación en América como es el caso del Comité ACI y el ASTM que se ocuparon del estudio de este material más a fondo.

Claro ejemplo es que en el siglo XX sale la norma ASTM C 1116 acerca del uso de las fibras. Y el Comité ACI 544 publica un reporte sobre concretos reforzados con fibras.

Existen muchas casas comerciales que distribuyen fibras para reforzamiento de concreto como los de las imágenes adjuntas.

Ilustración 2: Microfibras sintéticas



Fuente: Eucomex mx



Fuente: Eucomex mx

En la siguiente imagen podremos observar una gama de fibras, por ejemplo, acero, vidrio, fibras sintéticas y naturales.

Ilustración 3 Diferentes presentaciones de fibras



Fuente: Eucomex

Las dosificaciones más frecuentes oscilan entre 0,2 % a 0,5 % del volumen del concreto. Las microfibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0,05 mm a 2,00 mm. La relación de aspecto (L/d) de las microfibras varía entre 20 a 100.

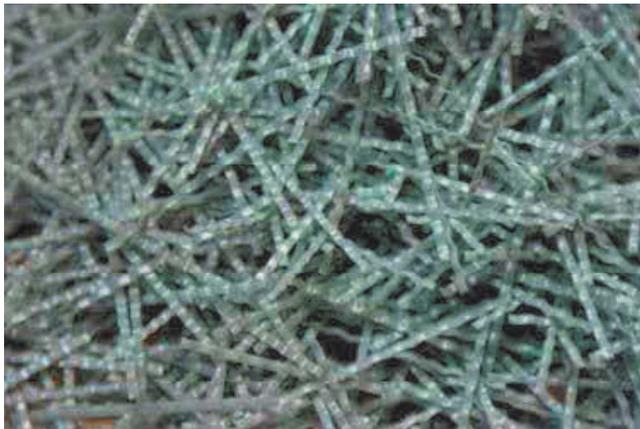
Ilustración 4 Fibras de acero y sintéticas.



Fuente: Catálogo de Sika

Las dosificaciones en términos de peso varían así de acuerdo con la densidad del material, las fibras de acero requieren entre 20 a 50 kg/m^3 de concreto y las fibras sintéticas (polipropileno) entre 2 a 9 50 kg/m^3 . Las macrofibras actúan en estado endurecido, es decir antes de las 24 horas no tienen mayor efecto.

Ilustración 5 Fibras de acero



Fuente: Catálogo de Sika

El concreto fibroreforzado le permite a la estructura, después de la fisuración, continuar absorbiendo carga (ya sea de las llantas de un camión de Tándem, una estantería cargada sobre piso de concreto, o el empuje de un terreno) sin colapsar ya que le permite a la estructura continuar funcionando adecuadamente.

(Salcedo, 2012). En la siguiente tabla se da a conocer algunas de las características con las que cuentan las fibras que son utilizadas para la elaboración del concreto u hormigón con adición o reforzado.

Las fibras de acero, en todas sus variantes son las más utilizadas para conseguir concretos con mejor resistencia a flexión, tracción, impacto, fatiga, etc.

Ilustración 6 Características Mecánicas de los tipos de fibras

Tipo de fibras	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (kg/m³)	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500 - 3000	210	7800	3,5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3,6
Carbón	3000	200 - 500	1900	0,5
Nylon	900	4	1100	13,0 – 15,0
Polipropileno	400 - 800	5 - 25	900	8,0 – 20,0
Poliéster	700 - 900	8,2	1400	11,0 - 13,0
Hormigón	5 – 8	30	2300	-

Fuente: Adaptado de (Salcedo, 2012).

2.2 Marco Teórico.

La historia de la utilización de elementos reforzados con fibras como materiales de construcción tiene más de 3.000 años de acuerdo a los registros los egipcios.

Hay ejemplos del uso de paja en adobe de arcilla, y pelo de caballo, reforzando materiales para la fabricación de paredes.

El adobe es una de las técnicas de construcción más antiguas y populares del mundo. Su uso ha sido registrado a más de 10 mil años en las más variadas zonas y climas del planeta.

Ecocosa (2012) Hassan Fathy 1899 –1989 fue un notable arquitecto egipcio pionero en el uso de esta tecnología, que es aún hoy considerada apropiada en Egipto.

Él restableció el uso del adobe reforzado con paja empleando métodos de diseño y materiales antiguos. Integro la situación económica rural del país con el amplio conocimiento de la arquitectura antigua y técnicas de diseños de ciudades además entrenó los habitantes locales para construyeren sus propias casas y nos dejó al mundo su gran legado.

Ainchil Lavin (2012) En la década de 1950 surge el concepto de materiales compuestos y el concreto reforzado con fibras fue uno de los temas de interés. Había una necesidad de encontrar un reemplazo para el amianto utilizado en materiales de construcción de hormigón y otros, una vez que los riesgos para la salud asociados con la sustancia fueron descubiertos.

Durante años hubo un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que trataran de copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal fue la fabricación de tejidos.

Las fibras sintéticas han tenido una aplicación en el sector de la construcción más tardía. No obstante, las fibras metálicas sí han tenido una mayor presencia a lo largo de los años como adición a materiales de construcción.

Otras fibras naturales han sido utilizadas para comprobar la ductilidad de los materiales de construcción esencialmente frágiles.

La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos se realizó en California en 1874 por A. Berard. Consistía en una piedra artificial que utilizaba

acero granular procedente de desechos para el refuerzo del hormigón. A partir de ese momento han aparecido numerosas patentes. En 1911 Graham utilizó por primera vez.

En comparación con estos antiguos materiales naturales, el desarrollo de polímeros en los últimos cien años fue impulsado por el crecimiento de la industria del petróleo. Desde 1930 el petróleo ha sido la principal fuente de materia prima para la fabricación de productos químicos orgánicos, a partir de los cuales son fabricados plásticos, fibras, gomas y adhesivos. Desde 1955, han sido desarrollados una gran cantidad de polímeros, con variedad de propiedades y formas de la cuales estos sirvieron para fabricar fibra sintética.

Los primeros intentos de utilizar fibras sintéticas de polipropileno y nylon no fueron tan exitosos como los que utilizan fibra de vidrio o fibras de acero. Sin embargo, una mejor comprensión de los conceptos del refuerzo con fibra nuevos métodos de fabricación, y los nuevos tipos de fibras orgánicas han llevado a los investigadores a la conclusión de que las fibras sintéticas y naturales pueden satisfactoriamente reforzar el hormigón

Ya en la década del ochenta, el asunto fue tomado por la industria civil, continuando su desarrollo por sus propios medios y con la colaboración de universidades. Siendo estas fibras de polipropileno de entre las distintas fibras sintéticas, unas de las que mejor satisfacen técnica y económicamente.

Ricardo Rasen (2015) Las fibras sintéticas de elevado módulo de elasticidad, alta resistencia a tracción y poco peso son derivadas de polímeros ligeros como el polietileno, polipropileno, nylon, tienen su aplicación en el control de la fisuración en morteros y concretos y en menor medida, en el reforzamiento del concreto como tal.

A medida que la tecnología mejora y las aplicaciones se expanden, las instituciones técnicas en Norteamérica y otras partes del mundo están desarrollando incrementando el uso de la fibra en una variedad de aplicaciones.

Macrofibras sintéticas son la novedad del avance en la tecnología de la fibra y se comercializaron a finales de 1990. Mientras que las fibras de acero se utilizan en una gama más amplia de aplicaciones estructurales, las macrofibras sintéticas se están convirtiendo rápidamente en la opción favorable para ciertos proyectos. El concreto reforzado con fibras es una tecnología de rápida evolución en el sector de la construcción por sus beneficios técnicos, económicos y ambientales.

Kenny Espinoza (2015) Las aplicaciones de Concreto reforzado con fibras incluyen losas sobre rasante, sistemas, concreto prefabricado, concreto lanzado y para proyectos nuevos o de reparación en construcción. La Colada de un contra piso es un ejemplo donde se utilizaron microfibras sintéticas para reemplazar varillas de acero o malla electrosoldadas como el único medio de refuerzo.

Concreto reforzado con fibras contiene materiales fibrosos, además de ingredientes de la mezcla de concreto estándar como arena, piedra, cemento y algunos aditivos. Como el concreto es fuerte en compresión, pero relativamente débil en tensión, se necesita un mecanismo de refuerzo para llevar a los esfuerzos de tensión y flexión causados por cargas últimas o de contracción, así como tensiones térmicas después del agrietamiento.

2.3 Historia del Concreto.

La historia del concreto es la misma historia del hombre ya que se busca un espacio para vivir con mayor seguridad, comodidad y protección. Con el paso de los años se ha observado la evolución que ha existido hasta el momento, desde las cavernas que utilizaban los antepasados hasta los templos y palacios que existen hoy en día.

(Fuente Cemex CR) Un resumen de la historia del concreto a lo largo de los años.

- En la Pre Historia, se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su colocación. (v.gr. Stonehenge de Inglaterra).
- En Egipto, Se utilizaron ladrillos de barro o adobe secados al sol y colocados en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco. Este tipo de construcción prevalece en climas desérticos donde la lluvia es nula. Todavía se practica en muchas partes del planeta
- Se utiliza la cal mezclada con arena para hacer mortero en la isla de Creta. Los romanos adaptaron y mejoraron esta técnica para lograr construcciones de gran durabilidad como son el Coliseo Romano y Panteón Roma, así como un sin número de construcciones desperdigadas por todo el Imperio Romano

- Los griegos fueron los primeros en percatarse de las propiedades cementantes de los depósitos volcánicos al ser mezclados con cal y arena que actualmente conocemos como puzolanas (latín: puteoli, un pueblo cercano a la bahía de Nápoles).
- Siglos IX al XI Se pierde el arte de calcinar para obtener cal. Los morteros usados son de mala calidad.
- Siglos XII al XIV Revive el arte de preparar mortero con las técnicas usadas por los romanos.
- Siglos XIV al XVII El mortero producido es excelente y empieza a utilizarse en un proceso continuo.
- Siglo XVIII Se erige el faro de Eddystone en Inglaterra Se reconoce el valor de la arcilla sobre las propiedades hidráulicas de la cal.
- 1756 John Smeaton, un ingeniero inglés encuentra las proporciones para el cemento. Aparecen los primeros concretos.
- 1796 James Parker saca una patente para un cemento hidráulico natural (Cemento de Parker o Cemento Romano).
- Siglo XIX L. J. Vicat prepara una cal hidráulica al calcinar una mezcla de creta y arcilla molida en forma de lodo (nace el método húmedo).
- 1800 – 1850 Este periodo fue caracterizado por la aplicación de tres materiales: el acero, el cristal y el concreto; que permitirían industrialización de la producción, la prefabricación, el rápido montaje y la pronta recuperación de capital; todo esto en busca de una prosperidad económica a través del libre mercado y en donde la competencia era la fuerza motriz del progreso
- 1820 se asoció un entrapado de barras de hierro con concreto en ambas caras, se aplicó en una iglesia de Courbevoie, Francia.
- 1824 Joseph Aspdin obtiene la primera patente británica para producir Cemento Portland por medio de un proceso de pasta (método húmedo).

- 1851 – 1855 En Londres nace el primer evento de carácter mundial cerca de la construcción. Para conmemorar este evento, se construye un edificio único en el que se albergara a todas las naciones, tarea que es encomendada a Joseph Paxton, quien haciendo uso de acero recubierto con cristal crea "El Palacio de Cristal".
- 1855 Es en la segunda exposición de un evento mundial con sede en París, Francia, cuando se enfatiza el uso del concreto. En este evento se rindió homenaje a los creadores de prototipos; a los diseñadores de maquinaria y muebles; y una parte sustantiva al diseño industrial. Es durante la construcción del Palacio Industrial, fundado en los Campos Elíseos en Francia, donde se piensa que se realizaron las primeras investigaciones y los primeros productos de la técnica del concreto armado, planteando la integración de las artes y las técnicas.
- 1861 El francés Coignet construye un solar con el principio de atrapado de acero y cimbrado para recibir el concreto.
- 1867 se crean las primeras losas con refuerzo metálico embebido en el concreto
- 1868 el jardinero Monier construyó un depósito de agua de 200 m³ y sus procedimientos fueron aplicados en la construcción de bóvedas armadas, y después, en vigas rectas.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.0 Marco Metodológico.

3.1.1 Definición del Enfoque Cuantitativo.

El enfoque metodológico que tendrá esta investigación será cuantitativo, ya que por medio de esta se realizara un diseño de concreto reforzado con fibras reciclables, en este caso virutas de acero recicladas de talleres de metalurgias y tornos de precisión , por medio de esta vamos a obtener información, para responder a ciertas preguntas u incógnitas que están presentes en la investigación, por medios de los ensayos de falla de cilindros los cuales nos revelaran los esfuerzos obtenidos en compresión y tensión.

Para el logro de los objetivos planteados en este Trabajo se ha seguido la metodología descrita a continuación:

Lo primero que se hizo fue una recopilación de información sobre el concreto reforzado con fibras buscando en varias fuentes, libros y artículos, tesis, seleccionando la información que nos ayude a fortalecer las bases de esta investigación.

Además, este escrito será también del tipo analítica ya que la formulación de la propuesta metodológica de diseño de un concreto convencional reforzado con fibras será un trabajo en el cual se analizarán datos y resultados que han sido extraídos de manuales e información recopilada de otros trabajos realizados anteriormente tanto a nivel nacional como internacional.

El enfoque de esta tesis es cuantitativo ya que se requiere una serie de pasos para poder llevar a cabo el diseño del concreto reforzado con fibras la cual se va a basar en distintos aspectos que nos va a permitir el poder determinar cada uno de los elementos que requiere un diseño con estas características y pueda cumplir y se adapte a las condiciones de diseño por la cual se está investigando.

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, agua y fibras con tamaños discretos cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los concretos.

Para evitar los fusilamientos y aumentan los esfuerzos, por otro lado, colaborando a la limpieza del medio ambiente dando uso a fibras metálicas en este caso, se obtienen de principalmente de cortes de tuberías y materiales de hierro negro principalmente que se producen en talleres de metalurgia y tornos de precisión ya que buscamos ver el aporte mecánico que ellos producen al concreto convencional siempre y cuando ellas cumplan con los requisitos normado.

Para tratar de predecir el comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras, es necesario conocer si la fibra es adecuada física y mecánicamente para ser consideradas como posible refuerzo. Las propiedades físicas obtenidas deberán cumplir el diámetro y la longitud de la fibra

El uso de esta fibra y de obtener resultados favorables podemos contribuir al proceso de construcciones sostenibles ya que bajaremos los desperdicios de acero y usaremos desperdicios de aceros de otras actividades sin perder calidad y siempre obteniendo resultados favorables y a nivel técnico aumentando las propiedades mecánicas del concreto y hasta con cierto ahorro económico.

Se sabe que el concreto tiene una gran resistencia a la compresión, pero porque no darle mayor resistencia adicionándole viruta de acero. En esta investigación se trata de concretar definitivamente que es muy viable poner en práctica este ensayo para alcanzar optimización en los materiales reciclados en los procesos de la Ingeniería nacional,

3.1.2 Tipo de Investigación

La investigación que se lleva a cabo es de tipo cuantitativa descriptiva, debido a las investigaciones y obtención de resultado lo cual genera una crítica del conocimiento obtenido: investigación recopilación y evaluación de la información teórica y empírica en este caso sobre la propuesta.

Enfocándonos ya sea en la propuesta de la investigación actual y posibles vías para suplir el consumo de aceros principalmente en elementos de contra pisos y entre pisos, en el análisis interna y externas de las teorías de reforzar los concretos con cualesquiera tipos de fibra.

Esta investigación también contiene ciertas partes de del tipo cuantitativa analítica ya que al realizar una propuesta de diseño se espera que está presente una serie de rangos mínimos y máximos provenientes de resultados que se ejecutan en los ensayos físicos e investigaciones teóricas relacionadas a esta investigación que tengan que ver con el reforzamiento del conocimiento que se buscamos adquirir con este trabajo.

También formular propuesta puedan sustituir las variables, en este caso el uso de acero en algunos elementos de concreto proveniente de materiales reciclado, que se usaran principalmente para elementos no estructurales y a su vez buscamos obtener resultados que van proveniencia de los ensayos a compresión y tensión que se realizaran en esta investigación. Esto con el fin de que se pueda tomar en cuenta o bien ayudar a otros estudios o investigaciones relacionados a esta investigación a la hora de realizar un diseño de este tipo o similar.

3.1.3 Sujetos de investigación.

Como Sujetos de investigaciones de este trabajo hemos buscado apoyo Ing. Minor Murillo Chacón y se cuenta con las sugerencias y aporte del conocimiento por más de 25 años en la línea de concreto reforzado además funge como encargado del laboratorio de materiales de construcción de la universidad latina sede Heredia.

También recurrimos al Ing. Rafael Kauffman Incer para que nos brinde soporte y también y poder captar un poco de conocimiento adquirido a lo largo de su vida profesional como ingeniero del ICE por 20 años, también docente en la universidad latina sede san pedro y además ya ha guiado a otros compañeros en trabajos similares a esta investigación.

3.1.4 Fuentes de Información.

Las fuentes de información a las que hemos recurrido hasta el momento todas son enfocadas en esta área o que han realizado investigaciones o trabajos similares especializadas en el área o en el campo de interés hacia la investigación que se está realizando, por ejemplo: Ingenieros, maestros, casas comerciales, laboratorios de materiales, revistas, manuales, tesis, páginas web, libros, fichas técnicas de productos en este caso fibras y concretos.

3.1.5 Definición de variables conceptual, operativa e instrumental.

Las Principales variables que se debe tener en consideración para el siguiente trabajo son las siguientes. Matriz de variables conceptuales, operativa e instrumental.

Tabla: 1 Variables para la fabricación del concreto.

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Definición instrumental
Granulometría	Es la distribución de los tamaños de las partículas del agregado, este se determina por análisis de tamices.	Para obtener la granulometría correcta se utilizará en diseño de concreto de acuerdo al diseño de mezcla.	Se utilizará una tamizadora para poder realizar la distribución correcta según el tamaño de las partículas del agregado.
Cemento	Es un conglomerado formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua.	Se debe agregar una dosificación o cantidad de cemento optimo según el diseño de mezcla que vamos a fabricar.	Se utilizará una balanza para poder medir el peso exacto proporcionado por el diseño de mezcla agregar la cantidad exacta.
	La fibra reciclada es un conjunto de de residuos de metal(viruta) que	Esta se agregará en 2 tipos de porcentajes de acuerdo al diseño	Utilizaremos la ayuda de una batidora de concreto para

Fibras Metálicas	quedan como residuos generalmente cuando se corta elementos metálicos o se fabrican nuevas piezas en talleres de torno	de mezcla que vamos a fabricar.	homogenizar todos los componentes que necesitamos para la fabricación de concreto.
Aguas.	El agua es un recurso fundamental a la hora de la fabricación de concreto ya que nuestro mayor componente el cemento por ser hidráulico al tener contacto con el agua inicia el proceso de fraguado, se debe utilizar agua potable.	Utilizaremos un recipiente plástico para medir la cantidad en litros de agua que debemos agregar al concreto según el diseño de mezcla. .	Utilizaremos un batidor eléctrico para homogenizar todos los materiales.
Resistencia a la compresión del concreto	La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo,	La resistencia a la compresión del concreto se determina con el fin de ver la capacidad individual o grupal del elemento y así determinar qué capacidad posee.	La resistencia a la compresión debe ser determinada por cilindros y fallados en la maquina universal.

Resistencia a la Tracción.	La resistencia a la tracción es una medida de la resistencia a la falla por compresión de un elemento de concreto no reforzado.	La tracción del concreto se determina para verificar su comportamiento ante las cargas a la que son sometidos	La tracción se mide mediante la aplicación de carga al centro de su longitud mayor.
-----------------------------------	---	---	---

3.1.6 Instrumentos y técnicas utilizadas en la recopilación de datos.

Como técnica de recopilación de datos se realizó una encuesta con una serie de preguntas con el objetivo de determinar el conocimiento de algunos profesionales en el área de la ingeniería civil principalmente en concretos para poder determinar si estos han tenido contacto o escuchado sobre una metodología similar a esta y también determinar que otras son utilizadas en la actualidad para realizar diseños similares.

Encuesta:

¿En qué área de la ingeniería civil se enfocó?

¿Su trabajo como ingeniero civil se relaciona con el concreto como tal?

¿Se dedica usted al diseño elementos prefabricados de concreto?

¿Qué tipos de diseño o edificaciones ha trabajado?

¿Ah realizado algún diseño de concreto reforzado con fibra alguna vez?

¿Conoce acerca del diseño y construcción de contra pisos o entre pisos reforzado con fibra metálica?

¿Le ha tocado diseñar algún tipo de elemento utilizando algún tipo de fibra?

¿Tiene conocimiento acerca de que empresas producen o distribuyen fibras metálicas

¿Sabe que estructura debe tener una fibra metálica para que pueda cumplir con un diseño para concreto?

¿Es conveniente realizar un diseño con fibra metálica para algún elemento estructural?

3.1.7 Sustentación de la confiabilidad y la validez de los instrumentos de la investigación.

La sustentación de los datos es proveniente de las investigaciones que ha realizado las casas comerciales que distribuyen este tipo de fibras para realizar las pruebas correspondientes a los concretos, las cuales son, la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión, resistencia y capacidad de absorción.

También laboratorios de materiales se han dedicado al estudio de los concretos reforzados con fibras a nivel nacional e internacional.

Personas físicas como ingenieros, técnicos, también han realizado investigaciones sobre las propiedades que las fibras aportan al concreto y los beneficios que conllevan al usar este tipo de refuerzos que se ha hecho muy popular en los últimos años, y en nuestro país sigue creciendo el uso de las fibras en el concreto.

El usar las fibras de reciclajes o cualquier tipo de fibras adicional al aporte de esfuerzos que nos brinda en algunos casos nos genera ahorro en el caso de reciclable, el costo por comprar las fibras que las casas comerciales distribuyen y el eliminar las mallas de acero ya que estas no solo general costo por adquirirlas sino que también consumen mano de obra por su colocación y tiempo que se le podría restar a un cronograma de construcción de la obra lo cual es tiempo que a su vez se ve reflejado monetariamente.

Todas estas fibras están certificadas y normadas a través de una serie de parámetros que deben cumplir desde el tipo de fibra mineral, fibra natural, polyester por mencionar algunas además de longitud, espesor, máquinas utilizadas para fallar los elementos a los que son sometidos.

Esta comprobación se debe realizar con el fin de que la casa comercial tenga un respaldo de lo que está ofreciendo al mercado y que los resultados sean los

ofrecidos en las fichas técnicas del material y que el diseñador o consumidores si confíen realmente lo que esta dice ya que a la hora de diseñar o ejecutar un proyecto en donde se vaya a necesitar de este producto, lo que se espera es lograr lo establecido luego de realizar los diseños correspondientes que contemplan todas la variables y factores que son provenientes de estudios que realizan los laboratorios encargadas de la distribución del producto.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.0 Características de los Materiales a usar para la Fabricación del Concreto Reforzado con Fibra Reciclada para este Ensayo.

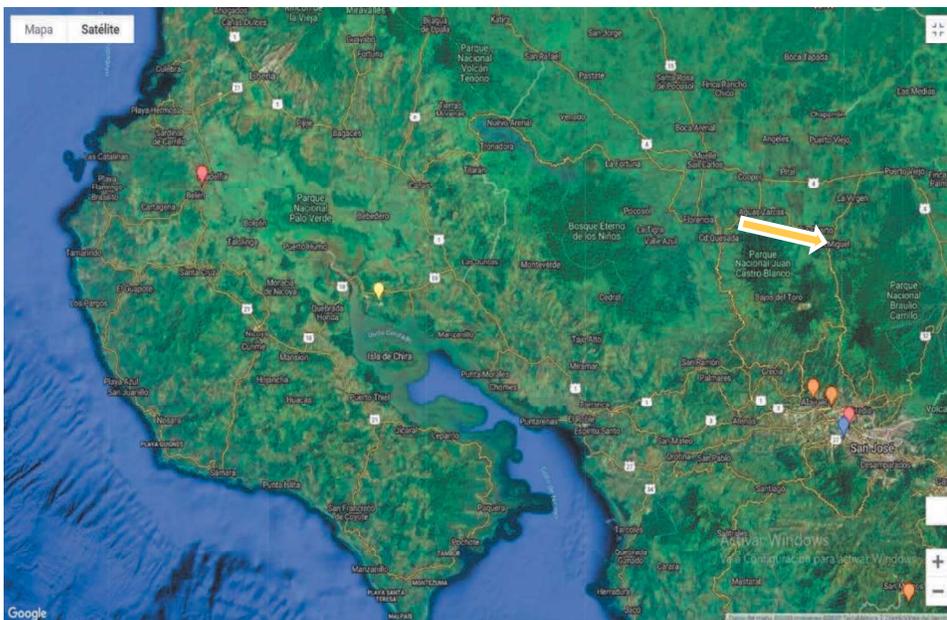
4.1.1 Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica.

Su nombre proviene del latín “**caementum**” que significa cimientó.

El cemento hidráulico tiene diferentes propiedades que poseen algunos materiales aglomerantes para fraguar y endurecerse al tener contacto con el agua. Esta propiedad la tienen ciertas cales y puzolanas.

El cemento de CEMEX Costa Rica es de producción nacional, La planta está ubicada en Abangares Colorado Guanacaste Costa Rica.

Ilustración 7 Ubicación Planta de Cemento Cemex Costa Rica



Fuente: Cemex Costa Rica.

4.1.2 Componentes Química y Especificaciones Técnica del Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica.

Este cemento es de producción nacional posee las siguientes características y componentes y usando las siguientes Normativas.

Ilustración 8 Especificaciones técnicas del cemento Hidráulico Cemex

COMPONENTES QUÍMICOS		
	RTCR 479:2015 Tipo MM/B(P-C)-28	ASTM C1157 Cemento UG
Óxido de magnesio (MgO), % ASTM C114	6.0% máx	no indica
Trióxido de azufre (SO ₃), % ASTM C114	4.0% máx	no indica
Cromo Hexavalente (Cr VI), % INTE 06-11-24	0.0002% máx	no indica

Fuente: Cemex Costa Rica.

COMPONENTES QUÍMICOS		
	RTCR 479:2015 Tipo MM/B(P-C)-28	ASTM C1157 Cemento UG
Expansión en autoclave, % ASTM C151	0.80% máx	0.80% máx
Tiempo de fraguado inicial, min, ASTM C191	45 mín	45 mín
Tiempo de fraguado final, min, ASTM C191	420 máx	420 máx
Fraguado falso, % ASTM C451	50 mín	50 mín
Contenido de aire, % ASTM C185	12 máx	12 máx
Expansión en barras de mortero a 14 días, %, ASTM C1038	0.020 máx	0.020 máx
Resistencia a la compresión MPa, ASTM C109	≥13 MPa a 3 día ≥20 MPa a 7 días ≥28 MPa a 27 días	≥13 MPa a 3 día ≥20 MPa a 7 días ≥28 MPa a 27 días

Fuente: Cemex Costa Rica.

4.1.3 Usos y Aplicaciones Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica.

Este Cemento de uso general, normalmente para estructuras que no requieren o necesitan alta resistencia inicial. De acuerdo a la información de la ficha técnica cumple con el Reglamento Nacional como cemento Modificado Mixto, Tipo MM/B (P-C)-28. Adicionalmente cumple con la norma ASTM C1157, como cemento Tipo UG.

Este Cemento es especial para morteros y concretos de uso general. O bien para estructuras que no requieren de alta resistencia inicial principalmente.

Este Cemento es diseñado para soportar las condiciones ambientales de Costa Rica. Sus componentes permiten que sea un producto de alta durabilidad, especialmente en zonas costeras y volcánicas. Se fabrica para bajar el riesgo de fisuras y contracciones.

A continuación, se detallan algunos tipos de usos:

1. Controle el agua de mezclado.
2. El exceso reduce la resistencia a la compresión
3. Verifique y controle las proporciones de los materiales en el diseño de mezcla del concreto.
4. El curado con agua es fundamental para reponer el agua perdida por evaporación, principalmente durante los primeros 5 días

Fuente: Ficha técnica Cemento UG Cemex.

Ilustración 9 Presentación saco de 50 kg cemento tipo UG



Fuente: Propia

4.1.4 Proceso de producción Cemento Hidráulico Tipo UG Cemex Costa Rica

Se trata de tomar materiales cementantes de la naturaleza y combinarlos para obtener un nuevo elemento artificial, que tenga mejores características y que satisfaga los requerimientos} de los concretos y morteros de hoy en día.

1. Extracción de materias primas de las minas de caliza y de arcilla, a través de la barrenación y detonación con explosivos
2. Transporte de materias primas de piedras calizas fragmentadas a la planta para su trituración
3. Trituración del material de las minas por el efecto de presión y/o impactos son reducidos hasta un tamaño de 38 mm.
4. Almacenamiento de materia prima como la piedra caliza triturada y la arcilla en naves industriales o depósitos.
5. Dosificación de materia prima que es transportada por separado a los silos, en donde es dosificado para la producción de diferentes tipos de cemento.
6. Molienda de materias primas que se realiza en un molino vertical, que muele el material hasta convertirlo en un polvo conocido como harina de crudo.
7. Homogenización se realiza en silos equipados para lograr una mezcla homogénea de la harina de crudo, y así lograr características químicas uniformes en el cemento.
8. Calcinación es el proceso donde a través de un horno giratorio de acero, la harina de crudo es cocinada hasta una temperatura de 1450 °C y se transforma en un nuevo material llamado "Clinker", que son pequeños módulos de color gris o blanco de 3 cm a 4 cm.
9. Molienda de cemento donde el clinker es molido con bolas de acero de diferentes tamaños donde también se le adiciona yeso, puzolanas y otros materiales que conforman los diferentes tipos de cementos.
10. Envase del cemento después de la molienda a silos de almacenamiento donde después es transportado hasta las maquinas ensacadoras o de descarga directa a camiones cisterna.

4.1.5 Hidratación, Tiempo de Fraguado, Endurecimiento, Cemento Tipo UG Cemex Costa Rica.

El cemento es una mezcla de muchos compuestos, cuatro de ellos conforman el 90% (el silicato tricalcico, el silicato dicalcico, el aluminio tricalcico y el aluminio ferrito tetracalcico).

Cuando la concreta fragua, su volumen bruto permanece casi inalterado, y el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, entre menos porosa sea la pasta de cemento, mucho más resistente es el concreto.

El agua empleada es más importante que la que se requiere para la completa hidratación del cemento, la relación mínima Agua-Cemento (en peso) para la hidratación total es de 0,22 a 0,25.

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua, la reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que se conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Si embargo una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecido rápido.

4.1.6 Agregados para el Ensayo Proveniente del Tajo Chirripó

Como agregados para el concreto se consideran todos aquellos materiales que tienen una resistencia propia, que garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida

Se les conoce también como áridos, son un conjunto de partículas de origen natural que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites por la Norma Técnica Costarricense.

Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen, de una mezcla típica de concreto; razón por la cual haremos un análisis minucioso y detenido de los agregados utilizados

Los agregados deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

- Los agregados seleccionados deberán ser procesados, transportados manipulados, almacenados y dosificados de manera de garantizar:
- Que la pérdida de finos sea mínima.
- Se mantendrá la uniformidad del agregado.
- No se producirá contaminación con sustancias extrañas
- No se producirá rotura o segregación importante en ellos

Los agregados expuestos a la acción de los rayos solares se deberán, si es necesario, enfriarse antes de su utilización en la batidora.

Si el enfriamiento se efectúa por aspersión o riego, se deberá considerar la cantidad de humedad añadida al agregado a fin de corregir el contenido de agua de la mezcla y mantener la relación agua- cemento de diseño seleccionado.

Dependiendo de sus dimensiones los agregados son sometidos a ensayos de laboratorio para conocer sus propiedades físicas y clasificarlos, estos ensayos deben cumplir con los procedimientos que especifican las normas ASTM American Society of Testing Materials y obtener los siguientes datos y definiciones:

Para poder realizar una mezcla de concreto es necesario conocer el volumen bruto de los agregados (grueso o fino), por eso es importante conocer la densidad relativa (gravedad específica o pesos específicos).

Es importante conocer el significado de los términos descritos a continuación para no tener confusión cuando se habla de ellos:

- Densidad (peso unitario): se refiere a la relación masa entre unidad de volumen.

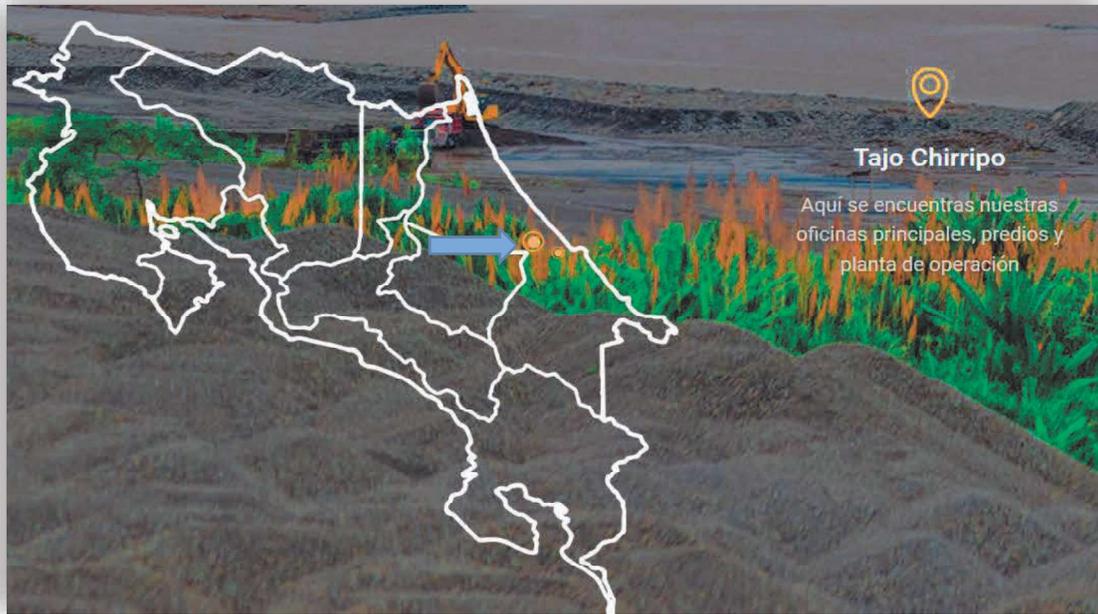
- Densidad relativa (gravedad específica o pesos específicos o pesos relativos): se refiere a la relación de la densidad de un agregado con la densidad del agua, en iguales condiciones de presión y temperatura. Es un valor adimensional (sin unidad)
- Densidad relativa bruta (Gbs): Se refiere a la relación entre las densidades de un agregado y el agua; en este caso se debe de tomar en cuenta los poros permeables e impermeables sin incluir los vacíos entre partículas, y el agua debe de ser destilada. Se usa cuando el agregado está seco al aire o se supone seco.
- Densidad relativa bruta saturada superficie seca (Gbss): Se utiliza cuando se tiene el agregado en la condición S.S.S. (Sumergido en agua por aproximadamente 24 horas), básicamente es la relación entre la densidad del agregado, tomando en cuenta el peso de los poros permeables saturados, y el agua, ambas en mismas condiciones de temperatura.
- Densidad aparente (Gba): Se utiliza cuando se tiene el agregado en la condición seco al aire. Es la relación entre las densidades de la porción impermeable del agregado y el agua, en iguales condiciones de temperatura.
- Absorción: Se refiere al incremento del peso del agregado cuando se consigue llegar a la condición saturado en superficie seca.

Los Agregados que se utilizaron en este ensayo provienen de la Provincia de Limón Costa Rica del Tajo Chirripó el cual este Material es extraído del Rio Madre

NOTA: Los ensayos para los agregados no se realizaron por limitaciones de tiempo y espacio.

Los agregados convencionales fueron adquiridos a un proveedor calificado, para este caso **Tajo Chirripó, S.A**, que garantizó las propiedades óptimas de los agregados a usar, tales como; el peso específico, Absorción, el peso unitario secos, mediante el estudio realizado por el laboratorio de la empresa **CACISA**.

Ilustración 10 Ubicación geográfica tajo Chirripó



Fuente: Tajo Chirripó.

4.1.7 Agregados Grueso de Tajo Chirripó.

Los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen, en una mezcla de concreto. Cuando se habla de agregados comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizada para preparar morteros y concretos.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.

Para la graduación de los agregados se utilizan una serie de tamices que están especificados en las Norma Técnica ASTM, las cuales se seleccionarán los tamaños y por medio de unos procedimientos hallaremos su módulo de granulometría, y el tamaño máximo nominal y absoluto de los agregados.

La Grafica Granulométrica es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura de los agregados desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman:

Granulometría: Distribución del tamaño de las partículas de un agregado.

- Agregado Grueso: Material que se retiene en la malla #4 (4.75mm)
- Agregado Fino: Material que pasa la malla #4 (4.75mm)
- Tamaño Máximo: ASTM C125 Abertura de la malla por la que pasa el 95%-100% del agregado.

El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso es empleado en la preparación de concretos, podrá ser natural o artificial, deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.
- Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

Adjunto tabla de ensayo número **INF-7978** del laboratorio para el agregado grueso.

Ilustración 11 Informe laboratorio agregado grueso



PÉRDIDA POR SANIDAD CON SULFATO DE SODIO (AASHTO T 104/ ASTM C88)*		
TIPO DE SOLUCIÓN	Nueva	****
PERDIDA GRUESOS (%)	8	Máximo 12

DENSIDAD APARENTE DEL AGREGADO (ASSHTO T-19 / ASTM C-29)*	
PESO UNITARIO SUELTO kg/m ³	1370
PESO UNITARIO ENVARILLADO kg/m ³	1490

INDICE DE DURABILIDAD DE GRUESOS (AASHTO T-210)**	
DURABILIDAD	80

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS (AASHTO T85 / ASTM C127)*	
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA SECA	2,598
GRAVEDAD ESPECIFICA DE SUPERFICIE SATURADA SECA	2,657
% DE ABSORCION	2,3

PARTICULAS FRIABLES AASHTO T 112 (ASTM C 142)*		
PARTICULAS FRIABLES (%)	0,0	3% MÁXIMO

Fuente: Tajo Chirripó S.A

4.1.8 Agregados Fino de Tajo Chirripó.

Los agregados finos provienen de materias minerales en estado granular fino, que consta normalmente de cuarzo (sílice) con una pequeña proporción de mica, feldespatos, magnetita y otros minerales resistentes.

Es el producto de la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión. Cuando las partículas acaban de formarse suelen ser angulosas y puntiagudas, haciéndose más pequeñas y redondeadas por la fricción provocada por el viento y el agua.

Los agregados finos o arenas consisten en arena natural extraída de los ríos, lagos, depósitos volcánicos o arenas artificiales, esto es que han sido triturados. Estos agregados abarcan normalmente partículas de 4.75mm

Para los agregados finos existen dos mallas con una mayor importancia las cuales son la malla No.4 (4.76mm); que nos ayuda a separar el material grueso, y la malla No.200 (0.074mm); esta es la más importante ya que nos ayuda a separar el material fino del agregado de sustancias deletéreas

El agregado fino deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.

Este es el ensayo del laboratorio de donde evidencia que el agregado fino cumple con los parámetros dentro de la norma.

Adjunto tabla de ensayo número **INF-7545A** del laboratorio para el agregado fino.

Ilustración 12 Informe laboratorio agregado fino.



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (AASHTO T-84)*	
GRAVEDAD ESPECIFICA BRUTA	2,516
GRAVEDAD DE SUPERFICIE SATURADA SECA	2,604
ABSORCIÓN (%)	3,5

DENSIDAD APARENTE DEL AGREGADO (ASSHTO T-19 / ASTM C-29)*		
PESO UNITARIO SECO ENVARILLADO (kg/m ³)	1650	---
PESO UNITARIO SECO SIN ENVARILLAR (kg/m ³)	1510	---
PARTICULAS FRIABLES AASHTO T 112 (ASTM C 142)*		
PARTICULAS FRIABLES (%)	0,4	3% MÁXIMO

PÉRDIDA POR SANIDAD CON SULFATO DE SODIO (AASHTO T 104)*		
TIPO DE SOLUCIÓN	Nueva	----
PERDIDA FINOS (%)	6	MENOR AL 10%

*ENSAYO ACREDITADO
Ver alcance en www.eca.or.cr

** ENSAYO NO ACREDITADO

APROBACIÓN DE INFORME DE ENSAYO

Ing. Carlos Solís Molina
Gerente Técnico de Laboratorios

cc: Archivo, MMA

Fuente: Tajo Chirripó S.A

4.1.9 Virutas de Acero Recicladas Para este Ensayo.

Las virutas recicladas se obtienen del acero. El acero es una aleación de hierro y carbono, Manganeso, sulfuro, puede también estar compuesto por otros elementos y materiales.

El comportamiento del acero depende a las diferentes temperaturas. Esta aleación se clasifica en aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultrarresistentes, acero inoxidable, y aceros de herramientas.

En diversos sectores pertenecientes a la industria metalmecánica y tornos de precisión se producen virutas provenientes de máquinas que más adelante serán convertidas en desperdicio cuando esta es cortada para reciclaje, o bien en la fabricación de nuevas piezas para la industria torneado barras de acero de forma circular.

Previamente a ser un producto terminado la viruta de metal atraviesa un proceso donde se eliminan volúmenes impurezas que pueden venir adheridas.

Las virutas de acero son desechos dejados por fresadoras al trabajar con barras circulares o cualquier otro metal que tenga figuras geométricas diferentes y generalmente son de acero, aluminio, acero inoxidable entre otras.

El reciclado de viruta en la industria metalmecánica y presión produce además de las mismas numerosos residuos como recortes que tienen su origen en los procesos de torneado, pulido y fresado entre otros. Estos recortes generalmente están impregnados de aceite de corte.

El reciclado de viruta en Costa Rica se utiliza en diversas industrias como una opción para reciclar y favorecer al medio ambiente atreves de los centros de Acopio los cuales generalmente importan estos residuos a Guatemala o China para que sean fundidos nuevamente.

El reciclado de viruta materiales no ferrosos y ferrosos atraviesa diferentes procesos antes de llegar al desecho, pasa por triturado, centrifugado y transporte antes de obtener como resultado la viruta sin embargo no todos los talleres lo realizar por falta de infraestructura para este tipo de tratamiento.

Las virutas de acero y hierro fundido entre otras son fuente de materia prima de gran valor para las industrias que se dedican a la fundición. Se utilizan generalmente para producir acero y también hierro fundido.

Hay tres tipos de formas para determinar el tipo de Viruta:

- Propiedades del material a trabajar.
- Geometría de la herramienta de corte.
- Condiciones del maquinado (Profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte)

Viruta Discontinua:

Son materiales frágiles como el hierro fundido y el latón fundido que se cortan, y estos esfuerzos al cortarlos producen fractura, este material cuando se desprende sale en segmentos muy pequeños.

Viruta Continua:

Son materiales dúctiles que al cortarlos no se fracturan y estas velocidades de corte son altas, son un poco difíciles de cortar y es mejor hacerlo por tramos cortos.

Viruta continúa con protuberancias

Son materiales dúctiles donde al cortarlos su velocidad es baja esta viruta es un metal aglutinado.

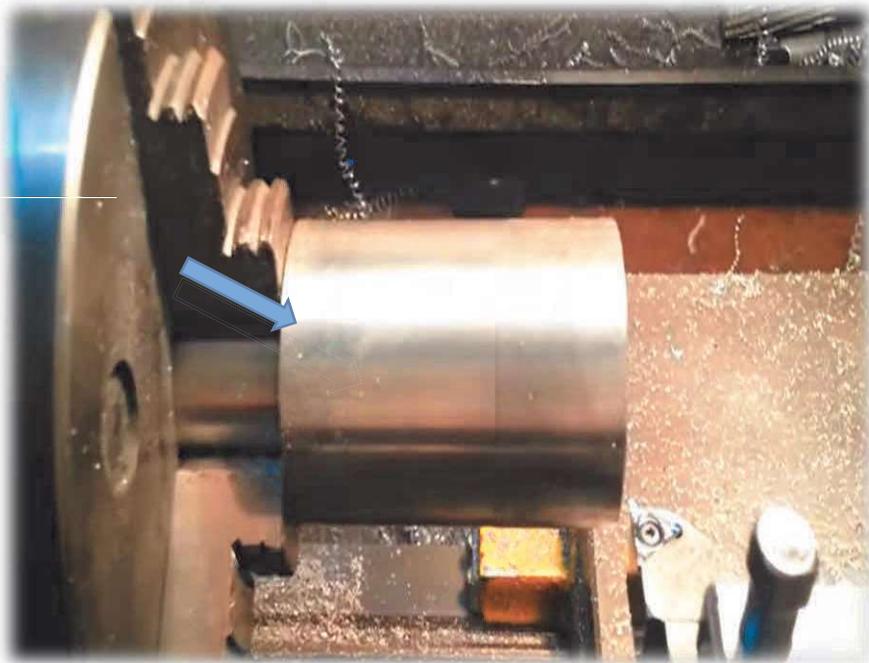
4.1.10 Proceso para Obtener la Viruta.

La adición que se utilizó en este trabajo es la viruta de acero que proviene de la empresa **Torno de Precisión Alvinos SA**.

Allí se utilizaron barras de acero **ARSA 1020 de 150 mm** de diámetro que por medio del torno se descomponen para fabricar diferentes piezas y por las cuales salen de diferentes formas de viruta, que por medio del tamiz que tienen las fresadoras se bate y posteriormente lo que sale de la rejilla son partículas pequeñas de viruta de acero, las cuales se almacenan y posteriormente son recicladas en los centros de acopios.

En la Siguiete fotografía adjunta, se puede observar un trozo de barra que está colocada en la fresadora y posteriormente se convertida en una pieza de engranaje.

Ilustración 13 Barra de acero colocada en torno de precisión



Fuente: Propia

Estas piezas una vez colocadas en la fresadora, esta comienza a girar a 1000 rpm y con ayuda del formón se va introduciendo para dar forma a la pieza a fabricar, este a su vez produce la viruta que hemos reciclado para este trabajo.

En la fotografía adjunta podemos observar en momento que se produce la viruta.

Ilustración 14 Origen de la viruta reciclada.



Fuente: Propia

4.1.11 Cantidad de Viruta Reciclada.

La viruta utilizada en este trabajo fue recaudada entre 22 de enero y 05 de junio del año 2020, la cual se utilizaron cubetas plásticas para su almacenamiento.

Ilustración 15 Cantidad de viruta reciclada Recolectada



Fuente: Propia

Ilustración 16 Verificando peso por cubetas de viruta reciclada



Fuente: Propia

Esta viruta se recolecto en 5 cubetas, en total se recaudó 126.80 Kg distribuidos como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 2: Pesos por cubetas de viruta recolectada.

Descripción	Peso (Lbs)	Peso (Kg)
Cubeta #1	60,40	27,45
Cubeta #2	58,40	26,55
Cubeta #3	69,12	31,42
Cubeta #4	38,8	17,64
Cubeta #5	52,23	23,74
Total	278,95	126,80

Fuente: Propia

4.1.12 Características de la Viruta Reciclada.

Esta viruta generalmente se genera en lienzos de 25 cm – 35 cm de longitud es muy irregular, por lo que para poder utilizar para el reforzamiento se tuvo que pasar por el proceso de corte principalmente a nivel longitudinal para que facilite introducirlo a la fabricación de concreto, estas piezas quedaron con nuevas dimensiones que oscilan desde los 10 cm – 18 cm longitud, con un ancho de viruta de 1.68 mm a 1.80 mm también poseen un espesor de 0.29 mm - 0.34 mm.

Ilustración 17 Ancho de Viruta



Fuente: El Propia

Ilustración 18 Espesor de Viruta



Fuente: Propia

4.1.13 Datos Técnicos de la Viruta reciclada.

Gracias a la administración de esta empresa pudimos tener conocimiento que dichas barras fueron adquiridas a una empresa costarricense de nombre Aceros Roag S.A ubicada en la Uruca San José, Costa Rica.

Misma que nos proporcionó la ficha técnica de las barras circulares de las cuales proviene la viruta para poder caracterizar y conocer sus propiedades mecánicas y los componentes de su fabricación.

Adjunto ficha técnica de barras circulares de 150 mm.

Estas virutas recicladas del taller, están compuestas por las siguientes composiciones química:

Ilustración 19 Ficha técnica de las barras ARSA 1020

www.acerosroag.com

BARRA DE ACERO REDONDA CALIBRADA

ARSA 1020
TRANSMISION
IDENTIFICACION

BARRAS DE ACERO AL CARBONO ARSA/ SAE 1020

Estado de suministro
Calibrado con tolerancia ISO 266-2 H11
Torneado
Laminado en caliente (Negro) con tolerancia DIN 1013
Premaquinado

Formas y color:

Composición química (% en peso)

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.15	0.15	0.60	-	-
0.20	0.35	0.90	0.040	0.050

Densidad: 3330 kg/M³

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Limite de Fluencia		Alargamiento en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad 1212 EF =100%
	PSI	MPa	PSI	MPa				
Caliente y maquinado	58000	400	32000	220	25	50	116	70
Estirado en frío	64000	440	53600	370	15	40	126	

Tratamientos térmicos recomendados (Valores en °C)

Forjado	Normalizado	Recocido		Templado	Revenido	°T Crítica aprox.	
		Ablanda/.	Regeneración			Ac1	Ac3
1100-1250	870 - 900	850 - 890 Enfriar al aire	850 - 890 Enfriar en horno	Cementar 925	150 - 250	724	840

Características
Acero de bajo contenido de carbono, de fácil mecanizado y buena soldabilidad. De baja dureza para usos convencionales de baja exigencia. Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad.

Aplicaciones
Bases de matrices, soportes, engranajes, flanges, pernos de anclaje, ejes, cadenas, bujes, tornillería corriente y pasadores de baja resistencia. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar, recalcar, entre otros.

Fuente: Aceros Roag de Costa Rica

4.1.14 Composición Química de la Viruta Reciclada.

Elementos Químicos (% en peso)

C= Carbono
Si= Silicio
Mn=Manganeso
P= Fosforo
S=Azufre.

4.1.15 Propiedades Mecánicas de esta viruta:

Ilustración 20 Composición de química de la barra ARSA 1020

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.15	0.15	0.60	-	-
0.20	0.35	0.90	0.040	0.050

Fuente: Aceros Roag Costa Rica

Ilustración 21 Composición de Mecánica de la barra ARSA 1020

Tipo de proceso y acabado	Resistencia a la tracción		Límite de Fluencia		Alargamiento en 2" (%)	Reducción de área (%)	Dureza (HB)	Relación de maquinabilidad 1212 EF =100%
	PSI	MPa	PSI	MPa				
Caliente y maquinado	58000	400	32000	220	25	50	116	70
Estirado en frio	64000	440	53600	370	15	40	126	

Fuente: Aceros Roag Costa Rica

4.1.16 Densidad de esta Viruta

Densidad de: 3330 kg/m^3

4.1.17 Guía para Realizar el concreto y moldeo de los cilindros de este ensayo según ACI y ASTM.

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de concreto, se basa en medir los materiales (cemento, agua, piedra y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que, a su vez, está basada en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas. Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar para construir la obra y también establece valores en tablas para verificar los parámetros como las tablas que adjunto a continuación.

4.1.18 Tabla Tamaño Máximo de Agregado ACI 211.1

Los agregados bien gradados tienen menores espacios vacíos por lo consiguiente si el tamaño de los agregados aumenta, los contenidos de cemento y agua disminuyen, debe ser compatible y lo más económicamente posible dependiendo la mínima dimensión de la estructura, existen limitaciones que pueden influir como la producción, transporte y colocación.

Respecto a la geometría y el refuerzo de la estructura se debe seleccionar de acuerdo a los espacios por donde se desplazará el concreto durante su colocación de modo que no sufra obstrucciones y se distribuya uniformemente sin que queden espacios vacíos. Se deben considerar aspectos tales como lo angosto de las secciones y las distancias mínimas entre las varillas del refuerzo y entre estas y el recubrimiento.

Generalmente se diseña con una dimensión mínima de 10 cm, para muros reforzados y columnas, en Costa Rica estos tamaños andan máximo entre 12 mm y 38 mm

Ilustración 22 Tamaño Máximo Agregado Grueso.

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente Manual de laboratorios de Materiales de la U latina

4.1.19 Relación agua-cemento ACI 211.1.

La relación agua / cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe ser el menor valor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño,

Cuando la durabilidad no sea el factor que rija el diseño, la relación agua / cemento deberá elegirse en base a la resistencia a compresión del hormigón.

Por la facilidad con que se determina, la resistencia a la compresión es la medida por la calidad del concreto empleado más mundialmente. A pesar de ser una característica importante otras propiedades tales como la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste pueden tener igual o mayor importancia.

La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la cantidad y calidad de los componentes reactivos y del grado al cual se completa la reacción de

hidratación. El hormigón se vuelve resistente con el tiempo, siempre y cuando exista humedad disponible y se tenga una temperatura favorable.

Por lo tanto, una resistencia a cualquier edad no es tanto función de la relación agua / cemento original, como lo es del grado de hidratación que alcance el cemento. La importancia de un curado puntual y completo se reconoce fácilmente a partir de este análisis,

La diferencia de resistencia para una relación agua / cemento puede ser resultado de cambios en el tamaño del agregado, granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez: de la diferencia en los tipos y fuentes del cemento; del contenido de aire incluido; de la presencia de aditivos; y de la duración del periodo del curado.

A continuación, se muestran las relaciones agua/cemento, que depende principalmente de la resistencia a la compresión deseada y de la exposición que tenga el concreto a la intemperie.

Ilustración 23 Relación Agua – cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento (a partir del peso)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	***
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: Manual de laboratorios de Materiales de la U Latina

4.1.20 Contenido de aire para diferentes revenimientos y agregados ACI 211.1.

El contenido de aire y concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

En esta investigación se considera que el concreto no estará expuesto a ambientes severos, por cuanto se está trabajando un concreto con aire atrapado normalmente.

A continuación, se observan los porcentajes de aire, que dependen directamente del tamaño máximo del agregado grueso.

Ilustración 24 Tabla de asentamiento según agregado grueso.

Revenimiento (cm)	Tamaño máximo de la grava (mm)							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2.5 -> 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 -> 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 -> 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Aire atrapado aprox. (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 -> 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 -> 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 -> 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)								
Exposición Ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición Moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: Manual de laboratorios de Materiales de la U latina

4.1.21 Temperatura del Concreto ASTM C1064.

Este método de ensayo provee un medio para medir la temperatura del concreto recién mezclado.

La temperatura medida representa la temperatura al momento del ensayo y puede no indicar la temperatura del concreto recién mezclado un momento más tarde. Se puede usar para verificar el cumplimiento con un requisito específico de la temperatura del concreto.

El concreto que contiene agregado de un tamaño máximo nominal mayor que 75mm puede requerir hasta 20 min para la transferencia de calor desde el agregado al

mortero. (Vea el Informe ACI Committee 207.1R4). Siendo el nuestro el tamaño máximo de 19 mm, se omite esta nota.

Ilustración 25 Toma de temperatura de concreto con



Fuente: Propia

4.1.22 Asentamiento ASTM C143.

El Asentamiento es una propiedad importante que depende específicamente del elemento que se va a construir en obra.

Este se mide al momento que el concreto está fresca y se desarrolla con el cono de abrahams.

El método utilizado de compactación es de vibración, cuando se utilizan otros métodos diferentes a las tablas se debe aumentar 25 cm., hay que recordar que permita una colocación eficiente.

Otro aspecto importante es el sistema de compactación a utilizar debido a que hay lugares de difícil acceso entonces el concreto debe estar diseñado para tales fines en la hay diferentes parámetros que ayudan a determinar el mejor revenimiento para diseño.

En la siguiente tabla se muestran los asentamientos dependiendo de las condiciones de obra que se tengan.

Ilustración 26 Medición de asentamiento.



Fuente: Propia

Ilustración 27 Tabla de Asentamientos.

Tipo de construcción	Revenimiento (cm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes y zapatas de cimentación reforzadas.	8	2
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo.	8	2
Vigas y paredes reforzadas	10	2
Columnas de edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Construcción masivas	5	2

Fuente: Manual de laboratorio de Materiales U latina.

Ilustración 28 Medición Asentamiento.



Fuente: Propia

4.1.23 Peso Unitario Concreto Fresco ASTM C138.

Valga recalcar que para realizar el cálculo del peso unitario deberá realizarse sobre concreto fresco y no sobre concreto endurecido. El conocer la el peso unitario nos brindará fórmulas para conocer rendimiento del concreto, contenido de cemento y contenido de aire del concreto

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 kg/m^3 a 2400 kg/m^3

La densidad de la concreta va dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento.

Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. En el diseño del concreto armado (reforzado), el peso unitario

de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m^3 . El peso del concreto seco es igual al peso de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable.

Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento.

Además, parte del agua permanece fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales. La cantidad del agua de mezclado que se evaporar

Ilustración 29 Peso Unitario concreto fresco



Fuente: Propia

4.1.24 Determinación del Rendimiento de la Mezcla.

La determinación del rendimiento de la mezcla de concreto es el volumen del concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales que la componen.

Permite comprobar el rendimiento de los materiales ya utilizados, como del diseño con los materiales.

4.1.25 Moldeo y Curado de Cilindros ASTM C31

Los cilindros de concreto se realizan para verificar la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto endurecido a diferentes edades, lo cual también sirve para proyectar comportamientos del concreto a largo plazo.

El moldeo de los cilindros es un proceso que se debe de realizar con su debido cuidado, siguiendo los pasos establecidos para el tipo de probeta que se desea moldear, en el caso para este ensayo 15 cm diámetro y 30 cm de altura.

Este proceso se realiza para asegurar que el cilindro contenga las capas necesarias y la compactación adecuada con el cuidado de que no contenga grandes burbujas de aire, esto con el fin de tener un buen comportamiento a la hora de realizar las pruebas establecidas a compresión o según sea el ensayo. Después se procede a curar los especímenes ya sea sumergidos en agua en pilas por cámaras húmedas.

En la siguiente tabla podemos observar el número de golpes por especímenes.

Ilustración 30 Diámetro de varilla y numero de penetración para compactar concreto

Tabla 1: Diámetro de la varilla y numero de penetraciones empleados para moldear especímenes de prueba.

Diametro del cilindro en cm	Diametro de la varilla mm	Número de penetraciones por capa
Cilindros verticales		
Entre 5 y menos de 15	10	25
15	16	25
20	16	50
25	16	75
Cilindros horizontales (para flujo plastico)		
15	16	50 en total, 25 de cada lado del eje
Vigas y prismas:		
Area superficial superior del especimen en cm ²		25
1600 menos	10	Uno por cada 7 cm ² de superficie
Entre 165 y 310	10	Uno por cada
320 a mas	16	Uno por cada
	10 cm ² de superficie	

Fuente: Cemex Costa Rica

Ilustración 31 Compactación de Concreto.



Fuente: Propia

Ilustración 32 Cilindro Moldeados.



Fuente: Propia

Ilustración 33 Curado cilindros 8% viruta



Fuente: Propia.



Fuente: Propia

Ilustración 34 Curado cilindros 5% viruta sumergido en estañón.



Fuente: Propia

4.1.26 Coronamiento de especímenes cilindros de concreto ASTM C1231.

El coronamiento es un procedimiento que se debe de realizar a los cilindros de concreto en estado fresco y endurecido para asegurar que las superficies se encuentren planas

Esto se realiza para que cuando se coloque el espécimen en la Maquina Universal, la compresión que produce sea uniforme en toda su área y volumen.

Existen diversos tipos de cabeceo o formas para conseguir esa perfección de las superficies que depende del estado físico del concreto, algunos son:

Cilindros de Concreto fresco:

Pastas puras de cemento por este proceso solo se realiza cuando el cemento este en estado fresco (4 horas a 6 horas luego de moldeado), se debe de realizar cabeceos delgados, para lograr esto, se coloca la pasta en el centro y se aplasta con el plato de cabeceo previamente aceitado. Es importante mencionar que se deben dar mínimo 6 días para que la pasta endurezca y adopte la resistencia

Cilindros de Concreto Endurecido:

Lima de acero o cepillo de alambre, se utiliza sobre el concreto endurecido. Consiste en remover los excesos que impiden que la superficie se encuentre plana.

Coronamiento con yeso de alto resistencia o pasta de cemento puro, se debe de colocar la pasta de yeso o de cemento en el centro de la cara y aplanar con ayuda del plato de cabeceo. Recordar los 6 días de curado.

Cabeceo con mortero de azufre, se realiza el mortero de azufre, y se aplica con capas delgadas con ayuda del plato de cabeceo caliente

Ilustración 35 Cilindro concreto endurecido cabeceado.



Fuente: Propia

4.1.27 Resistencia a la Compresión del Concreto ASTM C39

Es la capacidad máxima de carga axial que soporta un material antes de llegar a su límite de ruptura.

La forma (cubos o cilindros), el material (concreto o mortero), así como la edad a la que se desea probar la muestra influyen en la resistencia de el mismo como lo demuestra la siguiente tabla.

Ilustración 36 Días a fallar especímenes

TIPO DE CEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MÍNIMA (MPa)			
	Día 1	Día 3	Día 7	Día 28
UG-RTCR	-	10	17	28

Fuente: Manual laboratorio de materiales de construcción de la Universidad latina de costa rica

Ilustración 37 Horas y tolerancias para ensayo.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible (±)
24 horas	0.5 horas
3 días	2 horas
7 días	6 horas
28 días	20 horas
90 días	2 días

Fuente: ASTM C-39. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Ilustración 38 Cilindro fallado en la maquina universal.



Fuente: Propia

Ilustración 39 Cilindro fallado en la maquina universal.



Fuente: Propia

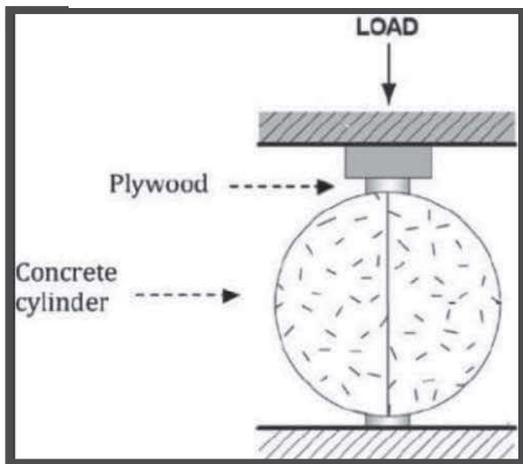
4.1.28 Resistencia a la tracción ASTM C 496

Este método consiste en aplicación de una fuerza de compresión diametral en el sentido longitudinal de un espécimen de concreto, a una velocidad dentro de un rango establecido hasta que se produzca la falla.

Esta carga induce a los esfuerzos de tracción sobre planos que contiene las cargas aplicadas y los esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada.

Generalmente ocurren fallas por tracción que, por compresión, porque las áreas de aplicación de cargas se encuentran en un estado de compresión triaxial permitiéndoles así soportar esfuerzos por compresión mucho mayores de que habrían sido indicados por los resultados de los ensayos de resistencia de compresión uniaxial.

Ilustración 40 Diagrama ensayo C-496



Fuente: Splitting tensile Strength



Fuente: Propia

4.1.29 Equipo a utilizar para fabricar los cilindros de concreto.

A continuación, se mencionará el equipo utilizado para fabricación de concreto la determinación del revenimiento de una mezcla de concreto, moldeo de cilindros de concreto, determinación del peso unitario del concreto, determinación del rendimiento de la mezcla, falla a compresión de cilindro.

El equipo utilizado fue el siguiente:

- Batidora de medio saco de capacidad.
- 10 moldes cilíndricos de metal con un diámetro de 15.2 cm y una altura de 30.5 cm.
- Un molde cónico de metal para revenimiento (cono de Abrams) con su base y embudo.
- varillas de acero de 16 mm de diámetro y un largo de 60 cm con un extremo semiredondeado.
- Una pala.
- Un carretillo.
- Un cronómetro.
- Seis baldes plásticos grandes.
- Un balde mediano.
- Cucharas de pulpero medianas.
- Una cuchara de albañil.
- Cucharas de pulpero grandes.
- Una manguera.
- Una cinta métrica de 6 m.
- Un mazo de hule medianos.
- Un paño grande húmedo.
- Estañones para curado de cilindros
- Cámara Húmeda
- Un crayón de cera.
- Una esponja pequeña.
- Pie de rey digital

4.1.2.1 Diseño de Mezcla según ACI 211.1.

A continuación, se determinarán las proporciones paso a paso para realizar esta mezcla de concreto.

Proyecto: **ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE Y TRACCION INDIRECTA DE CONCRETO REFORZADO CON VIRIUTAS DE ACEROS RECICLADAS.**

- Asentamiento estimado: 7 a 10 cm.
- Concreto normal.
- Materiales:
 - ✓ Cemento Cemex tipo U.G.
 - ✓ Arena de rio lavada.
 - ✓ Piedra tipo cuarta.
 - ✓ Agua Potable
 - ✓ Viruta Reciclada.

Se puede apreciar que para el diseño de mezcla se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencia que, con la ayuda de tablas y gráficos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones apropiadas de los materiales.

Tabla de Características de Materiales:

Tabla: 2 Características de los agregados.

Características	Agregado Fino	Agregado Grueso	Cemento
Módulo de Finura	3,15	7,13	-
Material pasando el tamiz #200	14,23	-	-
Tamaño máximo nominal (mm)	-	19	-
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1510	1370	900
Peso Unitario Compacto (kg/m ³)	-	1542	-
Gbs	2,51	2,59	2,88
Gbss	2,60	2,65	-
Absorción (%)	3,5	2,3	-

Fuente: Propia.

4.1.2.2 Paso 1: Considerar un factor de seguridad (fs).

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 20,60 \text{ MPa}$$

$$fs = 1,09$$

$$f'c \ 210 \text{ kg/cm}^2 \times 1,09 = 228,90 \text{ kg/cm}^2 = 22,43 \text{ MPa}$$

4.1.2.3 Paso 2: Seleccionar cantidad de agua y aire.

- Asentamiento: 7 a 10 cm.
- Tamaño Máximo Nominal agregado grueso: 19 mm.
- Agua: 210 L.
- Aire: 2% = 20 L.

4.1.2.4 Paso 3: Encontrar relación Agua/Cemento.

Conociendo la resistencia para trabajar, según la tabla del ACI 211.1, para la resistencia obtenida, la relación es:

- $a/c = 0,52$

4.1.2.5 Paso 4: Determinar la cantidad de agregado grueso por volumen.

- Módulo de Finura Arena: 3,15
- Tamaño Máximo Nominal: 19 mm.
- Volumen del agregado grueso según la tabla del ACI 211.1:
 $0,58 m^3$

4.1.2.6 Paso 5: Cantidades por volumen absoluto para 1 m³.

Tabla: 3 Cantidades por volumen para fabricar concreto

Materiales	Cálculo	Volumen (m³)
Agua	210 L	0,21
Aire	20 L	0,02
Cemento	$\frac{210}{0,52 \times 2,88 \times 1000}$	0,14
Piedra	$\frac{0,58 \times 1542}{2,65 \times 1000}$	0,34
	Σ	0,71

Fuente: Propia

Para el cálculo del volumen del cemento de la tabla anterior, se utilizó la siguiente formula:

$$Volumen (m^3) = \frac{Volumen\ del\ Agua}{\left(\frac{a}{C}\right) \times Gbs \times \rho_{H2O}}$$

Para el cálculo del volumen de la piedra de la tabla anterior, se utilizó la siguiente formula

$$Volumen (m^3) = \frac{Volumen \times Peso\ Unitario\ Compacto}{Gbs \times \rho_{H2O}}$$

Para el cálculo del volumen de la arena, se utilizó la diferencia entre 1 m³ y la sumatoria de los volúmenes calculados previamente dando como resultado:

Tabla: 4 Cantidades por peso para fabricar concreto.

Componente	Cálculo	Peso (kg)	Cantidad aprox. de sacos 50kg
Agua	0.21	210	
Cemento	$0,14 \times 2,88 \times \frac{1000}{1000}$	408	8,08
Arena	$0,29 \times 2,51 \times \frac{1000}{1000}$	708	
Piedra	$0,34 \times 2,59 \times \frac{1000}{1000}$	899	

Fuente: Propia

$$\text{Arena} = 1 - 0,71 = \mathbf{0,29 \text{ m}^3}$$

4.1.2.7 Paso 6: Cantidades para 1m³ de concreto con agregados secos.

Para el cálculo presente en la tabla anterior, se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Peso (kg)} = \text{Volumen (m}^3) \times Gbs \times \rho_{H2O}$$

4.1.2.8 Paso 7: Determinación de las proporciones por Peso y Volumen.

- 1) **Por Peso:** Para establecer dicha proporción, se divide el peso seco de los componentes entre el peso seco del cemento.

Tabla: 5 Proporción por para fabricar concreto.

Componente	Cálculo	Proporción por Peso
Cemento	404 / 404	1
Arena	708 / 404	1,75
Piedra	899 / 404	2,22
Agua	210 / 404	0,52

Fuente: Propia

La proporción es: **1: 1,75: 2,22: 0,52**

- 2) **Por Volumen:**

Tabla: 6 Volumen de materiales para fabricar concreto.

Componente	Cálculo	Volumen (m ³)
Cemento	404 / 900	0,45
Arena	708 / 1510	0,46
Piedra	899 / 1370	0,65
Agua	210 / 1000	0,21

Fuente: Propia

Para el cálculo anterior se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen}(m^3) = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Peso Unitario Suelto } \left(\frac{\text{kg}}{m^3}\right)}$$

Para determinar la proporción volumétrica, se divide cada volumen obtenido entre el volumen del cemento, de la siguiente manera:

Tabla: 7 Proporción por volumen de concreto

Componente	Cálculo	Proporción por Volumen
Cemento	0,45 / 0,45	1,0
Arena	0,46 / 0,45	1,02
Piedra	0,65 / 0,45	1,44
Agua	0,21 / 0,45	0,47

Fuente: Propia

La proporción es: **1: 1,02: 1,44: 0,47**.

4.1.2.9 Paso 8: cantidades a usar la mezcla de 40 lts:

Cantidades a usar para el ensayo para una mezcla de 40L Para determinarlas cantidades para una mezcla de 40 L, se multiplicó el peso de cada componente que se requería para 1 m^3 de concreto por el volumen mezcla, que es de 40 L equivalente a **7 cilindros**.

Tabla: 8 Proporción por peso de concreto

Componente	Cálculo	Peso (kg)
Agua	210 x 0,04	8,40
Cemento	404 x 0,04	16,16
Arena	708 x 0,04	28,32
Piedra	899 x 0,04	35,96

Fuente: Propia

4.1.2.10 Paso 9: Corrección de agua de diseño por Humedad y Absorción:

Tabla: 9 Tabla Corrección de Humedad.

Agregado	Humedad (%)	Absorción (%)	Agua Libre (%)	Peso seco (kg)	Corrección (kg)
Arena	8,95	3,5	3,72	28,32	1,02
Piedra	1,88	2,3	-0,04	35,96	-0,014
				Σ	1,002

Fuente: Propia

Corrección de signos:

- Sumar agua (-)
- Restar agua (+)

Agua a usar: $8,40 \text{ kg} - 1,002 = 7,39 \text{ kg} \approx 7,40 \text{ kg}$.

4.1.2.11 Paso 10: Corrección de agregados por Humedad:

Tabla: 10 Tabla de pesos de agregados corregidos.

Agregado	Cálculo	Peso corregido (kg)
Arena	28,32 x 1,08	30,85
Piedra	35,96 x 1,01	36,63

Fuente: Propia

4.1.2.12 Paso 11: Cantidades corregidas a usar en el Ensayo:

Tabla: 11 Tabla de cantidades a usar en diseño.

Componente	Peso (kg)
Agua	7,40
Cemento	16,16
Arena	30,85
Piedra	36,63

Fuente: Propia

4.1.2.13 Paso 12: Cantidad de Viruta por Mezcla de 40 Litros.

Para determinar qué cantidad de viruta que se debe adicionar a la mezcla, Teniendo en cuenta el porcentaje que serían 5% y 8% de adición de viruta a este proyecto, se obtienen los resultados de Viruta con respecto al peso de Arena que se deben adicionar en la mezcla.

Cantidad de Viruta según él % de agregado fino.

Tabla: 12 Cantidad de viruta a usar por 40L de mezcla

% Viruta	Peso Agregados Fino (kg)	Kg Viruta
5	30,85	1,54
8	30.85	2,47

Fuente: Propia

4.1.3 Procedimiento

4.1.4 Elaboración concreta reforzado con fibra reciclada C-192 ASTM.

- Pesar los baldes vacíos a utilizar.
- Pesar los materiales a ser utilizados (agregado fino, agregado grueso, agua y cemento, Viruta de acero) de acuerdo a las proporciones determinadas en el diseño de mezcla.
- Agregar el agregado grueso en el tambor de la batidora.
- Agregar la Viruta.
- Agregar el agua de acuerdo a la cantidad diseño de mezcla.
- Mezclar el agregado grueso y el agua añadida para humedecer el agregado grueso.
- Agregar todo el agregado y se mezclar nuevamente.
- Agregar el cemento lentamente para evitar pérdidas, con una cuchara de pulpero y mezclar.
- Agregar otra parte del agua a la mezcla en la batidora.
- Mezclar por 3 minutos.
- Dejar reposar por 3 minutos y se colocar un paño húmedo con plástico negro en la batidora para que repose herméticamente.
- Mezclar nuevamente por 2 minutos.
- Agregar lo que quedaba del agua.
- Finalmente, depositar la mezcla de concreto en el carretillo y limpiar la batidora con una espátula.

4.1.5 Asentamiento del Concreto.

- Una vez la mezcla en el carretillo, revolver con una pala.
- Humedecer el cono de Abrams y se colocar en el lugar establecido para dicho ensayo.
- Anadir una capa de mezcla de concreto a 1/3 de la capacidad total del cono.
- Compactar, usando el método de en varillado, con 25 golpes distribuidos uniformemente sobre su área tratando de que la varilla tocara la base.
- Agregar una segunda capa, a 2/3 del volumen total del cono, compactándola de igual forma que la primera capa.
- Agregar concreto hasta que se desbordara del cono y se compacte sobre su superficie con 10 golpes y agregar más mezcla ya que la mezcla en el cono se asentó.
- Luego, compactar con restantes golpes. enrasar utilizando la varilla y haciendo un corte de serrucho sobre su superficie.
- Levantar el molde verticalmente sin producir torsiones que puedan afectar el asentamiento de la mezcla.
- Determinar el asentamiento del concreto, tomando el cono como referencia y midiendo con una cinta métrica las diferencias de alturas, realizar al menos 4 mediciones de diferentes lados para calcular un promedio final.

4.1.6 Toma Temperatura de Concreto.

- Verter el concreto en un carretillo.
- Colocar el termómetro en el concreto a una profundidad de al menos 75 mm
- Dejar el termómetro al menos por 3 minutos.
- Luego sacar y leer la temperatura, no debe remover el termómetro mientras realiza la lectura.

4.1.7 Determinación Peso Unitario Concreto Fresco.

- Utilizar el molde de 2.8 L el cual se debe pesar previamente estando vacío.
- Llenar el molde a 1/3 de su capacidad, dándole 25 golpes distribuidos a lo largo de su superficie. Luego, se le dieron dar 15 golpes con un mazo de hule, distribuidos en la parte exterior del molde para liberar el aire atrapado.
- Realizar el mismo procedimiento para las otras 2 capas restantes.
- Luego, se debe llenar en exceso y se enrasó utilizando la varilla, para luego hacer un corte de serrucho sobre su superficie.
- Después de la consolidación del concreto, se debe pesar en el molde con el concreto.
- Calcular el peso unitario utilizando la fórmula determinada.

4.1.8 Moldeo y Curado de Cilindros de Concreto.

- Limpiar los moldes cilíndricos y se aplican desmoldante de formaleta en las paredes interiores para facilitar la extracción del cilindro de concreto cuando este fraguado.
- Iniciar el llenado de los moldes dividiendo cada cilindro en 3 partes iguales, cada capa de aproximadamente de 10 cm el cual es 1/3 de su capacidad. Se llenó cada capa de todos los cilindros.
- Compactar dando 25 golpes distribuidos uniformemente en la superficie de cada capa usando la varilla lisa y procurando que esta golpeará ligeramente la base del molde.
- Golpear 15 veces con un mazo de hule las paredes del cilindro para eliminar las burbujas de aire dentro de los cilindros.
- Para las siguientes 2 capas, se compacta de igual manera, solo que se verificaba que la varilla penetrara ligeramente la capa anterior. Luego, se golpeaba 15 veces con el mazo.
- En la última capa, se coloca material en exceso de tal manera que después de la compactación se pueda enrasar sin la necesidad de añadir más material.
- Dejar los cilindros en el molde durante 24 horas.
- Al finalizarse el período de 24 horas, se desencofra y trasladar a la cámara húmeda con una humedad relativa mayor o igual al 95% y una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ o bien sumergen en pila.

4.1.9 Determinación del Rendimiento de la Mezcla.

- Luego de haber moldeado los 7 cilindros, introducir la mezcla restante en un cilindro igual a los demás.
- Al introducir este concreto y nivelar su superficie, tomar una cinta métrica y se medir la altura hasta la que llegó el material sobrante.
- Calcular el rendimiento de la muestra con el volumen obtenido de cada cilindro lleno y el volumen de la batidora usando la formula predeterminada.

4.1.10 Cabeceo en Estado de Concreto Endurecido.

El cabeceo es un procedimiento que se debe de realizar a los cilindros de concreto en estado fresco y endurecido para asegurar que las superficies se encuentren planas

Lima de acero o cepillo de alambre Se utiliza sobre el concreto endurecido. Consiste en remover los excesos que impiden que la superficie se encuentre plana.

4.2 Memoria de cálculo.

A continuación, presentamos todas las fórmulas y cálculos necesarios para obtener rendimiento, revenimiento, peso unitario y resistencia a la compresión y tracción del concreto.

4.2.2 Simbología.

Tabla: 13 Tabla de Simbología.

Abreviación	Significado
R prom	Revenimiento promedio de la mezcla, en cm
R	Revenimiento de la mezcla, en cm
h	Medición de altura, en cm
n	Cantidad de mediciones
Pc	Peso del concreto, en g
Pt	Peso del concreto más el recipiente, en g
Pr	Peso del recipiente, en g
P.C.F	Peso unitario del concreto fresco, en kg/m ³
Vr	Volumen del recipiente, en cm ³
h prom	Altura promedio, en cm
hc	Altura total del cilindro, en cm
Vs	Volumen del concreto sobrante, en L
Vc	Volumen del cilindro, en L
Rd1	Rendimiento de la mezcla por concreto producido, en %
Rd2	Rendimiento de la mezcla por sumatoria de pesos, en %
V obt	Volumen producido de mezcla, en L
V batida	Volumen teórico de batida, en L
ΣP	Sumatoria de pesos, en kg
P cemento	Peso del cemento, en kg
P arena	Peso de la arena, en kg
P piedra	Peso de la piedra, en kg
P agua	Peso del agua, en kg
P agua adicional	Peso del agua adicional, en kg
VΣ	Volumen de la sumatoria de pesos, en L
Rd prom	Rendimiento promedio de la mezcla, en %
Ø prom	Diámetro promedio del cilindro, en cm
Ø	Diámetro del cilindro, en cm

A	Área de la cara del cilindro, en cm ²
Ve	Volumen del espécimen de concreto, en cm ³
P.C.E	Peso unitario del concreto endurecido, en kg/m ³
σ	Esfuerzo, en kg/cm ² y MPa
σ prom	Esfuerzo promedio, en kg/cm ² y MPa
F máx	Fuerza máxima de carga, en kg
σ28	Esfuerzo a los 28 días, en kg/cm ² y MPa
C	Cilindro

Fuente: Propia.

4.2.3 Calculo del Asentamiento.

Para el ensayo de asentamiento se hicieron dos pruebas siguiendo el procedimiento del cono de Abrams, para las cuales se aplica la siguiente fórmula:

$$A = \frac{h1 + h2 + h3 + h4 + h5}{n}$$

Ejemplo para el concreto reforzado con 8% de viruta:

$$A = \frac{7,5 \text{ cm} + 9,5 \text{ cm} + 8,0 \text{ cm} + 9,0 + 7,5 \text{ cm}}{5} = 8,33 \text{ cm}$$

El resultado es **8,33 cm** de asentamiento el cual cumple ya que buscamos un rango de 7,5 cm a 10 cm

Posterior se obtiene el asentamiento promedio entre las dos coladas de 8% de viruta:

$$A = \frac{R1 + R2}{n}$$

$$A_{prom} = \frac{8,33 \text{ cm} + 9,20 \text{ cm}}{2} = 8,76 \text{ cm}$$

4.2.4 Cálculo Peso Unitario Concreto Fresco.

Para determinar el peso unitario del concreto fresco se utiliza un recipiente del cual se debe conocer el peso, de esta forma por diferencia se obtiene el peso del concreto en el recipiente de la siguiente manera:

$$P_c = P_t - P_r$$

$$P.C.F = \frac{P_c}{V_r} \times 1000$$

Seguidamente, se procedió a calcular el peso unitario del concreto fresco, utilizando la siguiente ecuación.

$$P_c = 8063 \text{ g} - 1748 \text{ g} = 6315 \text{ g}$$

$$P.C.F = \frac{6315 \text{ g}}{2835 \text{ cm}^3} \times 1000 = 2228 \text{ kg/cm}^3$$

4.2.5 Rendimiento del Concreto por volumen.

Para este procedimiento necesitamos el volumen obtenido del concreto en todos los cilindros, así como el volumen para peso unitario el cual es de 2,8 litros, y un volumen de desperdicio que fue determinado por los valores que se manejan en laboratorio de materiales de la Universidad Latina de Costa Rica con un valor de 0,25 litros.

Llenamos en su totalidad seis cilindros con un volumen de 5,56 litros cada uno para un total de 33,36 litros, mientras que un séptimo cilindro no se llenó por lo que para obtener su volumen es necesario sacar su altura de la siguiente forma:

Ejemplo;

$$h_{prom} = \frac{h1 + h2 + h3 + h4 + h5}{n}$$

$$h_{prom} = \frac{15,1 \text{ cm} + 16,6 \text{ cm} + 15,3 \text{ cm} + 15,9 \text{ cm} + 15,6 \text{ cm}}{5} = 15,2 \text{ cm}$$

De esta manera podemos obtener el volumen del concreto sobrante en el cilindro incompleto:

$$V_s = \frac{V_c \times h_{prom}}{h_c}$$

$$V_s = \frac{5,56 \text{ L} \times 15,02 \text{ cm}}{30,50 \text{ cm}} = 2,73 \text{ L}$$

Seguidamente el cálculo del rendimiento como un porcentaje según la fórmula:

$$Rd1 = \frac{V_{obt}}{V_{batida}} \times 100$$

$$Rd1 = \frac{2,73 \text{ L} + 33,36 \text{ L} + 2,8 \text{ L} + 0,251 \text{ L}}{40,5 \text{ L}} \times 100 = 96,64\%$$

4.2.6 Rendimiento del Concreto por Pesos.

Primeramente, se realiza una sumatoria de los pesos en kilogramos de todos los ingredientes de la mezcla de la siguiente manera:

$$\sum P = P_{\text{cemento}} + P_{\text{arena}} + P_{\text{piedra}} + P_{\text{agua}}.$$

$$\sum P = 16,16 \text{ kg} + 28,38 \text{ kg} + 36,63 \text{ kg} + 8,40 \text{ kg} + 0,5 = 90,76 \text{ kg} =$$

$$90,07 \text{ Kg}$$

Ahora encontramos el volumen en litros de la sumatoria de pesos con la fórmula:

$$V_{\sum} = \frac{\sum P}{P.C.F} \times 1000$$

$$V_{\sum} \frac{90,07 \text{ kg}}{2228 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times 1000 = 40,73 \text{ L}$$

Finalmente se vuelve a emplear la fórmula de rendimiento, con el único detalle de que el volumen obtenido ahora es el volumen de la sumatoria:

$$Rd2 = \frac{\Sigma V}{P.C.FV \text{ batida}} \times 100$$

$$Rd2 = \frac{40,00L}{40,73 L} \times 100 = 98,20 \%$$

4.2.7 Calculo de Resistencia a Compresión 7 días.

4.2.6.1 Calculo de Áreas y Volumen de Cilindros.

Para obtener el área de los cilindros de concreto, se utilizó la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Donde:

A: Área del cilindro, en centímetros cuadrados (cm^2).

D: Diámetro del cilindro, en centímetros (cm).

Para obtener el área de los cilindros se utilizó el diámetro del cilindro, el cual es de 15,22 cm, utilizando la anterior ecuación se logró obtener el área del cilindro, de la siguiente manera.

$$A = \frac{\pi}{4} * (15.26)^2 = 182.93 \text{ cm}^2$$

Para obtener el volumen de los cilindros de concreto, se utilizó la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

$$V = A * h$$

V: Volumen del cilindro de concreto, en centímetros cúbicos (cm^3).

A: Área del cilindro, en centímetros cuadrados (cm^2).

h: Altura del cilindro, en centímetros (cm).

Para obtener el volumen del cilindro, se obtuvo el área del cilindro el cual es de 182,10 cm^2 y una altura de 30,5 cm, utilizando la anterior ecuación se logró obtener el volumen del cilindro, de la siguiente manera.

$$V = 15,26 * 30,5 = 5547 \text{ cm}^3$$

Esta Fórmula se realizó con los 4 cilindros que se sometieron a fallas de 7 días.

4.2.6.2 Calculo de Resistencia a compresión de Cilindros 5% viruta reciclada la edad 7 días.

Para calcular la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto, se utilizó la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

Donde:

F: Fuerza aplicada (kg/cm^2 .)

A: Área del cilindro (cm^2)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Para obtener la resistencia a la compresión, se utilizaron los datos del informe nos brindó el laboratorio Castro y de la Torre, donde la carga de ruptura del cilindro # 1 fue de 164.66 kg y el área fue de 182,93 cm^2 , utilizando la anterior ecuación se logró obtener la resistencia a la compresión, de la siguiente manera.

$$\sigma = \frac{164.66 \text{ kg}}{182.93 \text{ cm}^2} = 164.66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 164.66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0,09807 \text{ MPa} = 16.15 \text{ MPa}$$

Por último, se obtuvo la resistencia a la compresión promedio de los 4 cilindros de concreto, utilizando la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4}{n}$$

$$\sigma_{prom} = \frac{164.66 \frac{kg}{cm^2} + 174.42 \frac{kg}{cm^2} + 182.47 \frac{kg}{cm^2} + 171.78 \frac{kg}{cm^2}}{4} = 173.33 \frac{kg}{cm^2}$$

Esfuerzo Promedio **17.00 Mpa**

4.2.6.3 Calculo de Resistencia a tracción de Cilindros 0 % viruta reciclada la edad 28 días.

Para calcular la resistencia a la tracción de los cilindros de concreto, se utilizó la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

$$T = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d} * 1000$$

Donde:

T: Resistencia a tracción.

P: Carga máxima aplicada señalada en la máquina de ensayo (kN)

l: Longitud del cilindro

d: Diámetro del cilindro.

Valores para el cilindro número 1:

$$T = \frac{2(132,22)}{\pi \cdot (152,4) \cdot (304,60)} = 0,001835 \text{ kPa}$$

$$0,001835 \text{ kPa} \times 1000 = 1,83 \text{ MPa}$$

4.2.7 Calculo de Peso Unitario Endurecido.

Para obtener el peso unitario endurecido, se utilizó la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

$$\text{Peso unitario promedio} = \frac{\sum \text{sumatoria de pesos unitario}}{\text{cantidad de cilindros}}$$

Para obtener el peso unitario endurecido, se utilizaron los datos del cilindro número 1, donde el peso del cilindro fue de 12,936 Kg y el volumen fue de $5,554 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, utilizando la anterior ecuación se logró obtener el peso unitario endurecido del cilindro, de la siguiente manera.

$$\text{Peso unitario promedio} = \frac{\text{Peso del cilindro}}{\text{Volumen del cilindro}}$$

$$\text{Peso unitario} = \frac{12,936 \text{ kg}}{5,554 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 2329 \text{ kg/m}^3$$

Por último, se obtuvo un promedio de los pesos unitarios endurecidos, utilizando la siguiente ecuación, de la siguiente manera.

$$\text{Peso unt.} = \frac{2329 \text{ kg/m}^3 + 2303 \text{ kg/m}^3 + 2329 \text{ kg/m}^3 + 2328 \text{ kg/m}^3}{4} = 2322 \text{ kg/m}^3$$

4.3 Resultados.

4.3.2 Temperaturas de los concretos.

En la siguiente tabla se describen los valores de las temperaturas tomadas a los diferentes concretos, se puede apreciar que el concreto que no tenía incluido viruta reciclada obtuvo la temperatura más alta y decreció respecto a la que si se reforzó.

Tabla: 13 Tabla Temperaturas.

Concreto reforzado 0% Viruta.	Concreto reforzado 5% Viruta	Concreto reforzado 8% Viruta
° C	° C	° C
31	29	26

Fuente: Propia

4.3.2 Asentamientos Obtenidos.

Para la siguiente tabla se aprecian valores de asentamiento de las diferentes mezclas, lo cual los valores no presentar diferencias muy altas, se encuentran muy cercanos y están dentro de los parámetros aceptados para este diseño.

Tabla: 14 Asentamientos Promedios.

Concreto reforzado 0% Viruta.	Concreto reforzado 5% Viruta	Concreto reforzado 8% Viruta
(cm)	(cm)	(cm)
8,28	8,43	8,33

Fuente: Propia

4.3.4 Peso Unitario Concreto fresco.

Estos valores corresponden a los pesos del concreto fresco, el valor más alto se presentó en la mezcla con más adición de viruta la del 8 % lo cual estaría en rangos aceptables ya que la densidad de la viruta está por encima de la del concreto.

Tabla: 15 Pesos Unitario concreto fresco

Concreto reforzado 0% Viruta.	Concreto reforzado 5% Viruta	Concreto reforzado 8% Viruta
<i>kg/m³</i>	<i>kg/m³</i>	<i>kg/m³</i>
2228	2319	2354

Fuente: Propia

4.3.5 Rendimientos de los concretos.

En la siguiente tabla se presentan los valores del rendimiento de la mezcla obtenido, en este ensayo los valores tanto en volumen como por peso son muy similares sin embargo los más altos se presentan en rendimiento por volumen.

Tabla: 16 Porcentajes de los rendimientos de los concretos.

Descripción Concreto	Rendimiento Volumen (L)	Rendimiento Peso (KG)
Concreto reforzado % Viruta	94%	95%
Concreto reforzado 5% Viruta	96%	98%
Concreto reforzado 8% Viruta	93%	95%

Fuente: Propia

4.3.6 Resistencia a la Compresión.

4.3.6.1 Resultados compresión 0% viruta a 7 días.

Para la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos en el ensayo a compresión a 7 días con el concreto sin adición de viruta, estos resultados andan relativamente parecidos y donde la falla tipo 4 obtuvo mayor presencia.

Tabla: 17 Esfuerzos en cilindros 0 % viruta a 7 días.

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión	Tipo Falla
						f'c (MPa)	
1	0,0	256,95	15,24	30,46	182,35	14,0	4
2	0,0	256,88	15,25	30,49	182,74	14,0	2
3	0,0	253,83	15,27	30,47	183,17	13,9	5
4	0,0	255,91	15,26	30,48	182,92	14,0	4

Fuente: Propia

4.3.6.2 Resultados compresión 5% viruta a 7 días.

En la tabla de adjunta se describen los valores del ensayo a compresión a 7 días con adición del 5 % de viruta reciclada, los resultados son muy similares, y la falla tipo 4 tubo presencia nuevamente.

Tabla: 18 Esfuerzos en cilindros 5 % viruta a 7 días.

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión	Tipo Falla
						f'c (MPa)	
1	5,0	295,39	15,26	30,47	182,93	16,6	4
2	5,0	305,34	15,08	30,48	182,51	17,1	6
3	5,0	330,09	15,33	30,47	183,46	17,9	3
4	5,0	308,04	15,26	30,48	182,86	16,8	4

Fuente: Propia

4.3.6.3 Resultados compresión 8 % viruta a 7 días.

En la siguiente tabla se aprecian valores del ensayo a compresión de la mezcla con adición de viruta del 8 %, los resultados son muy similares, al igual que en las mezclas de 0 % y 5 % la falla tipo 4 se presentó en dos de los cilindros.

Tabla: 19 Esfuerzos en cilindros 8 % viruta a 7 días.

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión	Tipo Falla
						f'c (MPa)	
1	8,0	279,96	15,26	30,49	182,93	15,3	4
2	8,0	298,45	15,28	30,48	183,85	16,4	4
3	8,0	295,12	15,33	30,47	184,64	16,0	3
4	8,0	296,55	15,62	30,48	182,68	16,2	2

Fuente: Propia

4.3.6.4 Promedio de esfuerzos a 7 días.

Para la siguiente tabla podemos observar los valores de los resultados promedios obtenidos en el ensayo a la edad de 7 días.

Tabla: 20 Esfuerzos promedios a 7 días.

% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión
					f'c (MPa)
Concreto reforzado % Viruta	293,09	15,25	30,48	182,80	14,0
Concreto reforzado 5% Viruta	309,72	15,23	30,48	182,89	17,0
Concreto reforzado 8% Viruta	293,88	15,23	30,48	182,91	16,0

Fuente: Propia

4.3.6.5 Resultados concretos 0% viruta a 28 días.

Para la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos en el ensayo a compresión a 28 días con el concreto sin adición de viruta, estos resultados están por encima de lo esperado en el diseño de mezcla, la falla tipo 4 obtuvo mayor presencia.

Tabla: 21 Esfuerzos en cilindros 0 % viruta a 28 días.

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión	Tipo Falla
						f'c (MPa)	
1	0,0	409,25	15,24	30,46	183,33	22,4	5
2	0,0	412,36	15,25	30,49	182,74	22,6	4
3	0,0	405,85	15,27	30,47	183,17	22,2	3
4	0,0	401,91	15,26	30,48	182,92	22,0	4

Fuente: Propia

4.3.6.6 Resultados concretos 5% viruta a 28 días.

En la tabla de adjunta se describen los valores del ensayo a compresión a 28 días con adición del 5 % de viruta reciclada, los resultados son muy similares para este ensayo, y la falla tipo 5 tuvo más presencia,

Tabla: 22 Esfuerzos en cilindros 5 % viruta a 28 días.

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión	Tipo Falla
						f'c (MPa)	
1	5,0	465,14	15,26	30,47	182,93	25,4	5
2	5,0	482,21	15,08	30,48	182,51	26,4	5
3	5,0	473,12	15,33	30,47	184,46	25,7	6
4	5,0	475,52	15,26	30,48	182,86	26,0	3

Fuente: Propia

4.3.6.7 Resultados concretos 8% viruta a 28 días.

En la siguiente tabla se aprecian valores del ensayo a compresión de la mezcla con adición de viruta del 8 %, los resultados son muy similares, al igual que en las mezclas de 5 % la falla tipo 5 se presentó en dos de los cilindros.

Tabla: 23 Esfuerzos en cilindros 8 % viruta a 28 días.

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Resistencia a Compresión	Tipo Falla
						f'c (MPa)	
1	8,0	410,12	15,27	30,49	182,93	22,4	6
2	8,0	436,45	15,09	30,48	182,51	23,9	2
3	8,0	441,12	15,32	30,48	183,64	24,0	5
4	8,0	447,55	15,59	30,48	182,68	24,5	5

Fuente: Propia

4.3.6.8 Promedio de esfuerzos a 28 días.

Para la siguiente tabla podemos observar los valores de los resultados promedios obtenidos en el ensayo a la edad de 28 días

Tabla: 24 Esfuerzos promedios a 28 días

% Viruta	Carga (kN)	D. (cm)	L. (cm)	Área (cm ²)	Ruptura
					<i>f'</i> c (MPa)
Concreto reforzado % Viruta	407,22	15,25	30,48	182,90	22,3
Concreto reforzado 5% Viruta	473,99	15,23	30,48	183,19	25,9
Concreto reforzado 8% Viruta	433,81	15,31	30,48	182,94	23,7

Fuente: Propia

4.3.7 Resistencia a la Tracción Indirecta.

4.3.7.1 Resultados a la Tracción Indirecta 0 % Viruta reciclada a 28 días.

Para la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos en el ensayo a tracción indirecta a 28 días con el concreto sin adición de viruta, se puede ver una consistencia en los resultados obtenidos.

Tabla: 25 Esfuerzos a tracción en cilindros 0 % viruta a 28

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (mm)	L. (mm)	Área (mm ²)	Resistencia a Tracción
						<i>f'</i> c (MPa)
1	0,0	132,22	152,4	304,6	1823,5	1,82
2	0,0	126,86	152,5	304,9	1827,4	1,74
3	0,0	175,77	152,7	304,7	1831,7	2.42

Fuente: Propia

4.3.7.2 Resultados a la Tracción Indirecta 5 % Viruta reciclada a 28 días.

En la tabla de adjunta se describen los valores del ensayo a tracción indirecta a 28 días con adición del 5 % de viruta reciclada, los resultados son muy similares para este ensayo no presentaron variaciones importantes.

Tabla: 26 Esfuerzos a tracción en cilindros 5 % viruta a 28 días

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (mm)	L. (mm)	Área (mm ²)	Resistencia a Tracción
						<i>f'</i> c (MPa)
1	5,0	210,00	152,6	304,6	1823,5	2,9
2	5,0	167,47	152,7	304,5	1827,4	2,3
3	5,0	217,00	152,7	304,7	1831,7	3,0

Fuente: Propia

4.3.7.3 Resultados a la Tracción Indirecta 8 % Viruta reciclada a 28 días.

En la siguiente tabla se aprecian valores del ensayo a tracción indirecta de la mezcla con adición de viruta del 8 %, los resultados son muy similares, al igual que en las mezclas de los resultados obtenidos andan muy similares.

Tabla: 27 Esfuerzos a tracción en cilindros 8 % viruta a 28 días

Muestra	% Viruta	Carga (kN)	D. (mm)	L. (mm)	Área (mm ²)	Resistencia a Tracción
						<i>f'</i> c (MPa)
1	8,0	148,83	152,5	304,7	1823,5	2,0
2	8,0	199,78	152,5	304,5	1827,5	2,7
3	8,0	219,00	152,5	304,5	1831,9	2,6

Fuente: Propia

4.3.7.4 Promedios esfuerzos a la Tracción Indirecta a 28 días.

Tabla: 28 Esfuerzos a Promedios en cilindros 5 % viruta a 28 días.

% Viruta	Carga (kN)	D. (mm)	L. (mm)	Área (mm ²)	Resistencia a Tracción
					<i>f'</i> c (Mpa)
Concreto reforzado % Viruta	144,95	152,6	30,48	1828,0	1,99
Concreto reforzado 5% Viruta	198,16	152,4	304,8	1828,9	2,73
Concreto reforzado 8% Viruta	189,20	152,3	304,8	1829,1	2,46

Fuente: Propia

4.4 Análisis de Resultados.

4.4.1 Temperatura de las mezclas

Debido a la importante influencia que la temperatura del concreto tiene sobre las propiedades del concreto fresco y endurecido, muchas especificaciones delimitan a la temperatura del concreto fresco de acuerdo al ensayo de la norma ASTM C 1064

La temperatura deseable para el concreto fresco en las especificaciones solo exige que cuando se coloque el concreto tenga una temperatura menor que 29° C o máximo de 32° C.

Como se puede observar en tabla numero 15 los concretos reforzados con 0 %, 5 % de viruta están dentro del rango especificado, la mezcla con 8 % está por debajo de del rango menor el cual fue de 26° C el concreto patrón debajo del valor máximo.

Por lo tanto, los valores obtenidos son óptimos de acuerdo a solicitado en las normas.

La mezcla que no se adiciono viruta reciclada obtuvo el valor más alto y a medida que se adiciona más porcentaje de viruta este valor fue decreciendo ya que la viruta influyo para bajar la temperatura.

Para este ensayo se utilizó un termómetro bimetálico, este tenía una precisión de $\pm 0.5^\circ \text{C}$ el cual se mantuvo sumergido dentro del concreto una profundidad de 7 cm durante un tiempo de 3 a 5 minutos esto hasta que se completaron las lecturas.

4.4.2 Asentamiento de Concretos.

Al obtener la mezcla de concreto se le realizaron cuatro tomas del asentamiento, para cada tipo de mezcla. Con base a estos datos se tomó el revenimiento promedio respectivamente, descrito en la tabla número 16.

Todos los asentamientos promedios tomados se encuentran dentro del rango deseado en el diseño de mezcla y es de 7 cm a 10 cm, el cual fueron asentamientos de 8,28 cm, 8,43 cm, 8,33 cm lo cual indica que la cantidad de agua calculada en el diseño fue acertada para esta prueba.

Los valores obtenidos son muy similares en todas las mezclas realizadas y la consistencia del concreto se mantuvo en las tres pruebas, de acuerdo a esto se puede evidenciar que la viruta no afecta la trabajabilidad de las mezclas, manteniendo la plasticidad uniformemente en cada una de ellas sin cambios significativo en forma una vez retirado el cono.

4.4.3 Peso Unitario concreto Fresco y Endurecido.

Al realizar la prueba de concreto de peso unitario para el concreto fresco se obtuvo un peso unitario de (0 % Viruta) 2228 kg/m^3 , (5 % Viruta) 2319 kg/m^3 , (8 % Viruta) 2354 kg/m^3 de acuerdo a los valores de la tabla número 17.

Normalmente el peso unitario del concreto de uso general ronda entre los 2200 kg/m^3 y los 2400 kg/m^3 , según la referencia del peso unitario utilizada en el folleto en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Latina de Costa Rica, por lo cual se observa que el peso unitario fresco se encuentra dentro del rango establecido.

Para el caso del concreto endurecido, se obtuvo un peso unitario seco de (0 % Viruta) 2235 kg/m^3 , (5 % Viruta) 2327 kg/m^3 , (8 % Viruta) 2372 kg/m^3 , el cual generalmente es un poco mayor al peso unitario fresco, pero sin variar de una forma extremadamente notable, al igual que el peso unitario fresco este valor se encuentra dentro del mismo rango establecido, según lo indicado por dicha referencia mencionada anteriormente.

Los cilindros que se adicionaron viruta ganaron más peso en comparación a los fabricados sin viruta respectivamente, la viruta (3300 kg/m^3) tiene una densidad más pesada que la de concreto (2400 kg/m^3) por lo cual estas mezclas si se evidencia que la adición de viruta si influye en el peso.

4.4.4 Rendimiento de las Concretos.

El rendimiento de la mezcla de concreto se obtuvo de dos diferentes maneras, las cuales son: rendimiento por volumen y rendimiento por peso o sumatoria de materiales.

Los valores obtenidos por el rendimiento por volumen fueron: (0 % viruta) 94 %, (5 % Viruta) 96 %, (8 %) 93 %.

Los valores obtenidos por el rendimiento por peso (Kg) fueron: (0 % viruta) 95 %, (5 % Viruta) 98 %, (8 %) 95 %.

Cuando se calculó por medio de volumen totales de mezcla, se obtuvo un volumen total, con sus respectivas medidas para prevenir al máximo posible el desperdicio de material; como el curado del tambor antes de mezclar, con el fin de no perder volumen de mezcla que quede adherida en las paredes del tambor, con lo que se consideró un desperdicio de 0,25 L valor adquirido en el folleto del laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Latina de Costa Rica.

Por medio de rendimiento por volumen, se observó que se obtuvo un volumen total de entre 39,25 L y 40,70 L.

Comparando con el volumen teórico que es aproximadamente 39,53 L se puede verificar que el método es muy preciso, debido a que se presentó un rendimiento del 94 % al 96 %.

Ambos rendimientos fueron relativamente altos, por lo que se puede decir que la mezcla tiene un rendimiento bueno, con poco desperdicio y buen aprovechamiento a la hora de realizar los moldeos.

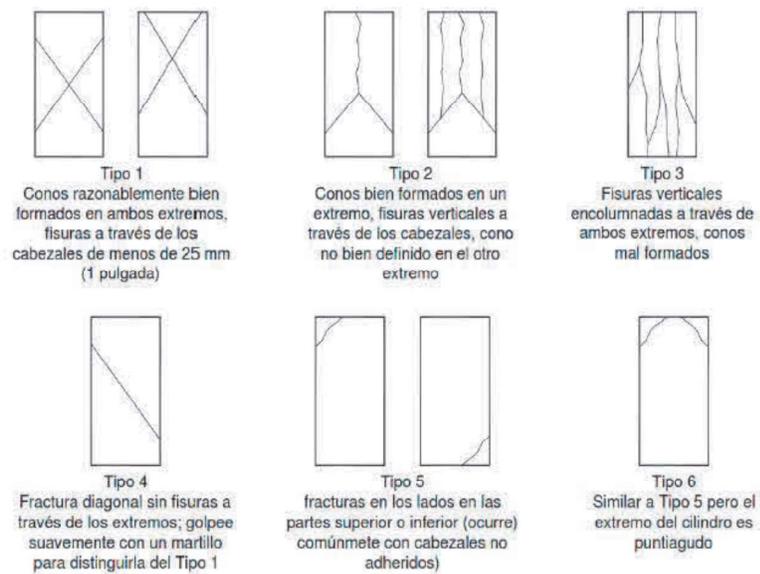
Como se observa los valores son muy similares en todos los tipos de mezcla, los concreto que se adicionaron viruta no se obtuvieron resultados que difieran significativamente en relación al concreto patrón, por lo cual la viruta no altera el resultado en los rendimientos, por lo tanto, no influyo en los resultados de este ensayo.

4.5 Resistencia a la comprensión.

4.5.1 Tipos de fallas en los cilindros.

Para poder determinar qué tipo de falla se han producido en los Cilindros nos apoyamos en la siguiente imagen.

Ilustración 41 Tipos de fallas en Cilindros.



Fuente: Tipos de Fracturas ASTM C39, 2015

4.5.2 Resistencia a la Compresión 0 viruta % a 7 días.

Mediante la utilización de la prensa hidráulica como método de prueba destructiva se probó la resistencia a la compresión a los 7 días de 4 cilindros estándar como muestra patrón.

Gráfico: 1 Gráficos de resistencias 0% viruta a 7 días



Fuente: Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 14,09 MPa, para la M-2 la carga máxima fue de 14,06 MPa, el cilindro M-3 con una carga máxima de 13,97 MPa en y por último el cilindro M-4 falló con una carga máxima de 13,99 MPa.

Ilustración 42 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 0 % Viruta 7 días.



Fuente: Propia

Ilustración 43 Imágenes tipos de fallas en cilindros 0 % viruta a 7 días.



Fuente: Propia (Falla Tipo 2)



Fuente: Propia (Falla Tipo 2)

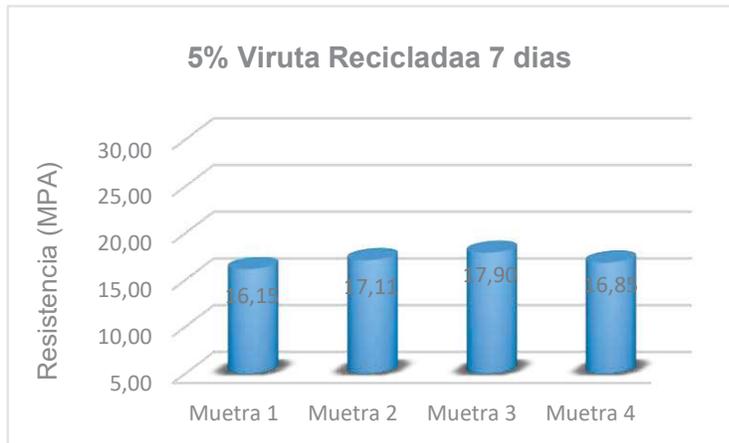
Respecto al tipo de falla de estas cuatro muestras como se puede observar en tabla número 19, se obtuvieron uno tipo 2 y 2 fallas tipo 4 y uno tipo 5 respectivamente

Se observa una falla bien definida como se muestra en la primera figura, es de tipo 4 es una fractura diagonal.

En la imagen de la derecha se observa una falla del tipo 2 con fisuras verticales y conos no bien definidos en el otro extremo del cilindro.

4.5.3 Resistencia a la Compresión 5 % viruta a 7 días.

Gráfico: 2 Gráficos de resistencias 5 % viruta a 7 días.



Fuente: Propia

Para el siguiente ensayo la M-1 se obtuvo una carga máxima de 16,15 MPa para la M-2 falló con una carga máxima de 17,11 MPa, el cilindro M-3 falló con una carga máxima de 17,90 MPa en y por último el cilindro M-4 falló con una carga máxima de 16,85 MPa, la adición de viruta de 5 % presento un aumento en los esfuerzos en promedios 2,97 MPa equivalente a un 17 % en relación a la muestra patrón ensayados a los 7 días.

Ilustración 44 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 5 % Viruta 7 días



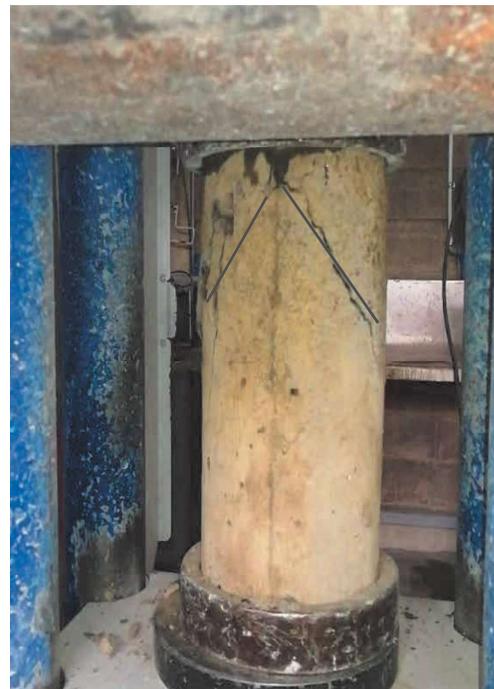
Fuente: Propia

Respecto al tipo de falla de estas cuatro muestras como se puede observar en tabla número 20, se obtuvieron uno tipo 3 y 2 fallas tipo 4 y uno tipo 6 respectivamente

Ilustración 45 Imágenes tipos de fallas en cilindros 5 % viruta a 7 días



Fuente: Propia (Falla Tipo 4)



Fuente: Propia (Falla Tipo 6)

Se observa una falla bien definida como se muestra en la primera figura, es de tipo 4 es una fractura diagonal probablemente presenta perdida de material en centro del cilindro.

En la imagen de la derecha se observa una falla del tipo 6 con fracturas en ambos lados de un solo extremo del cilindro.

4.5.4 Resistencia a la Comprensión 8 % viruta a 7 días.

Gráfico: 3 Gráficos de resistencias 8 % viruta a 7 días.



Fuente: Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 15,60 MPa para la M-2 falló con una carga máxima de 16,44 MPa, el cilindro M-3 falló con una carga máxima de 15,98 MPa en y por último el cilindro M-4 falló con una carga máxima de 16,23 MPa, la adición de viruta de 8 % presento un aumento en los esfuerzos en promedios 2,04 MPa equivalente a un 13% en relación a la muestra patrón ensayados a los 7 días.

Ilustración 46 Imagen resultado de falla cilindro M-1, 8 % Viruta 7 días



Fuente: Propia

Ilustración 47 Imágenes tipos de fallas en cilindros 8 % viruta a 7 días



Fuente: Propia (Falla Tipo 3)



Fuente: Propia (Falla Tipo 2)

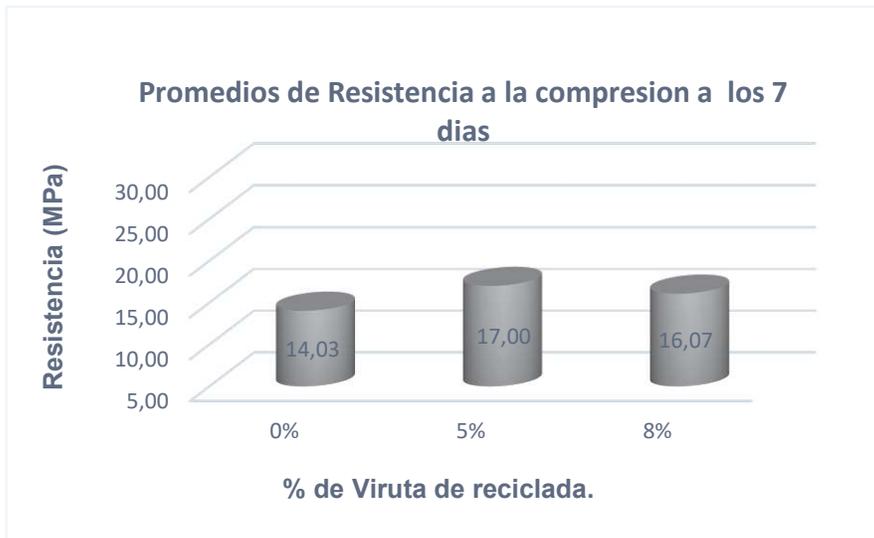
Respecto al tipo de falla de estas cuatro muestras como se puede observar en tabla número 21, se obtuvieron uno tipo 2 y una fallas tipo 3 y dos tipos 4 respectivamente

Falla de tipo 3 presentando fisuras a lo largo de de la cara del cilindro.

En la imagen de la derecha se observa una falla del tipo 2 con fisuras verticales y conos no bien definidos en el otro extremo del cilindro.

4.5.5 Resistencia a la Compresión Promedios a 7 días.

Gráfico: 4 Gráficos de resistencias promedios a 7 días



Fuente: Propia

En el gráfico se puede observar que el concreto reforzado con 5 % de viruta reciclada fue el que mejor comportamiento obtuvo a la compresión a los 7 días, respecto a los valores promedios esta 17 % por arriba del concreto patrón y un 6 % respecto al concreto reforzado con 8 % de viruta.

La mezcla con adición del 8 % de viruta presento un 13 % de aumento respecto al concreto patrón ensayados a 7 días

En este primer ensayo se fallaron un total de 12 cilindros, 4 en concreto patrón y 8 repartidos en 4 de 5 % de viruta y 4 en 8 % de viruta.

De los 12 cilindros en total ensayados el 50 % del ensayo respecto a la falla tipo 4 la falla tipo 2 y tipo 3 obtuvieron el 17 % cada una y las fallas tipo 5 y 6 el 8% respectivamente.

4.5.6 Resistencia a la Compresión 0 % viruta a 28 días.

Gráfico: 5 Gráficos de resistencias 0 % viruta a 28 días



Fuente: Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 22,37 MPa, para la M-2 falló con una carga máxima de 22,57 MPa, el cilindro M-3 falló con una carga máxima de 22,16 MPa en y por último el cilindro M-4 falló con una carga máxima de 21,97 MPa

La resistencia para el concreto según el diseño de mezcla debía ser de $f'c$ 210 kg/cm^2 (20,60 MPa), al compararlo con la resistencia obtenida según las fallas a resistencia sobrepasa al valor teórico establecido de diseño, con esto se puede asegurar que si un espécimen que llegara a la edad de 28 días y se fallase a compresión debía cumplir lo que se estableció en el diseño inicial. Por lo tanto, este cumple.

En promedio las proyecciones a 28 días de este concreto debían ser $f'c$ 220 kg/cm^2 (21,60 MPa), y el valor promedio obtenido en este ensayo fue de 22,27 MPa

La eficiencia promedio para este concreto fue de 55 %.

Respecto al tipo de falla obtenido se distribuyeron de la siguiente manera, una falla tipo 3, dos tipos 4 y una tipa 5.

4.5.7 Resistencia a la Compresión 5 % viruta a 28 días.

Gráfico: 6 Gráficos de resistencias 5 % viruta a 28 días



Fuente: Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 25,43 MPa para la M-2 falló con una carga de 26,42 MPa, el cilindro M-3 falló con una carga máxima de 25,65 MPa y por último el cilindro M-4 falló con una carga máxima de 26,01 MPa

Después de conocer los valores en el ensayo a compresión a 7 días este concreto reforzado con 5 % de viruta obtuvo un incremento a 28 días de un 34 % respecto a los resultados obtenidos a 7 días.

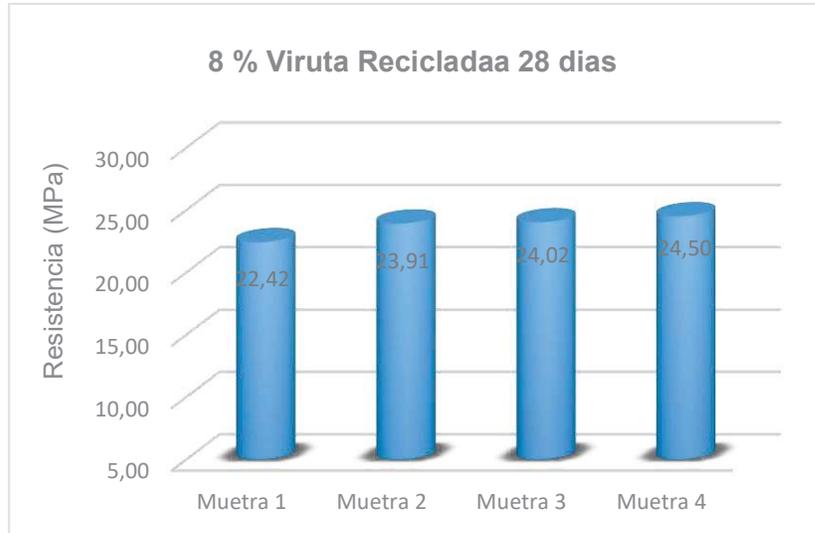
Respecto al concreto patrón ensayado a 28 días en resistencias promedios este supero la resistencia sin refuerzo por 14 % y al diseño teórico $f'c$ 210 kg/cm^2 (20,60 MPa), por un 20 %

La eficiencia para este concreto fue de 63 % respecto al concreto patrón incremento un 8 %.

Respecto al tipo de falla obtenido se distribuyeron de la siguiente manera, una falla tipo 6, dos tipos 5 y una tipa 3.

4.5.8 Resistencia a la Compresión 8 % viruta a 28 días.

Gráfico: 7 Gráficos de resistencias 8 % viruta a 28 días



Fuente: Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 22,42 MPa para la M-2 falló con una carga de 22,91 MPa, el cilindro M-3 falló con una carga máxima de 24,02 MPa en y por último el cilindro M-4 falló con una carga de 24,50 MPa

Después de conocer los valores en el ensayo a compresión a 7 días este concreto reforzado con 8 % de viruta obtuvo un incremento a 28 días de un 32 %

Respecto al concreto patrón fallado a 28 días en resistencias promedios este supero al concreto patrón por 13 % y al diseño teórico $f'c$ 210 kg/cm^2 (20,60 MPa), por un 20 %

La eficiencia para este concreto es de 57 % respecto al concreto patrón este incremento un 2 %.

Respecto al tipo de falla obtenido se distribuyeron de la siguiente manera, una falla tipo 2, dos tipos 6 y una tipa 5.

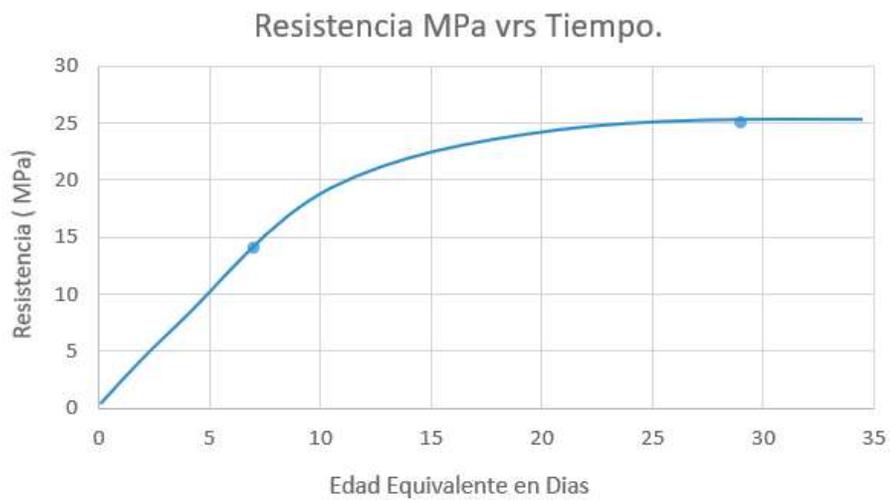
4.5.9 Resistencia a la Compresión promedios a 28 días.

Gráfico: 8 Gráficos de resistencias promedios y curva de concreto a 28 días



Fuente: Propia

Comportamiento de concreto de acuerdo a la edad para el 5 % de adición de viruta,



Fuente: Propia

En el gráfico se puede observar que el concreto reforzado con 5 % de viruta reciclada sigue siendo el que mejor comportamiento obtuvo a la compresión a los 28 días, respecto a los valores promedios esta 14 % por arriba del concreto patrón y un 8 % respecto al concreto reforzado con 8 % de viruta.

Lo cual se indica que si se sube el porcentaje de viruta en la mezcla las resistencias podrían bajar al valor de concreto patrón o incluso por debajo de estos valores, según resultados de este ensayo el 5 % es óptimo para este diseño ya que los resultados están por encima del valor teórico del diseño de la mezcla.

En este primer ensayo se fallaron un total de 12 cilindros, 4 en concreto patrón y 8 repartidos en 4 de 5 % de viruta y 4 en 8 % de viruta. De los 12 cilindros en total fallados el 42 % fallados respecto a la falla tipo 5, la falla tipo 3, 4 y tipo 6 obtuvieron el 17 % cada una y las fallas tipo 2 el 8% respectivamente.

En relación a las fallas a 7 días la falla tipo 4 no tuvo presencia en estos ensayos, se podría decir la mayoría de fallas en este ensayo pertenecen a las de tipo 5, 6 que corresponden a fracturas en los bordes superior o inferior de los cilindros, pero eliminando el agrietamiento y la falla de corte diagonal principalmente en los cilindros con 5 % y 8 % de reforzamiento.

El trabajo que realizo viruta fue el esperado ya que al cumplir los 28 días la falla tipo 4 bajo de un 50 % al 17 % e incrementando de 8% hasta un 42 % lo que indica que alcanzar la edad optima la viruta evito la falla transversal y los especímenes no sufrieron en la parte interna como en el caso del ensayo a 7 días, estos fallaron el borde de los extremos donde la presencia de viruta es escasa.

4.6 Resistencia a la Tracción Indirecta.

4.6.1 Tipos de falla a Tracción Indirecta.

Así como como en los ensayos que realizan de compresión se analizan las fallas que presentan los cilindros después de ser fallados, así de importante es identificar las fallas que se presentan en los ensayos de tracción de indirecta.

(Urrutia R, 2011) Según las normas ASTM C1144-89 (ASTM 1989) construye que las muestras de concreto se deben inspeccionar visualmente después de la fractura, el rechazo de la prueba se basa en la aparición de fallas observables de compresión, cortante o una falla por defecto superficial, por eso se recomienda en la las normas realizar un mínimo de 3 probetas para cada ensayo y tener resultados fehacientes en sus cálculos.

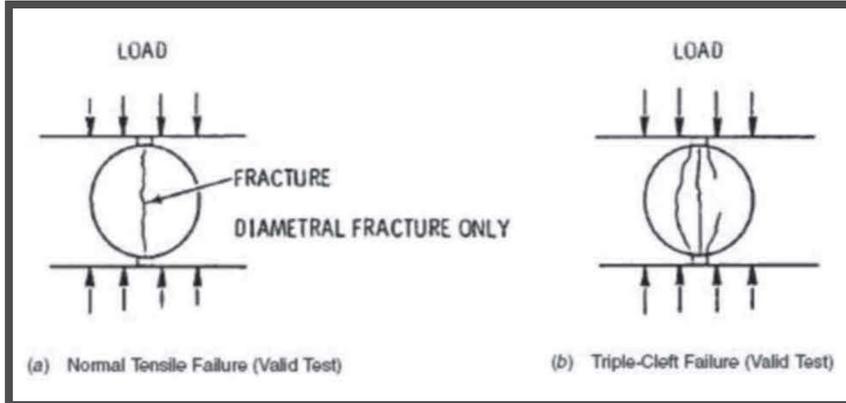
Falla de Tracción Normal.

(Urrutia R, 2011) En la falla de tracción normal, la probeta se divide a lo largo de diámetro carga, esta falla es la ideal y se puede utilizar para calcular la tensión de tracción indirecta, inicialmente, la fractura no está completamente extendida entre ambos bloques de carga, La carga que inicia que inicia la fractura se utiliza para calcular la tensión de rotula (ver Ilustración A)

Falla de Triple Hendimiento.

(Urrutia R, 2011) La falla triple hendimiento es una variación en las fallas de tracción normal en que la muestra se divide en cuatro trozos de igual tamaño, dos a cada lado del diámetro con carga, las pruebas que se presentan este fallo también producen valores validos de resistencia a la tracción, se puede producir fragmento adicional cuando la fractura se ha iniciado en el plano diametral (ver ilustración B)

Ilustración 48 Tipos de fracturas a tracción (A, B.)

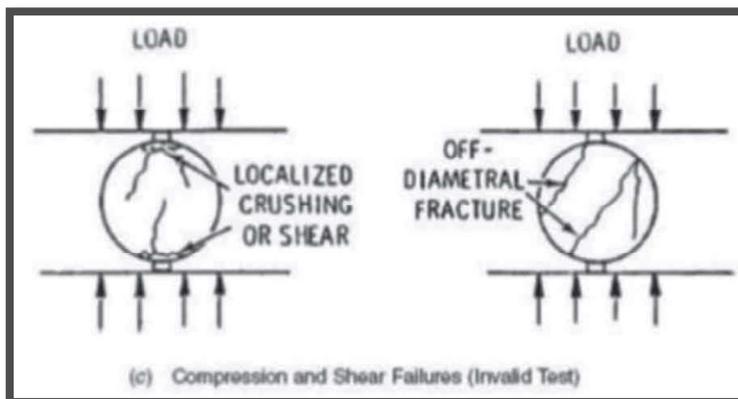


Fuente: dokumen.tips/documentos

Falla de Compresión o Corte.

(Urrutia R, 2011) En la falla de compresión y corte, la muestra se tritura cerca de los bloques de carga sin agrietarse a través del diámetro o la muestra puede fallar cerca de la plataforma de carga debido a un aplastamiento local o por fractura mienta en cualquier ángulo lejos de la carga diametral , en algunos casos , la muestra puede cambiar de forma antes de la fractura o no se pueden utilizar para calcular la resistencia a la tracción , y las tensiones calculadas a partir de estas pruebas no son reportadas como resistencia a la tracción, la elección de plato de carga puede evitar este tipo de fallas en algunos casos,(ver ilustración C)

Ilustración 49 Tipos de fracturas a tracción (C)



Fuente: dokumen.tips/documentos

4.6.2 Resistencia a Tracción 0 % viruta a 28 días.

Gráfico: 9 Gráficos de resistencias a tracción 0 % viruta a 28 días



Fuente: Propia.

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 1,82 MPa para la M-2 falló con una carga máxima de 1,74 MPa, para la M-3 falló con una carga máxima de 2,42 MPa.

Ilustración 50 Imagen resultado de falla cilindro M-1, 0 % Viruta 28 días



Fuente Propia

Las fallas que se produjeron en los 3 cilindros de este ensayo fue una falla a tracción normal ya que la fractura se dio a lo largo del diámetro, en base a esta se pudieron calcular los esfuerzos a tracción.

Ilustración 51 Cilindro fallado a tracción falla tipo



Fuente Propia

Los cilindros ensayados sin adición de viruta reciclada se pueden observar que cuando los cilindros son cargados, la fuerza internamente somete al agregado grueso a trabajar a tracción, el agregado grueso se evidencia que puso mayor resistencia durante en ensayo, en las caras externas presenta agrietamiento, sin embargo, las fallas del todo el ensayo fueron similares sin producir alteraciones entre sí.

Ilustración 52 Cilindro fallado a tracción falla tipo normal



Fuente Propia

4.6.3 Resistencia a Tracción 5 % viruta a 28 días.

Gráfico: 10 Gráficos de resistencias a tracción 5 % viruta a 28 días



Fuente Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 2,89 MPa para la M-2 falló con una carga máxima de 2,31 MPa, para M-3 falló con una carga máxima de 2,99 MPa

Ilustración 53 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 5 % Viruta 28



Fuente Propia

Ilustración 54 Cilindros fallados a tracción falla tipo normal 5 % viruta



Fuente Propia



Fuente Propia

Al igual que las fallas en el concreto patrón para estos 3 cilindros ensayados, fue una falla a tracción normal ya que la fractura se dio a lo largo del diámetro, sin embargo, las mitades no se separaron del todo ya que la viruta sujetaba las mitades evitando el desprendiendo en su totalidad y como se esperaba ayudara a reducir el agrietamiento significativamente, ya que no se presentaron en caras externas de los de las mitades

Los cilindros fallados con reforzamiento de viruta reciclada se pueden observar que cuando los cilindros son cargados, la fuerza aplicada reduce la tracción entre el agregado grueso ya que la viruta adsorbe parte de las fuerzas, así como las caras externas no presentan agrietamiento indicador que la viruta está trabajando como se esperaba.

4.6.4 Resistencia a Tracción 8 % viruta a 28 días.

Gráfico: 11 Gráficos de resistencias a tracción 8 % viruta a 28 días



Fuente Propia

Para la M-1 se obtuvo una carga máxima de 2,04 MPa para la M-2 falló con una carga máxima de 2,74 MPa, el cilindro M-3 falló con una carga máxima de 2,60 MPa

Ilustración 55 Imagen resultado de falla cilindro M-3, 8 % Viruta 28 días



Fuente Propia.

Estos 3 cilindros ensayados se obtuvo una falla a tracción normal ya que la fractura se dio a lo largo del diámetro como se evidencia en la imagen adjunta, se pudo comprobar en el ensayo con 8 % viruta, la fractura se dio a lo lado de diámetro pero las mitades no se separaron ya que la viruta sujetaba las mitades evitando el desprendiendo en su totalidad reiterando su trabajo de igual forma a reducir el agrietamiento, ya que no se presentaron en caras externas de los cilindros.

Ilustración 56 Cilindros fallados a tracción falla tipo normal 8 % viruta



Fuente Propia

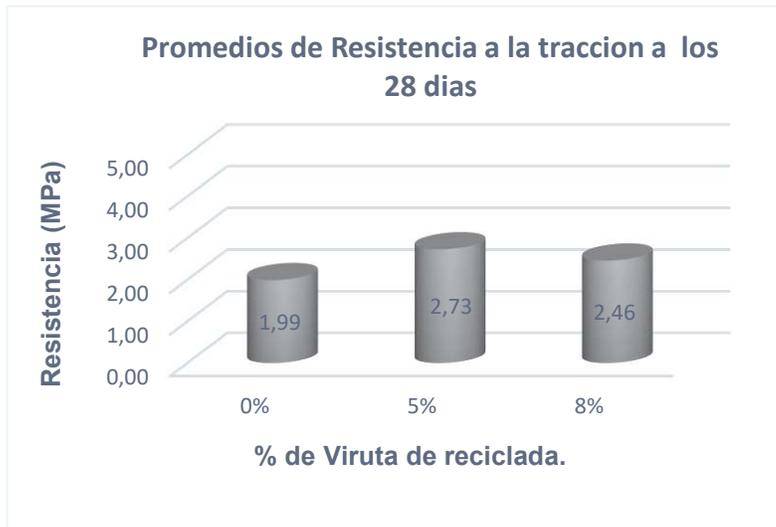


Fuente Propia

Los cilindros fallados con reforzamiento del 8 % de viruta reciclada se pueden observar que fueron los que presentaron la falla más limpia y definida, y donde se presentaron más dificultad para la separación debido a la sujeción de la viruta y adicional las caras externas no se presentan ningún tipo de agrietamiento.

4.6.5 Resistencia promedios a Tracción a 28 días.

Gráfico: 12 Grafico resistencia promedios a Tracción.



Fuente Propia.

En el gráfico se puede observar que el concreto reforzado con 5 % de viruta reciclada sigue siendo el que mejor comportamiento obtuvo a la compresión y a la Tracción a los 28 días, respecto a los valores promedios de tracción este está 27 % por arriba del concreto patrón y un 10 % respecto al concreto reforzado con 8 % de viruta.

Los cilindros con adición de viruta obtuvieron mejores resultados que el patrón, ya que resistieron más carga y se redujo la retracción plástica del concreto, como se se pudo evidenciar no aparecieron fisuras en estas muestras después del ensayo.

Para los cilindros a tracción solo se realizó un único ensayo a la edad de 28 días en el cual se fallaron 9 cilindros 3 de cada una de las proporciones en cual en el 100 % de ellos solo se presentó el tipo de falla normal tracción normal ya que la fractura se dio a lo largo del diámetro en todos los cilindros, en base a esta se pudieron calcular los esfuerzos a tracción.

Ilustración 57 Cilindros fallados a Tracción 8 % viruta.



Fuente: Propia.



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5 Conclusiones.

- Se realizó la prueba de asentamiento utilizando el cono de Abrams y de esta forma se logró obtener la consistencia del concreto fresco a medir la diferencia de altura entre el cono y el concreto, el asentamiento de todas las mezclas fue el esperado por lo tanto se cumplió con el diseño de mezcla.
- El rendimiento para la mezcla de concreto de 40 litros se obtuvo de dos maneras por peso y por volumen los cuales los promedios estuvieron arriba de, 95 % y 94 % respectivamente. Se observa que al utilizar el método del peso para el cálculo del rendimiento este da un valor mayor lo cual lo hace más eficiente.
- La resistencia a compresión del concreto patrón a 28 días dio como resultado 22,27 MPa en promedio y fue diseñada para $f'c$ 210 kg/cm² (20,60 MPa) por lo tanto se puede concluir que el diseño cumple.
- De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en los cilindros fallados a compresión a los porcentajes de adición de viruta (0 %, 5 %, 8%) se concluye que a los siete días la muestra del 5 % es superior a todas las demás.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de la falla a compresión de los concretos (0 %, 5 %, 8 %), a la edad de 28 días la muestra con por 5 % de viruta se mantuvo y fue la que mejor resistió el ensayo a compresión.
- Los ensayos realizados a tracción indirecta solo se fallaron a la edad de 28 días donde los cilindros que tuvieron mejor comportamiento a esta prueba fueron los de 5 % de viruta, ratificando que en ambos ensayos fue la que se comportó mejor.
- Para todas las muestras falladas a compresión a la edad de 7 días el 50 % de las fallas que se produjeron fueron la falla tipo 4 que consiste en una fractura diagonal sin fisuras en los extremos.

5.1 Hallazgos.

- La muestra de 8 % de viruta se esperaba fuera la que mejor comportamiento tuviera, sin embargo, los ensayos a compresión y tracción demuestran que el mejor comportamiento se dio con el 5 % este supero al concreto patrón en 13% de resistencia por lo tanto también está cumpliendo con el diseño.
- Respecto a todas las fallas a 28 días, la falla tipo 4 solo presento 17 % reduciendo considerablemente y la falla tipo 5 estuvo presente en un 42 % evidentemente presento un incremento en las muestras donde solo falla un lado de la base del cilindro. Por lo tanto, podemos decir que la viruta trabajo en el resto del cuerpo y la falla se produce en los posibles espacios que donde no tuvo presencia de viruta.
- Para tracción se hicieron 9 ensayos (0 %, 5 %, 8 %), 3 de cada una respectivamente, solo se presentó la de tipo uno, falla tracción normal, el cilindro se divide a lo largo de diámetro carga, esta falla es la ideal, fue la única que se presentó, eso quiere decir que todos los valores son válidos y si hubiesen cilindros fallados con la falla tipo tres, se invalida ese ensayo, por lo tanto todos los valores son válidos.
- Respecto a los cilindros fallados con el concreto patrón 0 % podemos definir que el agregado grueso trabaja más a la tracción y es evidente como se fractura, además presentaron fisuramiento notable en las partes externas de los cilindros.
- Los cilindros fallados con el 5 % de viruta fueron los que mejor comportamiento a la tracción obtuvo, la viruta ayudo a incrementar la resistencia, el agregado grueso no se fractura de la misma forma en comparación a los que se hicieron con el concreto patrón y redujeron los agrietamientos en las caras externas.

- Los cilindros con el 8 % de viruta presentaron menor resistencia que los adicionado con el 5 % presentando el mismo patrón que los cilindros fallados a compresión sin embargo en promedio esta un 19 % arriba del concreto patrón.
- Los cilindros que se adicionaron viruta de acero obtuvieron mejores resistencias, los agregados se fracturaron menos, y el agrietamiento prácticamente desapareció por lo tanto la adicional de viruta reciclada si apporto como se esperaba ya que para ambos ensayos los resultados estuvieron por encima de las muestras patrón (0 % viruta).

5.2 Recomendaciones.

- Realizar una limpieza de la viruta, ya que este material contiene grasas y aceites que son difíciles esto con él fin de mejorar las condiciones y los resultados a compresión y tracción.
- El concreto reforzada viruta reciclada puede ser utilizada en coladas como en aceras, contrapisos de viviendas, contra pisos de cocheras, rampas de acceso.
- Este concreto reforzado con virutas no sustituye el acero en un elemento estructural, Vigas, Columnas etc.
- No se recomienda lujar un piso con este diseño reforzado con viruta, ya que se corre el riesgo de quedar la viruta en la parte superior de la losa provocando que se herrumbre.
- Se recomienda realizar el diseño y aumentar por lo porcentajes de viruta reciclada para valorar si son óptimos y evidenciar si la resistencia incrementa o decrece.
- Para la falla a tracción se recomienda eliminar las pletinas que tiene en los costados el molde, para evitar arrecostamiento del cilindro.
- Al fabricar el concreto y moldear cilindros, apoyarse en otra persona.
- Si se realizara este ensayo con otros porcentajes de viruta, no es recomendable realizarlos fuera de los laboratorios del campus ya que el costo económico podría resultar alto.

6 Bibliografía.

Latina, U. (2018). Manual del curso: Materiales de Construcción. Escuela de Ingeniería Civil.

ASTM. (2015). *ASTM INTERNATIONAL Building and Construction Standards*. Recuperado el 24 de setiembre de 2015, de ASTM INTERNATIONAL: <https://www.astm.org/>

INTECO. (2015). INTECO Catálogo de normas. Recuperado el 20 de octubre de 2015, de INTECO: <http://www.inteco.or.cr/>

<https://www.cemexcostarica.com/>

American Standard for Testing and Materials. ASTM C 39-10: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. 7 páginas. Estados Unidos.

Neville, A. Tecnología del Concreto. Primera Edición. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México, 1999.

M.Y. Kaltakci, M. H. Arslan, U. S. Yilmaz (2007). Efectos del hormigón reforzado con fibra de acero en la ductibilidad estructural. *Materiales de Construcción*. Vol. 57, 285, 71-84. ISSN: 0465-2746.

Barros, J. A. O. et al.; 2005; Post-cracking behaviour of steel fibre reinforced concrete; *Materials and Structures* No 38, pp. 47-56.

Valarezo, M. (2011). Determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (resumen ASTM C 39). Obtenido de Civilgeeks: <https://civilgeeks.com/2011/04/01/determinacion-del-esfuerzo-de-compresion-en-especimenes-cilindricos-de-concreto-resumen-astm-c-39/>

American Society for Testing and Materials (s.f). Norma ASTM C-496, C1064, C143, C31.C192

Final Recommendation of RILEM TC 162-TDF, Test and design methods for steel fiber reinforced concrete: σ - ϵ design method, RILEM TC 162-TDF Recommendations, *Materials and Structures*, Vol. 36, pp 560-567, October 2003.

Lim, T.Y., Paramasivam, P. et al. (1988), Bending Behaviour of Steel-Fiber Concrete Beams. ACI Journal, Vol. 84, p. 524-536

Sánchez De Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto. Bogotá, Colombia: Bhandar Editores.

Committe ACI 211. (2002). ACI 211.1. Standar practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete.

ANEXOS



ALCANCE DE LA ACREDITACIÓN Y CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN	Código N°: ECA-MP-P09-F01	Páginas: 2 de 9
	Fecha emisión: 29.10.2018	Version: 05
	Fecha de entrada en vigencia: 29.10.2018	



***Alcance de Acreditación de Laboratorio de Ensayo No. LE-045,
LE-045-A01, LE-045-A02, LE-045-A03, LE-045-A04, LE-045-
A05, LE-045-A06, LE-045-A07, LE-045-A08.***

**Otorgado al:
Castro & de la Torre.**

Conforme a los criterios de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración, equivalente a la Norma ISO/IEC 17025:2005 y los documentos del ECA para el proceso de evaluación y acreditación.

Castro & de la Torre, San José, 500 m oeste de la Fabrica Jack's, frente al Ministerio de Salud, Pavas, sede fija.

Artículos, materiales o productos a ensayar o muestrear	Nombre específico del ensayo o muestreo y propiedades a ensayos o muestrear	Especificación, referencia al método y técnica utilizada	Ámbito de Trabajo
Cilindros de concreto (alcance original) (Ampliación 03)	IT-08: Práctica estándar para el uso de almohadillas no adheridas en la determinación del esfuerzo de compresión de cilindros de concreto endurecido	INTE C22:2017 (ASTM C 1231/ C1231M-15)	NA
Agregados	IT-31: Reducción de las muestras de agregado a tamaño de ensayo	ASTM C702-18	Central y temporal
Mezcla asfáltica	IT-32: Reducción de las muestras de mezcla asfáltica en caliente a tamaño de ensayo	AASHTO R47-14	Central y temporal
Cilindros de concreto (alcance original) (Ampliación 03)	IE-03: Esfuerzo de compresión de cilindros de concreto	ASTM C39/C39M-18 (Se excluyen especímenes fabricados por terceros)	(10 a 80) MPa (10 a 40) MPa (Guanacaste)
Mezclas de suelos (alcance original) (Ampliación 03)	IE 04: Método de ensayo normalizado para las relaciones entre la humedad y la densidad de los suelos usando un martillo de 2,5 kg y una caída de 305 mm	AASHTO T99-01	Densidad máxima: (0 a 3500) kg/m ³ , contenido óptimo de humedad: (0 a 100) %
Mezclas de suelos (alcance original) (Ampliación 03)	IE-05: Método de ensayo normalizado para las relaciones entre la humedad y la densidad de los suelos usando un mazo de 4,54 kg y una caída de 457 mm	AASHTO T160-18	Densidad máxima: (0 a 3500) kg/m ³ , contenido óptimo de humedad:

Esta publicación contiene el alcance que actualmente se encuentra ACREDITADO ante el ECA, para este Organismo de Evaluación de la Conformidad, únicamente para los ítems aquí descritos
Verificar los cambios sobre el alcance y la condición de acreditado en
www.eca.or.cr

Fuente: Laboratorio Castro & de la Torre.

7.2 Informes de laboratorio a Compresión.

7.2.2 Informes de laboratorio a 7 días.

Ilustración 59 Informe Laboratorio a 7 días.

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección						Su proyecto en suelo firme		Acreditada INTE ISO/IEC 17025 * INTE ISO/IEC 17020 *		
INFORME:2020-07-7061										
Página 1 de 2										
FECHA: 29/07/2020										
A PETICIONDE: SR. MAYCOLL ERNESTO VELASQUEZ VELASQUEZ										
DE: CONSTRUCTORA GONZALO DELGADO SOCIEDAD ANONIMA										
PROYECTO: 54845 PROYECTO TESIS, SAN MIGUEL, SANTO DOMINGO, HEREDIA										
CILINDROS										
ENSAYO DE COMPRESION A TESTIGOS DE CONCRETO HECHOS POR EL CLIENTE										
Determinación de la resistencia a la compresión del concreto (ASTM C39/C39M), Documento Interno: IE-03										
Sucursal: San José		Prensa: 58		Camión:		Fecha Moldeo: 21/07/2020				
Flujo (mm):		Esp: --- Res: ---		Temperatura °C:		Esp: --- Res: ---		Contenido de Aire (%):		Esp: --- Res: ---
Procedencia:						Peso Unitario (kg/m ³):				
Esp: --- Res: ---						Esp: --- Res: ---				
Localización: CONCRETOS, FABRICADOS CON 5% DE VIRUTA DE ACERO										
CIL	Edad (Dias)	Fecha Falla	Carga (N)	D. (mm)	L. (mm)	Área (mm ²)	f'c MPa (kg/cm ²)	Esp: --- Ruptura	Prob. a 28 d.	Tipo Falla
1	7	28/07/2020	295 392	152,2	304,4	18 293	16,15 (165)	---	---	4
2	7	28/07/2020	305 341	152,5	304,4	18 251	17,11 (170)	---	---	6
3	7	28/07/2020	330 045	153,3	304,4	18 346	17,90 (183)	---	---	3
4	7	28/07/2020	308 042	152,2	304,4	18 286	16,86 (171)	---	---	4
Sucursal: San José		Prensa: 58		Camión:		Fecha Moldeo: 21/07/2020				
Flujo (mm):		Esp: --- Res: ---		Temperatura °C:		Esp: --- Res: ---		Contenido de Aire (%):		Esp: --- Res: ---
Procedencia:						Peso Unitario (kg/m ³):				
Esp: --- Res: ---						Esp: --- Res: ---				
Localización: CONCRETOS, FABRICADOS CON 8% DE VIRUTA DE ACERO										
CIL	Edad (Dias)	Fecha Falla	Carga (N)	D. (mm)	L. (mm)	Area (mm ²)	f'c MPa (kg/cm ²)	Esp: --- Ruptura	Prob. a 28 d.	Tipo Falla
5	7	28/07/2020	279,961	152,6	304,9	18 293	15,30 (156)	---	---	4
6	7	28/07/2020	298,453	152,8	304,8	18 327	16,44 (166)	---	---	4
7	7	28/07/2020	295,125	153,3	304,7	18 484	15,98 (164)	---	---	3
8	7	28/07/2020	296,551	156,2	304,8	18 288	16,23 (165)	---	---	2

Fuente: Laboratorio Castro & de la Torre

INFORME:2020-07-7061

Página 2 de 2

Sucursal: San José		Prensa: 56		Camión:		Fecha Moldeo: 2/07/2020					
Flujo (mm):		Esp: ---	Temperatura °C:	Esp: ---	Contenido de Aire (%):	Esp: ---		Res: ---			
		Res: ---		Res: ---		Esp: ---		Res: ---			
Procedencia:						Peso Unitario (kg/m ³):		Esp: ---		Res: ---	
Localización: LOSA DE CONTRAPISO, FABRICADOS CON 0% DE VIRUTA DE ACERO											
CIL	Edad (Días)	Fecha Falla	Carga (N)	D. (mm)	L. (mm)	Area (mm ²)	f'c MPa (kg/cm ²)		Esp: ---	Prob. a 28 d.	Tipo Falla
							Ruptura				
9	7	28/07/2020	256,951	152,6	304,8	18 235	14,09	(143)	---	---	4
10	7	28/07/2020	256,882	152,8	304,8	18 374	14,06	(143)	---	---	2
11	7	28/07/2020	253,834	153,3	304,8	18 317	13,92	(141)	---	---	5
12	7	28/07/2020	255,915	156,2	304,8	18 292	13,99	(142)	---	---	4

OBSERVACIONES:

Se estima el valor de incertidumbre de medición del ensayo y se encontró que las diferencias dadas entre dos resultados individuales cumplen con los requisitos de normas. El Informe de ensayo no es válido sin la firma de aprobación. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin autorización por escrito de Castro & De la Torre S.A. El esfuerzo de compresión probable a 28 días se proyecta a partir de la edad de falla bajo la suposición de crecimiento de resistencia con base en cementos y aditivos de comportamiento estándar, los que podrían no ser representativos de este ensayo.

Unidades: Los valores expresados en unidades que no pertenecen al SI son aproximados.

Nomenclaturas: CIL = Cilindro, D = Diámetro, L=Longitud, Esfuerzo Solicitado = f'c, Esp = Especificación, Res = Resultado del ensayo, US = Ultrasonido.

Fuente: Laboratorio Castro & de la Torre.

7.2.3 Informes de laboratorio a 28 días.

Ilustración 60 Informe Laboratorio a 28 días

Su proyecto en suelo firme

Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección

Acreditada
INTE ISO/IEC 17025*
INTE ISO/IEC 17020*

INFORME:2020-07-7061

Página 1 de 2

FECHA: 21/08/2020
A PETICIONDE: SR. MAYCOLL ERNESTO VELASQUEZ VELASQUEZ
DE: CONSTRUCTORA GONZALO DELGADO SOCIEDAD ANONIMA
PROYECTO: 54845 PROYECTO TESIS, SAN MIGUEL, SANTO DOMINGO, HEREDIA

CILINDROS

ENSAYO DE COMPRESION A TESTIGOS DE CONCRETO HECHOS POR EL CLIENTE

Determinación de la resistencia a la compresión del concreto (ASTM C39/C39M), Documento Interno: IE-03

Sucursal: San José		Prensa: 56		Camión:		Fecha Moldeo:23/07/2020			
Flujo (mm):	Esp: ---	Temperatura °C:	Esp: ---	Contenido de Aire (%):	Esp: ---	Res: ---			
	Res: ---		Res: ---		Res: ---				
Procedencia:					Peso Unitario (kg/m ³):				
					Res: ---				
Localización: CONCRETOS, FABRICADOS CON 5% DE VIRUTA DE ACERO									
CIL	Edad (Días)	Fecha Falla	Carga (N)	D. (mm)	L. (mm)	Área (mm ²)	f'c MPa (kg/cm ²)		Tipo Falla
							Ruptura	Prob. a 28 d.	
13	28	20/08/2020	485 145	152,6	304,4	18 293	25,43 (260)	---	5
14	28	20/08/2020	482 214	152,0	304,4	18 251	26,43 (269)	---	5
15	28	20/08/2020	473 125	153,3	304,4	18 346	25,65 (263)	---	6
16	28	20/08/2020	475 523	152,2	304,4	18 286	26,01 (266)	---	3
Sucursal: San José		Prensa: 56		Camión:		Fecha Moldeo:23/07/2020			
Flujo (mm):	Esp: ---	Temperatura °C:	Esp: ---	Contenido de Aire (%):	Esp: ---	Res: ---			
	Res: ---		Res: ---		Res: ---				
Procedencia:					Peso Unitario (kg/m ³):				
					Res: ---				
Localización: CONCRETOS, FABRICADOS CON 8% DE VIRUTA DE ACERO									
CIL	Edad (Días)	Fecha Falla	Carga (N)	D. (mm)	L. (mm)	Area (mm ²)	f'c MPa (kg/cm ²)		Tipo Falla
							Ruptura	Prob. a 28 d.	
17	28	20/08/2020	410 125	152,7	304,9	18 293	22,42 (229)	---	6
18	28	20/08/2020	436 451	150,9	304,8	18 251	23,91 (243)	---	2
19	28	20/08/2020	441 125	153,3	304,7	18 364	24,02 (245)	---	5
20	28	20/08/2020	447 552	155,5	304,8	18 268	24,50 (249)	---	5

Fuente: Laboratorio Castro & de la Torre.

INFORME:2020-07-7061

Página 2 de 2

Sucursal: San José		Prensa: 56		Camión:		Fecha Moldeo:23/07/2020			
Flujo (mm):	Esp: ---	Temperatura °C:	Esp: ---	Contenido de Aire (%):	Esp: ---				
	Res: ---		Res: ---		Res: ---				
Procedencia:					Peso Unitario (kg/m ³):	Esp: ---	Res: ---		
Localización: LOSA DE CONTRAPISO, FABRICADOS CON 0% DE VIRUTA DE ACERO									
CIL	Edad (Dias)	Fecha Falla	Carga (N)	D. (mm)	L. (mm)	Area (mm ²)	f'c MPa (kg/cm ²)	Esp: ---	Tipo Falla
							Ruptura	Prob. a 28 d.	
21	28	20/08/2020	409 251	152,4	304,8	18 333	22,37 (228)	--- ---	5
22	28	20/08/2020	412 364	152,5	304,8	18 274	22,57 (230)	--- ---	4
23	28	20/08/2020	405 852	153,7	304,8	18 317	22,16 (225)	--- ---	3
24	28	20/08/2020	401 915	156,8	304,8	18 292	21,97 (224)	--- ---	4

OBSERVACIONES:

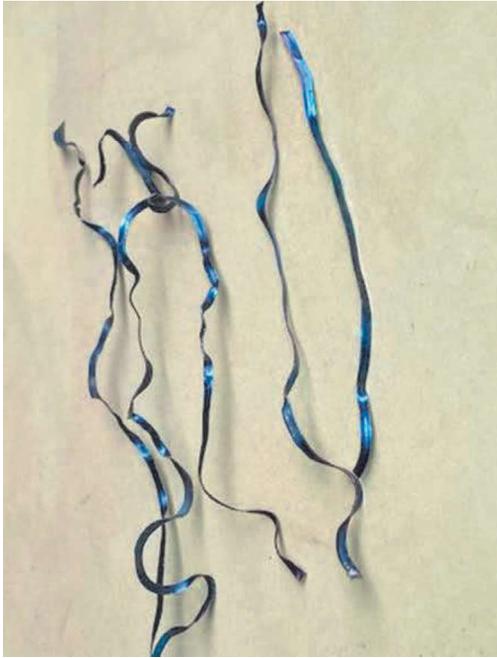
Se estima el valor de incertidumbre de medición del ensayo y se encontró que las diferencias dadas entre dos resultados individuales cumplen con los requisitos de normas. El Informe de ensayo no es válido sin la firma de aprobación. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin autorización por escrito de Castro & De la Torre S.A. El esfuerzo de compresión probable a 28 días se proyecta a partir de la edad de falla bajo la suposición de crecimiento de resistencia con base en cementos y aditivos de comportamiento estándar, los que podrían no ser representativos de este ensayo.

Unidades: Los valores expresados en unidades que no pertenecen al SI son aproximados.

Nomenclaturas: CIL = Cilindro, D = Diámetro, L=Longitud, Esfuerzo Solicitado = f'c, Esp = Especificación, Res = Resultado del ensayo, US = Ultrasonido.

Fuente: Laboratorio Castro & de la Torre.

7.3 Fotografías Fabricación de Cilindros y Fallas.



Fuente: Propia (Viruta de Acero Reciclada)



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



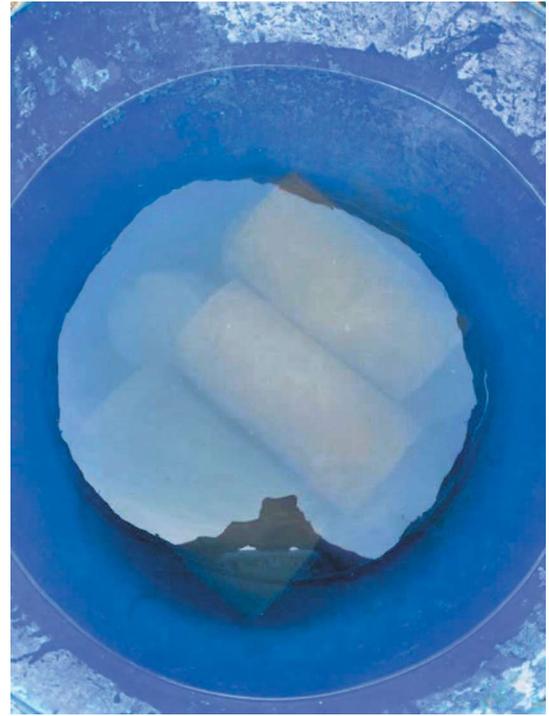
Fuente: Propia



Fuente Propia



Fuente: Propia



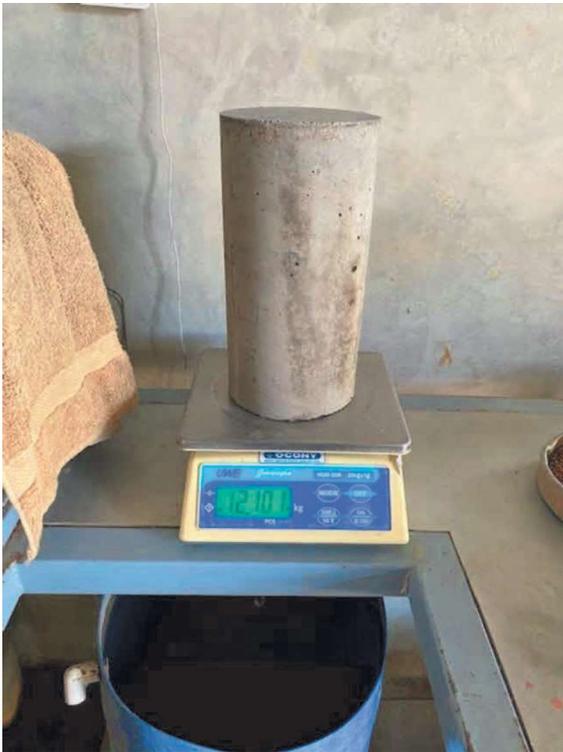
Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente Propia



Fuente Propia



Fuente:Propia



Fuente:Propia



Fuente:Propia



Fuente:Propia

