

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGIA
CARRERA DE CONSTRUCCIONES CIVILES



**ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN MEZCLAS DE
HORMIGÓN**

Proyecto de grado presentado para obtener el Grado de licenciatura

POR: GONZALO GARCIA TORREZ

TUTOR: Lic. MAXIMO CALLE CONDORI

LA PAZ – BOLIVIA
2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGIA
CARRERA CONSTRUCCIONES CIVILES

Proyecto de grado:

ADICION DE FIBRAS DE ACERO EN MEZCLAS DE HORMIGÓN

Presentado por: GONZALO GARCIA TORREZ

Para optar el grado académico de *Licenciado en Construcciones civiles*.

Nota numeral: _____

Nota literal: _____

Ha sido: _____

TUTOR:

M. Sc. Lic. Máximo Calle Condori _____

TRIBUNAL REVISOR:

1. Ing. Javier Poma Gonzales _____

2. Ing. Tazio Traverso Cornejo _____

3. Ing. Carlos Méndez Cárdenas _____

Vo. Bo. _____

DIRECTOR DE CARRERA

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis Padres por el deseo de superación y amor que me brindaron cada día en que han sabido guiar mi vida por el sendero de la verdad a fin de poder honrar a mi familia con los conocimientos adquiridos, brindándome un mañana mejor con esfuerzo y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Mayor de San Andrés, la carrera de Construcciones Civiles, el Laboratorio Técnico de Construcciones Civiles – LABOTECC, a mi Tutor Lic. Máximo Calle C. y al Plantel Docente, Por sus valiosas enseñanzas, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, por su apoyo y guía en mi formación.

También agradezco a mi padre Rufino García por guiarme y corregirme, a mi madre Cristina Torrez (+) que me cuida desde el cielo, por todo el apoyo incondicional y la motivación por formarme y guiarme en este camino.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	GENERALIDADES.....	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3	OBJETIVOS.....	2
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2	OBJETIVO ESPECIFICO.....	2
1.4	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5	ALCANCES.....	3
2	MARCO TEORICO.....	4
2.1	CEMENTOS.....	4
2.1.1	Tipos de cemento.....	4
2.1.2	Características físico-mecánicas de los cementos.....	8
2.2	AGREGADOS.....	10
2.2.1	Características físico-mecánicas de los agregados.....	14
2.2.2	Textura Superficial.....	14
2.2.3	Forma del Agregado.....	15
2.2.4	Resistencia Estructural.....	16
2.2.5	Prueba de Abrasión por la máquina de Los Ángeles (ASTM C 131).....	18
2.2.6	Gravedad Específica y Absorción (ASTM C127 y ASTM C128).....	19
2.2.7	Vacios y Gradación.....	21
2.2.8	Módulo de Fineza (M.F.).....	23
2.2.9	Curvas Granulométricas.....	23
2.2.10	Tamaño máximo del agregado.....	25
2.3	AGUA DE MEZCLADO.....	25
2.3.1	Carbonato alcalino y bicarbonato.....	26
2.3.2	Cloruros.....	27
2.3.3	Sulfatos.....	27
2.3.4	Sales de hierro.....	27
2.3.5	Diversas sales inorgánicas.....	27
2.3.6	Impurezas orgánicas.....	28
2.3.7	Azúcar.....	28
2.3.8	Sedimentos o partículas en suspensión.....	28
2.3.9	Aceites.....	29
2.3.10	Agua del mar.....	29
2.3.11	Aguas ácidas.....	30
2.3.12	Aguas alcalinas.....	30
2.3.13	Aguas de desechos industriales.....	30
2.4	ADITIVOS.....	31
2.4.1	Reductores del contenido de agua.....	31
2.4.2	Aceleradores de endurecimiento.....	32
2.4.3	Retardadores de fraguado.....	32

2.4.4	<i>Incorporadores de aire</i>	32
2.5	FIBRAS DE ACERO.....	32
2.5.1	<i>Análisis y determinación de la cantidad de fibras de acero</i>	33
3	HORMIGÓN	36
3.1	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN.....	36
3.1.1	<i>Hormigón fresco</i>	37
3.1.2	<i>Hormigón endurecido</i>	38
3.1.3	<i>Curado de especímenes de hormigón</i>	40
3.2	MÉTODOS PARA ELABORAR MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	40
3.2.1	<i>Método A. C. I. (American Concrete Institute)</i>	40
3.2.2	<i>Método FULLER</i>	44
3.2.3	<i>Método SHILSTONE</i>	47
4	DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN	50
4.1	DISEÑO DE HORMIGÓN NORMAL POR EL MÉTODO A.C.I. 318 - A.C.I. 211.1-91.....	50
4.1.1	<i>Cemento utilizado</i>	50
4.1.2	<i>Procedencia del agregado</i>	50
4.1.3	<i>Método FULLER, para la corrección granulométrica</i>	52
4.1.4	<i>Determinación de los materiales para 1 M3 de Hormigón</i>	56
4.2	CONTROL DEL HORMIGÓN FRESCO.....	60
4.2.1	<i>Asentamiento del Hormigón mediante el cono de Abrams, ASTM C-143</i>	60
4.2.2	<i>Peso Unitario del Hormigón fresco, ASTM C-138</i>	61
4.2.3	<i>Rendimiento, ASTM C-138</i>	61
4.3	VACIADO Y MOLDEO DE PROBETAS DE HORMIGÓN, ASTM C-192.....	63
4.3.1	<i>Moldeo de Vigas con adición de fibras de acero, ASTM C-192</i>	64
4.4	CURADO DE LAS MUESTRAS, ASTM C-192.....	65
4.5	CONTROL DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	65
4.5.1	<i>Peso unitario del hormigón endurecido</i>	65
4.5.2	<i>Compresión de probetas cilíndricas, ASTM C-39</i>	66
4.5.3	<i>Flexo-tracción de vigas, ASTM C-78 y 293</i>	67
5	EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO	68
5.1	ANÁLISIS DE PROBETAS HORMIGONADAS PARA EL PROYECTO.....	68
5.2	ANÁLISIS DE CILINDROS ENSAYADOS A COMPRESIÓN CON UNA MEZCLA PATRÓN.....	68
5.3	ANÁLISIS DE VIGAS ENSAYADAS A FLEXO-TRACCIÓN CON UNA MEZCLA PATRÓN Y CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO.....	71
5.4	ESTADO LIMITE EN LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO.....	75
5.5	PESO UNITARIO VERSUS PORCENTAJE DE FIBRAS DE ACERO.....	75
5.6	TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO.....	76
5.7	ANÁLISIS DE COSTOS.....	78
6	CONCLUSIONES	81

7	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
7.1	OBSERVACIONES.....	82
7.2	RECOMENDACIONES.....	82
8	BIBLIOGRAFIA.....	83
9	ANEXOS.	84
9.1	METODOLOGIA PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS. 84	
9.2	TIPO DE ESTUDIO.	84
9.3	FUENTES DE INFORMACIÓN.	84
9.4	PROCESO PARA DISEÑO DE MEZCLAS EN HORMIGÓN.	84
9.4.1	<i>Ensayo de peso específico, ASTM C-188.</i>	84
9.4.2	<i>Ensayo de granulometría, ASTM C-136.</i>	87
9.4.3	<i>Ensayo de pesos unitarios compactado y suelto (Densidad aparente), ASTM C-29 ASTM E-30.</i> 90	
9.4.4	<i>Ensayo de peso específico y absorción del agregado Grueso ASTM C-127.</i>	93
9.4.5	<i>Ensayo de peso específico y absorción del agregado Fino ASTM C-128.</i>	96
9.4.6	<i>Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles ASTM C-131.</i>	98
9.4.7	<i>Ensayo de peso específico de las fibras de acero PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.</i>	102
9.5	CONTROL DEL HORMIGÓN FRESCO.	103
9.5.1	<i>Asentamiento del hormigón mediante el cono de Abrams, ASTM C-143.</i>	103
9.5.2	<i>Peso unitario del hormigón fresco, ASTM C-138</i>	105
9.6	MOLDEO DE PROBETAS DE HORMIGÓN.	108
9.6.1	<i>Moldeo de Cilindros, ASTM C-192.</i>	108
9.6.2	<i>Moldeo de Vigas, ASTM C-192.</i>	108
9.7	CONTROL DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.	109
9.7.1	<i>Refrentado de Probetas ASTM 617.</i>	109
9.7.2	<i>Compresión de cilindros, ASTM C-39.</i>	112
9.7.3	<i>Flexo-tracción de vigas, ASTM C-78 y 293.</i>	113
9.8	ANEXOS DE ENSAYOS PRELIMINARES.	120
9.9	ANEXOS DE ENSAYOS ADICIONALES.	128
9.10	ANEXOS DE DOSIFICACIÓN Y PLANILLAS DE ROTURA.....	131
9.11	ANEXOS DE IMÁGENES DE LOS ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS ADICIONALES.	137

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CEMENTOS PORTLAND (FUENTE: ASTM C-150).	5
TABLA 2. CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS EN BOLIVIA SEGÚN LA NB-011, (FUENTE: NB-011).....	6
TABLA 3. TIPOS DE CEMENTO ELABORADO POR LAS PRODUCTORAS DE BOLIVIA SEGÚN LA NB – 011, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	6
TABLA 4. TAMICES PARA LA GRANULOMETRÍA Y SUS ABERTURAS (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	12
TABLA 5. LÍMITES PARA UNA GRADACIÓN OPTIMA, SEGÚN EL T. M. A. GRUESO (FUENTE: ASTM C-33)....	13
TABLA 6. LÍMITES PARA UNA GRADACIÓN OPTIMA, PARA EL AGREGADO FINO (FUENTE. ASTM C-33).	14
TABLA 7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS ROCAS DE USO COMÚN UTILIZADO PARA HORMIGÓN (FUENTE: COMITÉ 311-07 DE LA ACI).	17
TABLA 8. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA PARA HORMIGONES Y MORTEROS, SEGÚN LA NORMA NB/UNE 7236, (FUENTE: CBH-87).	26
TABLA 9. TIPOS DE ADITIVOS (FUENTE. ACI 311-07).	31
TABLA 10. MATERIALES ANALIZADOS COMO ADICIÓN AL HORMIGÓN NORMAL, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	33
TABLA 11. RELACIÓN AGUA-MATERIAL CEMENTANTE MÁXIMA Y RESISTENCIA DE DISEÑO MÍNIMA PARA VARIAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN, (FUENTE: A.C.I.).	41
TABLA 12. REQUISITOS PARA EL CONCRETO EXPUESTO A SULFATOS DEL SUELO Y DEL AGUA, (FUENTE: A.C.I.).....	41
TABLA 13. RELACIÓN AGUA-MATERIAL CEMENTANTE Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO, (FUENTE: A.C.I.).....	42
TABLA 14. VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO, (FUENTE: A.C.I.).....	42
TABLA 15. REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLA Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DEL AGREGADO, (FUENTE: A.C.I.).....	43
TABLA 16. ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN, (FUENTE: A.C.I.).....	43
TABLA 17. ASENTAMIENTOS Y VALORES LIMITES EN EL CONO DE ABRAMS, (FUENTE: EHE, 2008).....	44
TABLA 18. CANTIDAD DE AGUA REQUERIDA EN LITROS, EN FUNCIÓN DE LA TIPOLOGÍA Y TAMAÑO MÁXIMO DE LOS ÁRIDOS, (FUENTE: FERNÁNDEZ CÁNOVAS M. 2007).	45
TABLA 19. MODIFICACIONES SOBRE EL CONTENIDO DE AGUA, (FUENTE: FERNÁNDEZ CÁNOVAS M. 2007).....	45
TABLA 20. GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	52
TABLA 21. COMPORTAMIENTO GRAFICO RESPECTO A LOS LÍMITES, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	52
TABLA 22. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	53
TABLA 23. COMPORTAMIENTO GRAFICO RESPECTO A LOS LÍMITES, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	54
TABLA 24. COMBINACIÓN POR FULLER, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	55
TABLA 25. COMPORTAMIENTO DE LA COMBINACIÓN RESPECTO A LA CURVA DE FULLER, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	55
TABLA 26. DATOS RECOPIADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	56
TABLA 27. RESISTENCIA MEDIA FCM, CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR, (FUENTE: A.C.I.).	56
TABLA 28. CANTIDADES OBTENIDAS Y CORREGIDAS POR HUMEDAD, ABSORCIÓN Y GRANULOMETRÍA, PARA REALIZAR LA MEZCLA DE PRUEBA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	60
TABLA 29. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL PESO UNITARIO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	61
TABLA 30. CANTIDADES CORREGIDAS PARA 1 M ³ DE HORMIGÓN PATRÓN, PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	62

TABLA 31. DETALLE DE ENSAYO DE ROTURAS A COMPRESIÓN, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	68
TABLA 32. DETALLE DE ENSAYO DE ROTURAS A FLEXO-TRACCIÓN, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	68
TABLA 33. DETALLE DE ROTURA DE CILINDROS A COMPRESIÓN, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	69
TABLA 34. CURVA COMPARATIVA DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS, (ELABORACIÓN PROPIA) ..	69
TABLA 35. COEFICIENTE DE CONVERSIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN RESPECTO A PROBETAS DEL MISMO TIPO A DIFERENTES EDADES, (FUENTE: CBH-87).....	70
TABLA 36. DETALLE DE ROTURA DE VIGAS DE DISEÑO A FLEXO-TRACCIÓN, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	71
TABLA 37. ESQUEMA DEL ESTADO LIMITE TEÓRICO DE ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO, (ELABORACIÓN PROPIA).....	75
TABLA 38. RELACIÓN DEL PESO UNITARIO Y EL ASENTAMIENTO RESPECTO AL PORCENTAJE DE FIBRAS DE ACERO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	77
TABLA 39. ABERTURAS DE LO TAMICES, (FUENTE: ASTM E-11).	88
TABLA 40. CANTIDAD DE MUESTRA PARA EL AGREGADO FINO, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	88
TABLA 41. CANTIDAD DE MUESTRA PARA EL AGREGADO GRUESO, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	89
TABLA 42. DIMENSIONES DE LOS MOLDES PARA EL PESO UNITARIO, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	90
TABLA 43. CANTIDAD DE MUESTRA SEGÚN EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	94
TABLA 44. GRADO DE ENSAYO SEGÚN EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	101
TABLA 45. TABLA DE VOLÚMENES DEL RECIPIENTE SEGÚN EL TMA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)...	106

LISTADO DE GRAFICOS

GRÁFICO 1. PRINCIPALES EMPRESAS ABASTecedoras DE CEMENTO EN BOLIVIA (FUENTE: IBCH).....	7
GRÁFICO 2. AGREGADOS Y GRADACIONES (FUENTE: ASTM C-33).....	24
GRÁFICO 3. FACTORES QUE PUEDEN AFECTAR AL HORMIGÓN ENDURECIDO, (FUENTE: A.C.I.)	39
GRÁFICO 4. FACTOR DE TRABAJABILIDAD VS. FACTOR DE GROSURA, (FUENTE. IBCH).	48
GRÁFICO 5. RETENIDO ACUMULADO VS. ABERTURA DE TAMIZ, (FUENTE: IBCH).	49
GRÁFICO 6. COMPARACIÓN DE LAS DISTINTAS MEZCLAS ENSAYADAS A FLEXO-TRACCIÓN, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	72
GRÁFICO 7. INCREMENTO DE RESISTENCIA RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN SIN ADICIONES, ENSAYADO A 7 DÍAS DE EDAD, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	73
GRÁFICO 8. INCREMENTO DE RESISTENCIA RESPECTO AL HORMIGÓN PATRÓN SIN ADICIONES, ENSAYADO A 28 DÍAS DE EDAD, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	74
GRÁFICO 9. PESO UNITARIO RESPECTO AL INCREMENTO DE FIBRAS DE ACERO, (FUENTE. ELABORACIÓN PROPIA).	76
GRÁFICO 10. TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS RESPECTO AL ASENTAMIENTO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	76

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. CEMENTOS DE TIPO I "ESTÁNDAR" EN BOLIVIA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	8
FIGURA 2. GRADACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL AGREGADO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	11
FIGURA 3. INFLUENCIA DE LA FORMA DEL GRANO EN LA SUPERFICIE CON EL MISMO VOLUMEN (FUENTE: PUTZMEISTER AG).	11
FIGURA 4. EJEMPLO DE GEOMETRÍA EN SUPERFICIE VS VOLUMEN (PUTZMEISTER AG).	12
FIGURA 5. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	18
FIGURA 6. ESTADO DE SATURACIÓN DEL AGREGADO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	19
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS EN EL HORMIGÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	22
FIGURA 8. SERIE DE TAMICES PARA EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ...	22
FIGURA 9. A LA IZQUIERDA, ÁREA DE LA MALLA MILIMÉTRICA DE 25 CM ² ; A LA DERECHA, FIBRAS DE ACERO DE 5 CM DE LONGITUD, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	34
FIGURA 10. A LA IZQUIERDA, LONGITUD Y TEXTURA DE UNA FIBRA; A LA DERECHA, DIÁMETRO REAL DE LA FIBRA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	34
FIGURA 11. COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	36
FIGURA 12. CEMENTO VIACHA ESTÁNDAR, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	50
FIGURA 13. LOCALIDAD DE PEÑAS, DONDE SE OBSERVA LOS BANCOS DE PRÉSTAMO PARA EL CHANCADO DE AGREGADOS, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	51
FIGURA 14. A LA IZQUIERDA ARENA Y A LA DERECHA GRAVA CHANCADA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	51
FIGURA 15. LLENADO DE LA PRIMERA CAPA DEL CILINDRO CON HORMIGÓN FRESCO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	63
FIGURA 16. LLENADO Y VARILLADO DE LA CAPA FINAL ANTES DEL ENRASADO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	64
FIGURA 17. VIGAS ELABORADAS Y LISTAS PARA SER ENRAZADAS, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	64
FIGURA 18. MUESTRAS YA ELABORADAS Y CURADAS HASTA SU ENDURECIMIENTO EN CÁMARA HÚMEDA, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	65
FIGURA 19. CILINDRO YA ENSAYADO A COMPRESIÓN CON SU RESPECTIVO REFRENTADO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	66
FIGURA 20. VIGA YA ENSAYADA A FLEJO-TRACCIÓN, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	67
FIGURA 21. ENSAYO A FLEJO-TRACCIÓN DE VIGAS AL 3% DE ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	72
FIGURA 22. VACÍOS EN LOS ESPECÍMENES DEBIDO A LA SATURACIÓN DE FIBRAS.	75
FIGURA 23. VACÍOS CREADOS POR LA ACUMULACIÓN DE FIBRAS EN EL HORMIGÓN AL REALIZAR EL ENSAYO DE ASENTAMIENTO, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	77
FIGURA 24. FRASCO DE LE CHATELIER, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	85
FIGURA 25. DETALLE DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	100
FIGURA 26. CONO DE ABRAMS, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC).	104
FIGURA 27. PROCESO DE ENCABEZADO CON PASTA DE CAPPINK EN UN APARATO VERTICAL, (FUENTE: GOOGLE IMÁGENES).	112
FIGURA 28. PROCESO DE RETIRADO DEL MOLDE DE REFRENTADO, (FUENTE: GOOGLE IMÁGENES).	112

FIGURA 29. DETALLE DE LA PROBETA SITUADA EN LA PRENSA ANTES DEL ENSAYO, (FUENTE: MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES - HORMIGONES, VOLUMEN 4, ABC)	115
FIGURA 30. POSICIÓN CORRECTA DEL ESPÉCIMEN ANTES DE ENSAYAR, (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	118

LISTADO DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. FÓRMULAS PARA DETERMINAR EL ESTADO DE LOS AGREGADOS PARTIENDO DESDE EL TIPO 1, SEGÚN LA FIGURA 6.	21
ECUACIÓN 2. FÓRMULA PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE FINEZA, DESPUÉS DEL TAMIZADO.	23
ECUACIÓN 3. PARÁBOLA DE GESSNER.	45
ECUACIÓN 4. ECUACIÓN QUE DETERMINA EL MÓDULO DE FINURA.	46
ECUACIÓN 5. MÓDULOS GRANULOMÉTRICOS RELACIONADOS AL MÓDULO DE FINURA DE LA PARÁBOLA GESSNER.	46
ECUACIÓN 6. PROPORCIONES PARA 2 TIPOS DE ÁRIDOS.	47
ECUACIÓN 7. PROPORCIONES PARA 3 TIPOS DE ÁRIDOS.	47
ECUACIÓN 8. FACTOR DE GROSURA PARA MEZCLAS POR EL MÉTODO SHILSTONE.	48
ECUACIÓN 9. FACTOR DE TRABAJABILIDAD.	48

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 GENERALIDADES.

El uso de ligantes o aglomerantes naturales se remonta a la antigüedad, obteniéndolo de suelos cohesivos y posteriormente amasados con agua, permitían el moldeo de piezas que endurecían al secarse, las que comúnmente conocemos como "adobes", aunque de escasa durabilidad al contacto con la humedad. Estos mismos elementos resultaban durables a través de un proceso de cocción por calor, dando origen a los materiales "cerámicos". Éstos eran unidos entre sí mediante mezclas de poder adhesivo, de tierras calcáreas calcinadas y mezcladas con arena, que endurecían por secado al contacto con el aire¹.

Uno de los materiales fundamentales para que las estructuras tuvieran mayor resistencia eran las fibras, por ello las civilizaciones antiguas mezclaban fibras naturales como pasto, fique, junco o pelo animal con el adobe o barro; materiales que minimizaban su tendencia a la fisura y mejoraban el desempeño del material frente a la tensión.

Las fibras como tal, son elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño².

No existe algún trabajo de investigación referido al uso de filamentos de acero en mezclas de hormigón, sería conveniente señalarlos en este acápite.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Tomando en cuenta que en las últimas décadas en nuestro país se va construyendo proyectos a una escala cada vez mayor, utilizando en su gran mayoría como elemento estructural el hormigón, para los vaciados de las Fundaciones, Columnas, Losas, vigas, pavimento rígido, etc.

¹ CARRILLO, Marco Antonio, *Tecnología del hormigón*, pág. 1, 2009, Argentina.

² LOZANO, E y SEPULVEDA, Carlos Elías, *Revista Metal Actual*, edición 22, pág. 18-19, 2016, Colombia.

El hormigón generalmente una vez compactado y vibrado cumple funciones más a la resistencia a la compresión que a la resistencia a flexo-tracción.

En estructuras de Pavimentos de hormigón, se presentan fenómenos de dilatación y contracción, producto de ello existe agrietamiento y fisuramiento hasta la rotura de este elemento estructural.

El incremento desmesurado de residuos en las ciudades se ha convertido en una de las principales causas de problemas ambientales, esto se debe a la insuficiencia de las empresas a la hora de darle un tratamiento a residuos, que luego son depositados en vertederos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el comportamiento físico – mecánico de un hormigón normal adicionando fibras de acero como un material alternativo y determinar sus propiedades mecánicas.

1.3.2 OBJETIVO ESPECIFICO.

Los objetivos específicos son:

- Ejecutar los ensayos de laboratorio a los diferentes componentes del hormigón.
 - Cemento portland Viacha estándar IP-30.
 - Agregados de canto chancado proveniente de la localidad de Peñas.
 - Fibras de acero proveniente de malla de jaulas para animales pequeños de diámetro 0.5 mm y 5 cm de largo para adicionar en el hormigón.
- Diseñar una mezcla de hormigón patrón.
- Establecer un diseño de hormigón con diferentes porcentajes de fibras de acero.
- Evaluar el control de la mezcla de prueba.
 - Asentamiento en estado fresco, peso unitario del hormigón y su rendimiento.
- Determinar la resultante del hormigón endurecido a la resistencia a la compresión y flexión.

- Evaluación de los valores obtenidos en los ensayos realizados.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Actualmente en nuestro país se refleja un alto índice de construcciones de obras civiles empleándose para esto diversos materiales convencionales, por lo que una alternativa es reciclar y reutilizar con el fin de transformar un material no convencional apto para trabajar en el sistema constructivo.

1.5 ALCANCES.

Con esta investigación se pretende analizar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas de hormigón con la adición de fibras de acero.

La importancia e impacto que pueda generar esta investigación en el campo de la construcción, por el uso de filamentos de acero como nuevo producto que sirva de complemento para la resistencia de las mezclas de hormigón, los cuales se pueden utilizar en obras de construcción de pavimentos y enlosados, ayudando así en la adherencia de los elementos hormigonados.

Realizar las mezclas de hormigón con adiciones de fibras de acero en los predios del Laboratorio Técnico de Construcciones Civiles - LABOTECC

2 MARCO TEORICO.

2.1 CEMENTOS

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamado Clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega una pequeña cantidad de yeso para que adquiera la propiedad de fraguar al añadirle agua y endurecerse.

Mezclando con agregados (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, llamada hormigón (en Bolivia), o concreto (en otras partes de Sudamérica). Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil.

2.1.1 Tipos de cemento.

Existen varios tipos de cemento:

- El cemento normal tiene baja resistencia a las agresiones. Es apto para estructuras comunes en climas templados.
- El cemento de alta resistencia inicial, es vulnerable a las aguas ácidas, carbónicas o sulfatadas a corta edad (7 días). Es apto para climas fríos, por su alto calor de hidratación y para estructuras de dimensiones pequeñas y elementos pre moldeados.
- El cemento de alta resistencia a los sulfatos brinda durabilidad frente a aguas o suelos con sulfatos.
- El cemento con bajo calor de hidratación es apto para grandes volúmenes de hormigón.
- Existen también cementos puzolánicos que son cementos mixtos, compuestos de un 60% a 70% de Clinker y un 30% a un 40% de puzolana. Estos cementos

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

disminuyen el contenido de cal, mejorando el comportamiento frente a aguas agresivas, pero no dan seguridad en cuanto a su comportamiento frente a los sulfatos.

Tabla 1. Características de los cementos portland (Fuente: ASTM C-150).

TABLA CARACTERÍSTICAS DE LOS CEMENTOS PÓRTLAND*		
Tipo*	Descripción	Características Opcionales
I	Uso General	1, 5
II	Uso general; calor de hidratación moderado y resistencia moderada a los sulfatos	1, 4, 5
III	Alta resistencia inicial	1, 2, 3, 5
IV	Bajo calor de hidratación	5
V	Alta resistencia a los sulfatos	5, 6
Características Opcionales: 1. Aire incluido, IA, IIA, IIIA. 2. Resistencia moderada a los sulfatos: C_3A máximo, 8%. 3. Alta resistencia a los sulfatos: C_3A máximo, 5%. 4. Calor de hidratación moderado: calor máximo de 290 kJ/kg (70cal/g) a los 7 días, o la suma de C_2S y C_3A , máximo 58%. 5. Alcali bajo: máximo de 0.60%, expresado como Na_2O equivalente. 6. El límite de resistencia Alternativa de sulfatos esta basado en el ensayo de expansión de barras de mortero.		

(*) Para cementos especificados en la ASTM.C. 150.

En Bolivia la norma del Instituto de Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) indica las siguientes tablas:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 2. Clasificación y composición de los cementos en Bolivia según la NB-011, (Fuente: NB-011).

Tipos de cemento			Proporción en masa % (1)			
Denominación	Designación	Tipo	Componentes principales			Componentes adicionales (2) (3)
			Clinker	Puzolana Natural	Filler Calizo (3)	
Cemento Portland	Cemento Portland	I	95 a 100	—	—	0 a 5
	Cemento Portland con puzolana	IP	70 a 94	6 a 30	—	0 a 5
	Cemento Portland con filler calizo	IF	80 a 94	—	6 a 15	0 a 5
Cemento puzolánico		P	≥ 60	≤ 40	—	0 a 5

- 1) En estos valores se excluyen: el regulador de fraguado y los aditivos.
- 2) Los componentes adicionales pueden ser uno o dos entre puzolana y filler calizo, a menos que sean componentes principales del cemento.
- 3) La caliza a utilizarse como filler calizo o como componente adicional deberá cumplir el requisito de un contenido mínimo de 85% de carbonato cálcico.



Tabla 3. Tipos de Cemento elaborado por las productoras de Bolivia según la NB – 011, (Fuente: Elaboración propia).

BOLIVIA: Tipos de cemento elaborado por las productoras			
	TIPOS DE CEMENTO		CARACTERÍSTICAS
SOBOCE	IP30	IP40	Bajo Norma Boliviana NB-011
ITACAMBA			
COBOCE	IP30		
FANCESA	IP30	IP40	

Gráfico 1. Principales empresas abastecedoras de cemento en Bolivia (Fuente: IBCH).

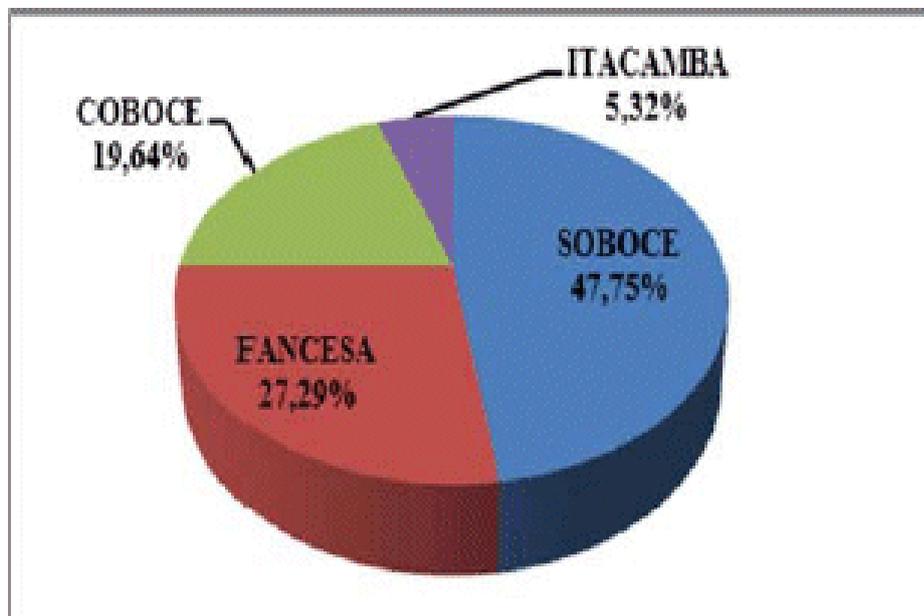


Figura 1. Cementos de Tipo I "Estándar" en Bolivia (Fuente: Elaboración propia).



2.1.2 Características físico-mecánicas de los cementos.

Según el Comité 311-07 de la ACI y la normativa ASTM, se define las siguientes propiedades:

2.1.2.1 La finura o superficie específica.

Una de las etapas del proceso de fabricación del cemento es la molienda del Clinker con el yeso. La hidratación de los granos de cemento ocurre desde el interior, por lo que el área superficial constituye el material de hidratación. Al reducir el espesor de esta capa aumenta la velocidad de hidratación lo que posteriormente conlleva a una menor resistencia a las fisuras. En definitiva, el tamaño de los granos definirá la posterior resistencia al fisuramiento del cemento.

2.1.2.2 La firmeza.

Es la capacidad que tiene el cemento de conservar su volumen después de fraguar.

2.1.2.3 Tiempo de fraguado.

Es el paso del estado plástico al estado endurecido de una masa de cemento, este proceso es muy exotérmico y depende de varios factores:

- La composición química del cemento.
- La cantidad de agua (a mayor cantidad, mayor rapidez).
- Temperatura ambiente (a menor temperatura se produce un retardo del proceso). Sin embargo, por encima de los 32 grados el aumento de velocidad se invierte.

2.1.2.4 Falso fraguado.

Se da a la rigidez prematura que presenta en los primeros minutos tras la adición de agua. Se diferencia de la anterior en que no despiden calor de forma apreciable y desaparece al mezclar nuevamente la pasta.

2.1.2.5 La resistencia a la compresión.

En términos estructurales la capacidad más destacable de los cementos, y puede verse afectada por el paso del tiempo, la incidencia de las inclemencias meteorológicas y el mal almacenamiento del Clinker. La resistencia aumenta de manera elevada en los primeros días tras la conformación, y en algunos cementos paulatinamente durante largos periodos de tiempo.

2.1.2.6 El peso específico.

Se define como la relación entre la cantidad dada y el volumen absoluto es una propiedad fundamentalmente usada para determinar la mezcla y es muy similar en todos los cementos Portland.

2.1.2.7 La consistencia normal.

Se define como aquella fluidez determinada por una cierta cantidad de agua. Tiene relación con la calidad del cemento y el tiempo de fraguado. EL requerimiento de agua varía entre distintos cementos y puede llegar a suponerse una variación:

- De un 25% a 30% de agua para cemento Tipo I.
- De un 25% a 35% de agua para cemento Tipo IP.

2.2 AGREGADOS.

Los agregados pueden ser de origen natural, tanto en el estado en que se encuentran (de canto rodado), como procesadas por trituración (piedra partida o chancada), o También artificiales como las arcillas expandidas o las escorias de altos hornos.

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado.

Los agregados se consideraran limpios si están libres de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos; Un agregado es físicamente sano si conserva su integridad bajo cambios de temperatura o humedad y si resiste la acción de la intemperie sin descomponerse.

Por su forma, los agregados pueden ser esféricos o poliédricos, debiendo desecharse aquéllos de forma **lajosa** (roca plana, lisa y poco gruesa), por su poca resistencia. Son mejores aquéllos de superficies rugosas por brindar mejor adherencia por su textura, En cambio, los de superficies lisas mejoran la trabajabilidad del hormigón.

Por su tamaño, los agregados pueden clasificarse en gruesos y finos.

- **Gruesos** aquéllos cuyos tamaños están comprendidos entre 4,8 mm (Tamiz N.º 4) y 76 mm (Tamiz N.º 3”).
- **Finos** los comprendidos entre 75 micrones (Tamiz N.º 200) y 4,8 mm (Tamiz N.º 4).

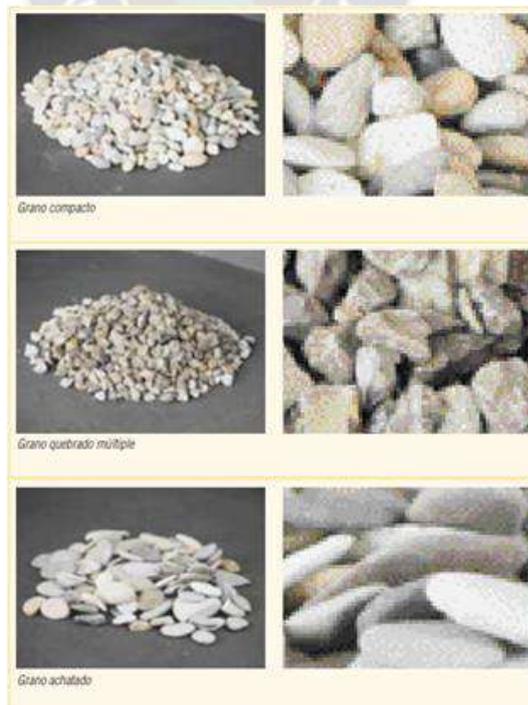
Deben clasificarse por tamizado y tener una granulometría adecuada. Esta se determina midiendo los porcentuales de partículas que pasan por cada tamiz, de una serie prefijada, según normas de la ASTM.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Figura 2. Gradación de las partículas del agregado (Fuente: Elaboración propia).



Figura 3. Influencia de la forma del grano en la superficie con el mismo volumen (Fuente: Putzmeister AG).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Figura 4. Ejemplo de geometría en superficie vs Volumen (Putzmeister AG).

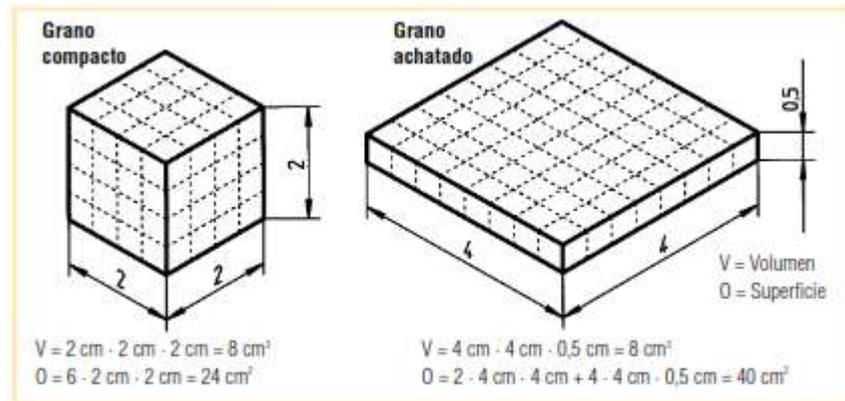


Tabla 4. Tamices para la granulometría y sus aberturas (Fuente: Elaboración propia).

ASTM C. 136 AASHTO T 27	Tamiz Standart Pulg. ASTM E-11	Abertura (mm.)
Agregado grueso	3	76,00
	2 1/2	64,00
	2	50,80
	1 1/2	38,10
	1	25,40
	3/4	19,10
	1/2	12,70
	3/8	9,51
Agregado fino	Nº 4	4,76
	Nº 8	2,38
	Nº 16	1,19
	Nº 30	0,595
	Nº 50	0,297
	Nº 100	0,149
	Nº 200	0,075
	Charola	

Las curvas granulométricas son características de los agregados y los definen. Se han establecido límites de tolerancia dentro de los cuales debe encontrarse una

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

granulometría (medición y graduación de los granos con fines de análisis), específica a utilizar en la elaboración de un hormigón según el tamaño máximo de este. La curva granulométrica se obtiene llevando en un gráfico de coordenadas cartesianas ortogonales las aberturas de los tamices sobre el eje de las abscisas (en escala logarítmica) y los porcentajes de agregado que pasan los tamices sobre las ordenadas. Estas curvas permiten identificar un agregado por su granulometría. El módulo de finura se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados en la serie normalizada de tamices.

Los agregados se caracterizan por su peso específico, peso unitario compactado, peso unitario suelto (incluyendo los vacíos). Los agregados deben ser limpios, secos o saturados y sueltos. Su absorción puede llegar al 25 % de su propio peso. No deben contener partículas chatas, alargadas o blandas.

Los agregados deben cumplir con la condición de que su tamaño máximo sea menor o igual que la quinta parte de la menor dimensión transversal del elemento estructural y las tres cuartas partes de la menor separación entre barras de armadura.

Tabla 5. Límites para una gradación óptima, según el T. M. A. grueso (Fuente: ASTM C-33).

Tamaño nominal	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4" 100 mm	3 1/2" 90 mm	3" 75 mm	2 1/2" 63 mm	2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	1" 25.0 mm	3/4" 19.0 mm	1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm
3 1/2" a 1 1/2"	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5					
2 1/2" a 1 1/2"	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5					
2" a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5		
1 1/2" a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5		
1" a 3/4"	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
1" a No. 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	
3/4" a No. 4	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	-	0-10	0-5	
2" a 1"	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5				
1 1/2" a 3/4"	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5			
1 a 3/4"	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5			
3/4" a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
1 1/2" a No. 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	
3/4" a No. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 6. Límites para una gradación óptima, para el agregado fino (Fuente. ASTM C-33).

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100
No. 4	95 - 100
No. 8	80 - 100
No. 16	50 - 85
No. 30	25 - 60
No. 50	10 - 30
No. 100	2 - 10
No. 200	0 - 2

2.2.1 Características físico-mecánicas de los agregados.

Se realizan variadas pruebas en los agregados del hormigón para:

- Establecer que se cumplan requisitos mínimos de calidad; se incluyen esas cualidades básicas deseables como resistencia a esfuerzos, solidez y resistencia a la abrasión
- Determinar características útiles para seleccionar las proporciones para el hormigón; como la gravedad específica o peso específico, los pesos unitarios, la absorción y el porcentaje de humedad.
- Asegurar que en forma rutinaria se cumplan con los requisitos para el trabajo.

En la mayor parte de los casos, los ensayos realizados a los agregados dan un índice para predecir el comportamiento en el hormigón.

2.2.2 Textura Superficial.

La textura superficial de los agregados afecta la calidad del hormigón en estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la resistencia a la flexo-tracción que a la compresión.

El hormigón puede contener agregado con una gran diversidad de características superficiales distintas desde una muy lisa hasta muy áspera y de panal y resultar en un hormigón satisfactorio.

Mientras mayor sea la rugosidad superficial de los agregados mayor es la superficie de contacto con la pasta de cemento; haciendo necesaria la utilización de mayor contenido de pasta para lograr la trabajabilidad deseada, pero favorece la adherencia de la pasta-agregado y así mejora las resistencias. Esto es característico de los agregados de trituración.

En el caso de los cantos rodados, donde su superficie es lisa, dan mejor trabajabilidad al hormigón, pero menor adherencia a la pasta-agregado.

2.2.3 Forma del Agregado.

La forma del agregado tiene gran influencia en las propiedades del hormigón fresco y endurecido, particularmente en lo que hace a la docilidad y resistencias mecánicas respectivamente.

Como en el caso de la textura superficial, se ha producido hormigón satisfactorio con agregado que consta de una gran diversidad de formas diferentes.

Las partículas naturales de agregado que han sido sujetas a la acción de las olas y el agua durante la historia geológica pueden ser esencialmente esféricas; las otras, desmenuzadas por la trituración, pueden ser cúbicas o tener muchos ángulos con vértices agudos, debiendo tener por lo menos una cara fracturada, resultante del proceso de trituración.

Un agregado grueso con muchos ángulos, que presenta un mayor número de vacíos, exigirá una mayor cantidad de arena para dar lugar a un hormigón trabajable, pero tendrá una mayor cohesión. Inversamente, el agregado grueso bien redondeado que tiende hacia las partículas esféricas requerirá menos arena y tendrá mayor trabajabilidad, pero tendrá una menor cohesión. No obstante, resulta interesante hacer notar que los hormigones producidos con una gran diferencia en las formas de las partículas y un contenido dado de cemento por metro cúbico de hormigón, con frecuencia tendrán más o menos la misma resistencia a la compresión.

También se ha medido la forma y textura de las partículas del agregado fino, la investigación indica que la forma de la partícula y la textura superficial del agregado

fino puede tener una influencia más importante sobre la resistencia del hormigón que la del agregado grueso.

Las formas delgadas y alargadas dan lugar a hormigones de peor calidad. Disminuyen la trabajabilidad del hormigón, obligando a una mayor cantidad de agua y arena, lo que en definitiva se traduce en una disminución de la resistencia. Además, las formas planas tienden a orientarse en un plano horizontal, acumulando agua y aire debajo de ellas, lo que repercute desfavorablemente en la durabilidad de los hormigones. Por otra parte, aunque el tipo de material sea muy resistente, estas formas son frágiles y se pueden romper en el mezclado y la compactación del hormigón. Algunas especificaciones para el agregado grueso limitan la cantidad de partículas delgadas o alargadas a un máximo del 10 al 15% en peso, más o menos. Esas partículas se definen como aquéllas cuya relación de la dimensión más larga de un prisma rectangular y la dimensión menor sea mayor que 5.

Los agregados triturados resultan en hormigones con alta resistencia a la flexotracción, por lo que son preferidos para pavimentos en carreteras

No se ha probado que la forma de la partícula del agregado grueso en el hormigón sea un problema importante si se incrementa y se elige el contenido de modo que se haga una compensación en los agregados que tienden a producir mezclas ásperas, como las que pueden resultar al usar por completo agregado de piedra triturada o escoria siderúrgica.

2.2.4 Resistencia Estructural.

No se puede producir hormigón de alta resistencia que contenga agregados estructuralmente débiles.

Para que un agregado pueda considerarse de resistencia adecuada, debe sobrepasar la resistencia propia del aglomerante (cemento).

A pesar de la comparación entre la resistencia del hormigón y la del agregado, al menos en los casos extremos, otros factores, como la forma de la partícula, textura superficial, gradación y relación Agua/Cemento, se conjugan contra la evaluación precisa de la

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

contribución de la resistencia estructural del propio agregado. Por esto no se ha podido hacer predicciones de la calidad del hormigón con relación a la resistencia de los agregados. En la siguiente Tabla se muestran las resistencias a la compresión de diversas rocas.

Tabla 7. Resistencia a la compresión de las rocas de uso común utilizado para hormigón (Fuente: Comité 311-07 de la ACI).

Tipo de roca	Nº de Muestras	Promedio (*)	Resistencia a la compresión [Kg/cm ²]	
			Después de suprimir los extremos(**)	
			Máxima	Mínima
Granito	278	1895	2622	1167
Felsita	12	3294	5364	1223
Trapeana	59	2949	3846	2053
Piedra caliza	241	1701	2454	949
Arenisca	79	1448	2447	450
Mármol	34	1505	2489	520
Cuarcita	26	2788	4310	1266
Gneis	36	1677	2397	956
Esquisto	31	1979	3030	928

Para la mayor parte de las muestras, la resistencia a la compresión es un promedio de 3 a 15 muestras.

(*) Promedio de todas las muestras.

(**) De todas las muestras probadas, se han suprimido aquellas con los valores más altos o más bajos en 10% por considerarse como no típicas del material.

Se considera que las arenas provenientes de río son las de mejores características, por lo que no habría que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad. Si se trata de arena proveniente de machaqueo o chancadas, se las puede considerar de buena calidad siempre y cuando provengan de una buena cantera.

La resistencia de la grava se encuentra ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Para este propósito se realizan ensayos de resistencia al desgaste por abrasión mediante la máquina de Los Ángeles.

Dentro de los Áridos de los cuales debemos cuidarnos se encuentran las rocas volcánicas sueltas (palmes, toba) y las rocas sedimentarias (caliza-dolomita).

No deben ser utilizados en hormigones las calizas blandas (feldespatos, yesos) ni tampoco piritas o rocas porosas.

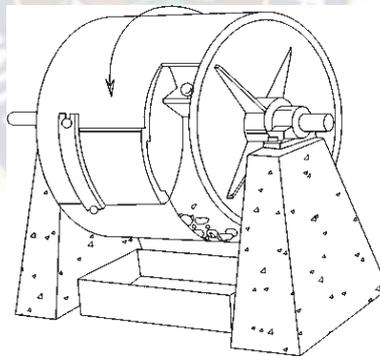
2.2.5 Prueba de Abrasión por la máquina de Los Ángeles (ASTM C 131).

Esta es la prueba que más se aplica para averiguar la calidad global estructural del agregado grueso. Este método establece el procedimiento a seguir para determinar el desgaste, por abrasión, del agregado grueso, desde el tamaño de malla 3" (75 mm) hasta el tamaño de N° 8 (2.36 mm), utilizando la máquina de Los Ángeles

La muestra deberá estar limpio y debe ser representativa la cantidad a ensayar.

Una vez que se alcanza el número requerido de revoluciones del tambor, se tamiza el agregado para determinar el porcentaje de agregado que ha sido reducido hasta un tamaño menor que 1.7mm (tamiz N°12). Excepto en el caso de la escoria siderúrgica, la prueba parece dar un índice útil de la integridad estructural global del agregado.

Figura 5. Máquina de los ángeles (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).



La máquina de Los Ángeles consiste en un tambor cilíndrico hueco, de acero, cerrado en sus extremos. La carga abrasiva consiste de esferas de acero. Cada una de ellas debe pesar entre 390 y 445 gramos, esta carga depende de la granulometría de la muestra a ensayarse.

Un anaquel que está en el interior del tambor rotatorio recoge la carga de bolas y agregado en cada revolución y la deja caer conforme se aproxima al punto más alto de su recorrido, de este modo el agregado experimenta cierta acción de frotamiento y

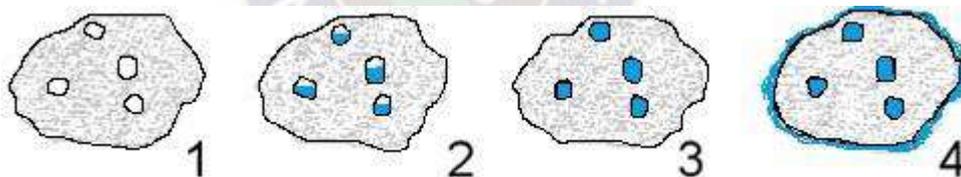
vuelcos, así como un impacto considerable, durante las 500 revoluciones que especifica la norma.

2.2.6 Gravedad Específica y Absorción (ASTM C127 y ASTM C128).

La Gravedad Específica o peso específico es la relación entre la densidad del agregado y la del agua (1000 kg/m³). Sin embargo, todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que permite la entrada de agua en los espacios de los poros o capilares cuando se colocan en la mezcla de hormigón, o bien, ya están húmedos cuando entran al hormigón. Por lo tanto, la definición cuidadosa de la gravedad específica debe tomar en cuenta tanto el peso como el volumen de la porción de agua contenida dentro de las partículas. El agua libre que se encuentra sobre las superficies exteriores del agregado húmedo no entra en el cálculo de la gravedad específica, pero contribuye a la relación A/C del hormigón.

Se presentan cuatro estados en el agregado, dependiendo del contenido de agua en sus poros y superficie:

Figura 6. Estado de saturación del agregado (Fuente: Elaboración propia).



1. Seco (Secado al horno)
2. Parcialmente Saturado
3. Saturado con la superficie seca (SSS); poros llenos de agua y seco en la superficie.
4. Saturado húmedo en la superficie; poros llenos de agua y húmedo en la superficie (mojado).

La Absorción se define como el incremento de peso de un árido poroso seco, hasta lograr su condición de saturación con la superficie seca, debido a la penetración de agua a sus poros permeables.

La absorción es el valor de la humedad del agregado cuando tiene todos sus poros llenos de agua, pero su superficie se encuentra seca. En esta condición se hacen los

cálculos de dosificación para elaborar el hormigón. Sin embargo, el agregado en los acopios puede tener cualquier contenido de humedad (estados 2 a 4). Si la humedad del agregado es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al hormigón para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera a la absorción, habrá que disminuir la cantidad de agua que se pondrá a la mezcla ya que los agregados estarán aportando agua.

El valor de la absorción es un concepto necesario para el ingeniero en obra, en el cálculo de la relación A/C de la mezcla de hormigón, pero, en algunos casos, puede ser que también refleje una estructura porosa que afecte la resistencia a la congelación y deshielo del hormigón.

No se suelen fijar límites de aceptación para la absorción debido a que ésta no solo depende de la porosidad de la roca, sino también de otros aspectos tales como la distribución granulométrica, contenido de finos, tamaño máximo de los agregados, forma de las partículas. Sin embargo, se puede considerar como rocas de buena calidad aquellas que presentan una absorción menor 3% para agregado grueso, y menores a 5% para el caso de agregado fino.

La absorción de un agregado grueso se expresa arbitrariamente en términos del agua que entra en los poros o capilares durante un periodo de remojo de 24 h y se calcula sobre la base del peso del agregado secado al horno.

Se observa que, típicamente, algunas de las rocas sedimentarias más porosas y más blandas tienen valores más altos de absorción.

La gravedad específica se puede calcular para un agregado totalmente seco (estado 1) o para un agregado en estado natural que puede estar seco en la superficie, pero contener humedad en sus poros (estado 2 o 3).

En el sistema métrico la fuerza de empuje $B - C$, se puede considerar equivalente al volumen del agregado en centímetros cúbicos.

Ecuación 1. Fórmulas para determinar el estado de los agregados partiendo desde el tipo 1, según la figura 6.

$$\text{Grav. esp. de la masa} = \frac{A}{B-C} = \frac{A}{V}$$

y

$$\text{Grav. esp. de la masa}_{\text{sss}} = \frac{B}{B-C} = \frac{B}{V}$$

Donde:

A [gr] = peso en el aire de muestra secada al horno.

B [gr] = peso en el aire de muestra saturada-seca en la superficie.

C [gr] = peso en el agua de muestra saturada.

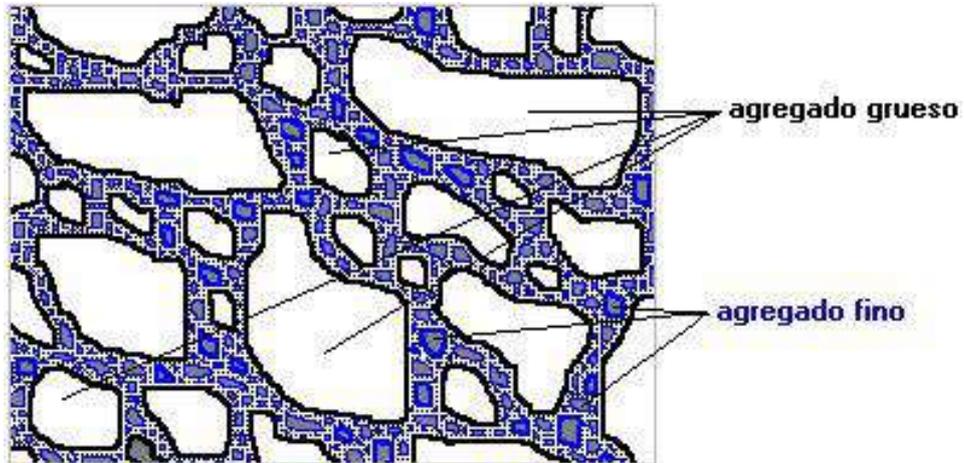
V [cm³] = Volumen del agregado

2.2.7 Vacíos y Gradación.

- **Vacíos:** La cantidad de compactación, la forma, textura superficial y la gradación del agregado influyen de manera importante sobre la cantidad de vacíos. Un agregado bien graduado es aquel que contiene cantidades apropiadas de las partículas progresivamente más finas para llenar las aberturas entre los tamaños mayores y, de este modo, reducir el contenido de vacíos. No obstante, no se ha encontrado que un agregado excelentemente graduado, como para dar lugar a un mínimo de vacíos, sea fundamental para tener un hormigón aceptable. De hecho, los agregados con curvas granulométricas discontinuas en uno o más tamaños de tamiz, se han empleado con éxito e, incluso, algunos los recomiendan.
- **Gradación:** Después de la excavación o explotación en la mina, los agregados del hormigón casi siempre se sujetan a un proceso de tamizado para proporcionar los tamaños adecuados para que exista una cantidad mínima de vacíos, los que serán ocupados por la pasta de cemento, como se muestra en la figura:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Figura 7. Distribución de las partículas en el hormigón (Fuente: Elaboración propia).



La confirmación de que los tamaños deseados se encuentran presentes en el producto se realiza por el “tamizado”.

Figura 8. Serie de tamices para el ensayo de granulometría (Fuente: Elaboración propia).



Dependiendo de la naturaleza de los agregados que se empleen, es posible que deba mantenerse un balance bastante preciso entre la relación de las fracciones de agregado fino y de agregado grueso, para lograr la movilidad, plasticidad y ausencia de segregación deseadas, todo lo cual se agrupa en el término general “trabajabilidad”.

2.2.8 Módulo de Fineza (M.F.).

El módulo de fineza, también llamado modulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de Modulo de Fineza.

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar (nombrados más abajo) y dividiendo la suma entre 100.

Ecuación 2. Fórmula para determinar el módulo de fineza, después del tamizado.

$$MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6''+3''+1\frac{1}{2}''+\frac{3}{4}''+\frac{3}{8}''+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$$

Los cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Para no tener que recalcularse la dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de ± 0.2 .

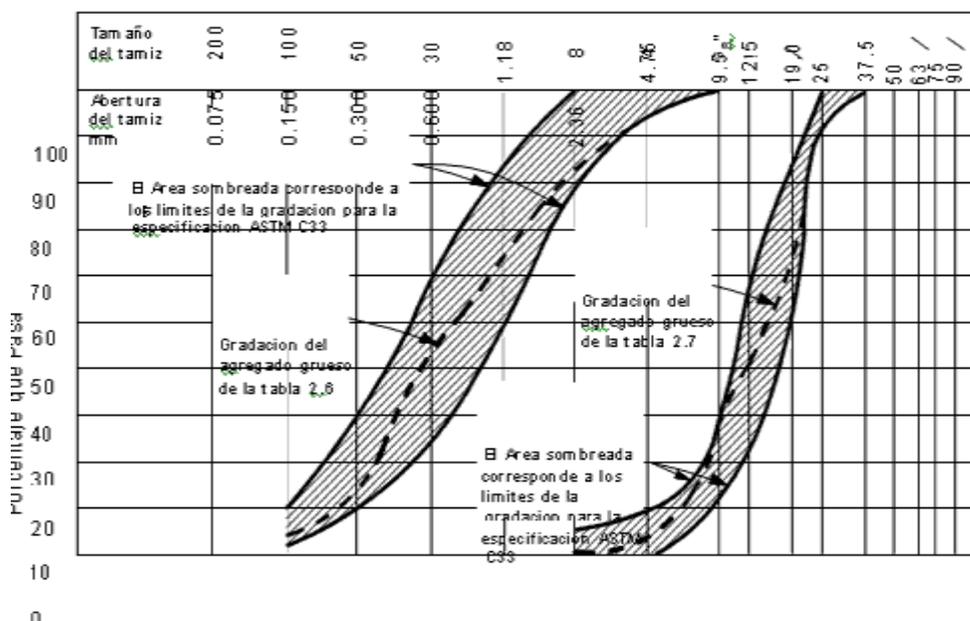
2.2.9 Curvas Granulométricas.

Una vez tamizado el árido según el **ensayo de granulometría** (según la ASTM C-136), se grafica en papel semi-logarítmico el porcentaje que pasa por cada tamiz vs. las aberturas de los tamices en mm

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

En general las normas establecen límites entre los cuales se deben encontrar las curvas granulométricas, para considerar al árido como adecuado para preparar el Hormigón.

Gráfico 2. Agregados y gradaciones (Fuente: ASTM C-33).



*Los espaciamientos horizontales de la figura son proporcionales al logaritmo de la abertura.

En el anterior gráfico N° 2 se han trazado las gráficas correspondientes al agregado fino y al grueso en las que aparecen áreas sombreadas con las que se indican los límites permisibles de gradación para los respectivos agregados, según se especifican en la ASTM C-33. Esas gráficas de gradaciones revelan tendencias que son difíciles de estimar a partir de datos tabulados. Por ejemplo, la gráfica revela con claridad que el agregado grueso de la Tabla está muy cerca de no cumplir con la establecido para la gradación de 1" a N.º 4 respecto a la cantidad que pasa el tamiz de 3/8", ya que la curva real de gradación casi queda fuera del área sombreada, en general las normas establecen límites entre los cuales se deben encontrar las curvas granulométricas, para considerar al árido como adecuado para el preparar el Hormigón.

Otras teorías utilizan curvas teóricas para el árido total (grava más arena), con una forma parabólica que se aproxima a la gradación de máxima densidad y mínimo contenido de vacíos. Existen varios métodos para obtener curvas adecuadas a cada

caso, cada uno de los cuales tiene su propio campo de aplicación. De estos métodos algunos se refieren a granulometrías continuas, en el que se encuentran presentes todos los tamaños de granos y otros a granulometrías discontinuas, en el que faltan algunos elementos intermedios, por lo que la curva granulométrica presenta un escalón horizontal, pudiendo decirse como idea básica que el primero es más trabajable y menos expuesto a segregación que el segundo, aunque con el segundo se pueden conseguir mayores resistencias cuando se estudia y fabrica cuidadosamente.

2.2.10 Tamaño máximo del agregado.

El Tamaño Máximo designado para el agregado, siempre es un tamaño menor que aquél a través del cual se requiere que pase el 100% del material. Por ejemplo, si el tamaño máximo de agregado requerido es de 1", el 100% deberá pasar el tamiz anterior (1½") y casi en su totalidad (entre 90-100%) el tamiz de 1". El Tamaño Mínimo es la máxima abertura de tamiz por el que pase menos del 15% en peso o se retenga en su totalidad.

2.3 AGUA DE MEZCLADO.

Resulta obvio decir que sin agua no se puede elaborar hormigones y morteros, más aún, ni siquiera se puede elaborar una pasta de cemento. Por otra parte, se debe tener en cuenta que el agua y el hormigón son dos de los materiales más utilizados por la humanidad. El agua cobra importancia en la fabricación del hormigón como: agua de mezclado, agua de curado y agua de lavado. Se debe tenerse en cuenta también, los efectos que pueda producir como agua de contacto.

Si bien el agua es el componente de más bajo costo para la elaboración de hormigón, es el elemento tan importante como el cemento, ya que la variación de su contenido en una mezcla, permite realizar la dosificación del hormigón variando su resistencia, plasticidad, consistencia, trabajabilidad y permeabilidad. Cuando se desconoce la calidad del agua a utilizar, su procedencia y composición química, se corre un gran riesgo en el mezclado, porque, aunque la relación "A/C" sea la deseada, no se sabe si en el interior del hormigón el agua provocará un beneficio o un inconveniente.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Las impurezas del agua pueden presentarse disueltas o en forma de suspensión y pueden ser: carbonatos o bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sales de hierro, sales inorgánicas, ácidos, materia orgánica, aceites, o sedimentos y pueden interferir en la hidratación del cemento, producir modificaciones del tiempo de fraguado, reducir la resistencia mecánica, causar manchas en la superficie del hormigón y aumentar el riesgo de corrosión de las armaduras. En general, se establece que, si el agua es potable, es adecuada para su mezclado, y una gran parte de los hormigones se elaboran con agua potable. Sin embargo, muchas aguas no aptas para beber son buenas para el mezclado.

Tabla 8. Requisitos que debe cumplir el agua para hormigones y morteros, según la norma NB/UNE 7236, (Fuente: CBH-87).

El agua, tanto para el amasado como para el curado del hormigón, debe ser limpia y deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

- Exponente de hidrógeno pH ≥ 5
(Determinando según la norma NB/UNE 7234)
- Sustancias disueltas ≤ 15 g/L
(Determinadas según la norma NB/UNE 7130)
- Sulfatos, expresados en SO_4 ≤ 1 g/L
(Determinados según la norma NB/UNE 7131)
- Ion cloro Cl ≤ 6 g/L
(Determinado según la norma NB/UNE 7178)
- Hidratos de carbono 0
(Determinados según la norma NB/UNE 7132)
- Sustancias orgánicas solubles en éter ≤ 15 g/L
(Determinados según la norma NB/UNE 7235)

La temperatura del agua para preparación del hormigón deberá ser superior a 5 °C.

2.3.1 Carbonato alcalino y bicarbonato.

Los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado de diferentes cementos. El carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, el bicarbonato puede tanto acelerar como retardar el fraguado. Estas

sales, cuando se encuentran en grandes concentraciones, pueden reducir la resistencia del hormigón.

Cuando la suma de las sales disueltas excede 1000 ppm, se hacen necesarios ensayos para el estudio de su influencia sobre la resistencia y el tiempo de fraguado. También se debe considerar la posibilidad de la ocurrencia de reacciones álcali-agregado.

2.3.2 Cloruros.

El efecto de la corrosión de la armadura de refuerzo es la principal razón de preocupación a respecto del contenido de cloruros en el agua usada para la preparación del hormigón. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora que se forma sobre el acero resultante de la alta alcalinidad (pH mayor que 12.5) presente en el hormigón. El nivel de iones cloruros solubles en ácido, en el cual la corrosión empieza en el hormigón, es aproximadamente del 0.2 a 0.4 % en peso de cemento (0.15 % al 0.3 % soluble en agua).

2.3.3 Sulfatos.

La preocupación respecto del alto contenido de sulfatos en el agua usada para la preparación del hormigón se debe a las reacciones expansivas potenciales y al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el hormigón será expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos.

2.3.4 Sales de hierro.

Las aguas subterráneas naturales raramente contienen más de 20 a 30 ppm de hierro, sin embargo, las aguas ácidas de mina pueden contener grandes cantidades de hierro. Las sales de hierro en concentraciones de hasta 40,000 ppm normalmente no afectan la resistencia del hormigón, pero si su aspecto estético.

2.3.5 Diversas sales inorgánicas.

Las sales de manganeso, estaño, cinc, cobre y plomo en el agua de mezclado pueden causar una significativa reducción de la resistencia y grandes variaciones del tiempo de fraguado. De éstas, las sales de cinc, cobre y plomo son las más activas. Las sales: yodato de sodio, fosfato de sodio, arseniato de sodio y borato de sodio son especialmente activas como retardadores. Todas ellas pueden retardar muchísimo

tanto el tiempo de fraguado como también el desarrollo de la resistencia, siempre que estén en bajas concentraciones respecto del contenido de cemento.

El sulfuro de sodio es otra sal que puede ser perjudicial al hormigón.

2.3.6 Impurezas orgánicas.

El efecto de sustancias orgánicas sobre el tiempo de fraguado del cemento portland y sobre la resistencia última del hormigón es un problema muy complejo. Tales sustancias se pueden encontrar en aguas naturales. Las aguas muy coloridas, con un olor apreciable o con algas verdes o marrones visibles se deben considerar sospechosas y, por lo tanto, hay que analizarlas; para tales efectos se puede realizar un ensayo de Colorimetría ASTM C-40.

Las algas también pueden estar presentes en los agregados, reduciendo la adherencia entre el agregado y la pasta. Se recomienda 1000 ppm como contenido máximo de algas.

2.3.7 Azúcar.

Una pequeña cantidad de sacarosa, del 0.03 a 0.15 % en peso de cemento, normalmente es suficiente para retardar el fraguado del cemento. El límite superior de este rango varía de acuerdo con los diferentes cementos. La resistencia a los 7 días puede reducir mientras que la resistencia a los 28 días puede aumentar. El azúcar en cantidades iguales o superiores a 0.25 % en peso de cemento puede causar fraguado rápido y gran reducción de la resistencia a los 28 días. Cada tipo de azúcar influye en el tiempo de fraguado y en la resistencia de manera diferente.

El azúcar en el agua de mezcla en concentraciones inferiores a 500 ppm, normalmente no presenta efecto nocivo sobre la resistencia, pero si la concentración supera este valor, se deben hacer ensayos de tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja de VICAT. ASTM C-191 y Ensayo de compresión de morteros de cemento ASTM C-109 en la pasta.

2.3.8 Sedimentos o partículas en suspensión.

Se pueden tolerar aproximadamente 5000 ppm de arcilla en suspensión o partículas finas de rocas en el agua de mezclado. Cantidades más elevadas, posiblemente, no

afecten la resistencia, pero pueden influenciar otras propiedades de algunos hormigones tales como la contracción por secado, tiempos de fraguado, durabilidad o aparición de eflorescencia.

Antes de utilizarse un agua embarrada o lodosa, se la debe pasar a través de estanques de sedimentación o se la debe clarificar por cualquier otro medio para la disminución de la cantidad

de sedimentos o arcillas introducidos en la mezcla a través del agua de mezcla.

Estos sedimentos podrían tolerarse en cantidades superiores cuando los finos del cemento se retornan al hormigón por el uso de agua de lavado reciclada.

2.3.9 Aceites.

Muchos tipos de aceites están ocasionalmente presentes en el agua. El aceite mineral (petróleo) sin mezcla de aceites vegetales o animales tiene, probablemente, menos efecto sobre el desarrollo de la resistencia que otros aceites. Sin embargo, el aceite mineral en concentraciones superiores al 2.5% en peso de cemento puede reducir la resistencia en más del 20 %.

2.3.10 Agua del mar.

El agua del mar, con una concentración de sales disueltas de hasta 35,000 ppm, normalmente es adecuada para el uso como agua de mezclado del hormigón que no contenga armaduras de acero. Aproximadamente 78% de la sal es cloruro de sodio y 15 % es cloruro y sulfato de magnesio. Aunque la resistencia temprana del hormigón preparado con agua de mar pueda ser más elevada que la resistencia del hormigón normal, la resistencia a edades mayores (después de 28 días) puede resultar menor. Esta reducción de la resistencia se puede compensar con la reducción de la relación agua/cemento.

El agua de mar no es apropiada para la preparación de hormigón reforzado con acero y no se debe usar en hormigón pretensado, debido al riesgo de corrosión de la armadura, principalmente en ambientes cálidos y húmedos.

El sodio y el potasio de las sales presentes en el agua de mar, usada en la preparación del hormigón, pueden agravar la reactividad álcali-agregado. Por lo tanto, no se debe

-usar agua de mar en la mezcla del hormigón donde estén presentes agregados potencialmente reactivos.

El agua de mar empleada en el hormigón también tiende a causar eflorescencias y manchas en la superficie del hormigón expuesta al aire y al agua.

2.3.11 Aguas ácidas.

La aceptación de aguas ácidas en la mezcla del hormigón se debe basar en la concentración de los ácidos en el agua. Ocasionalmente, la aceptación se basa en el pH, que es una medida de la concentración de los iones hidrógenos en una escala logarítmica. El valor de pH es un índice de intensidad y no es la mejor medida de la reactividad potencial de un ácido o de una base. El pH del agua neutra es 7.0; valores inferiores a 7.0 indican acidez y valores superiores a 7.0 indican alcalinidad.

Normalmente el agua de mezclado que contiene ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y otros ácidos inorgánicos comunes en concentraciones de hasta 10000 ppm no tiene efecto perjudicial sobre la resistencia. Las aguas ácidas con pH menor que 3.0 pueden crear problemas de manejo y, si posible, se deben evitar. Los ácidos orgánicos, tal como el ácido tánico, en altas concentraciones pueden tener un fuerte efecto sobre la resistencia.

2.3.12 Aguas alcalinas.

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio superiores al 0.5 % en peso de cemento pueden reducir la resistencia del hormigón.

El hidróxido de calcio en concentraciones de hasta 1.2% en peso de cemento tiene poco efecto sobre la resistencia del hormigón con algunos tipos de cemento, pero esto debe ser evaluado en cada caso.

Se debe considerar la posibilidad del aumento de la reactividad álcali-agregado.

2.3.13 Aguas de desechos industriales.

La mayoría de las aguas que cargan desechos industriales tienen menos de 4000 ppm de sólidos totales. Cuando se usa esta agua para preparar el hormigón, la reducción de la resistencia a compresión no supera el 10 a 15 %. Las aguas de desechos industriales

tales como curtiembres, fábricas de pintura, plantas de coque, plantas químicas y de galvanización pueden contener impurezas peligrosas. Lo mejor es verificar cualquier agua de desecho que contengan unos pocos cientos de partes por millón de sólidos poco comunes.

2.4 ADITIVOS.

Los aditivos otorgan propiedades especiales al hormigón. Generalmente se agregan en el momento de la mezcla, modificándose así las propiedades, ya sea de la mezcla fresca o de la mezcla endurecida.

Tabla 9. Tipos de aditivos (Fuente. ACI 311-07).

TIPO	DESCRIPCIÓN
A	Reductor de agua
B	Retardante de fraguado
C	Acelerante de fraguado
D	Reductor de agua y retardante
E	Reductor de agua y acelerante
F	Reductor de agua de alto grado
G	Reductor de agua de alto grado y retardante

Además, la ASTM C-1017/1017M cubre los aditivos químicos para usarse en producir concreto fluido, y la ASTM C-260 da especificaciones estándar para aditivos inclusores de aire³.

2.4.1 Reductores del contenido de agua

Llamados fluidificantes o plastificantes, mejoran la trabajabilidad de la mezcla fresca sin disminuir la resistencia final del hormigón al no modificar la relación agua-cemento. Con el uso de estos aditivos, el producto final gana en impermeabilidad y en durabilidad. Pueden utilizarse según diversos criterios:

- Reduciendo la cantidad de agua manteniendo la misma cantidad de cemento, el uso de estos aditivos aumenta el asentamiento y la trabajabilidad, pero

³ COMITE 311-07, Manual para supervisar obras de concreto, A.C.I. 2007, EUA.

mantiene las mismas condiciones de resistencia y durabilidad, aunque puede producirse segregación de la mezcla si es que se excede en su adicción.

2.4.2 Aceleradores de endurecimiento.

Mal llamados aceleradores de fraguado, permiten la habilitación rápida de las estructuras, al posibilitar el retiro anticipado de los encofrados y reducir también el tiempo de curado. Estos aditivos son de uso ideal en climas fríos porque compensan el efecto retardador de las bajas temperaturas.

2.4.3 Retardadores de fraguado.

Permiten traslados prolongados del hormigón fresco, brindando mayor tiempo para la compactación y adaptación a las deformaciones de los encofrados.

Tanto los aceleradores como los retardadores pueden ser fluidificantes, mejorando de este modo la resistencia final.

2.4.4 Incorporadores de aire.

Estos aditivos mejoran el comportamiento del hormigón ante las heladas. Las burbujas microscópicas lubrican la mezcla fresca mejorando la trabajabilidad y reduciendo la segregación.

Este aditivo puede reducir la cantidad de agua, por lo tanto, disminuye la contracción por endurecimiento, las burbujas interceptan los conductos capilares atrapando el agua, reduciendo la absorción capilar, y aumentando de este modo la impermeabilidad y la durabilidad del hormigón.

2.5 FIBRAS DE ACERO.

Las más comunes son las fibras de acero redondas que se producen a través del corte de alambres y generalmente tienen diámetros que varían entre los 0.25 y 1mm

Las fibras de acero se emplean en los hormigones generalmente en cantidades que varían entre 0.3 y 2% en volumen y excepcionalmente hasta un 4%. Las mezclas de hormigón que contienen más de un 2% pueden ser difíciles de manejar y colocar debido a la tendencia de

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

las fibras a apilonarse, pero puede aplicarse esta alta concentración con menos dificultad para morteros.

El hormigón reforzado con fibras de acero mejora la resistencia al impacto en hasta tres veces la del hormigón simple.

Y exhibe sustancialmente mayor ductilidad en la falla a compresión, flexión y torsión

Las aplicaciones más comunes para el hormigón reforzado con fibras de acero son las ligadas a absorber cargas de impacto o de flexión que incluyen pavimentos de carreteras, aeropuertos, apoyos de puentes, dársenas de carga, pisos industriales, cubiertas de conductos, estructuras marinas y bases de máquinas⁴.

2.5.1 Análisis y determinación de la cantidad de fibras de acero.

Para este proyecto se verifico y estudio distintas fibras de acero que pudieran ser recicladas para la adición al hormigón y poder generar la hipótesis del mismo.

El siguiente cuadro nos indica las fibras de reciclaje que fueron analizadas para adicionar al hormigón:

Tabla 10. Materiales analizados como adición al hormigón normal, (Fuente: Elaboración Propia).

Nº	Material	PRECIO	Ventajas	Desventajas	Observaciones	Fotografías
1	Virutas y virulina	26 gr X 1 Bs.	son mas cómodas, económicas y dosiles, pueden ser recortadas facilmente a un tamaño moderado.	Es complicado y moroso darle el tamaño optimo, en el momento del reciclado	No economiza en tiempo y elaboración	
2	Cables de computadoras en desuso	2,2 gr X 1 Bs.	No aplica	es muy difícil de conseguir en gran cantidad, es comercializada por el cobre que lleva a 5 Bs el rollo de 3 metros, tiene una cubierta de caucho	No economiza en tiempo, elaboración y gastos	
3	Malla de gallinero	80 gr X 1 Bs.	es económica	es difícil de cortar y no es tan dosil	No economiza en tiempo y elaboración	
4	Aserrín de acero de tornería	50 gr. X 1 Bs.	no requiere ningún trato	se consigue en muy poca cantidad la forma requerida	No economiza en tiempo y elaboración	
5	Malla milimétrica de 0,5 mm de diámetro	120 gr X 1 Bs.	son cómodas, económicas y dosiles y pueden ser recortadas facilmente a un tamaño moderado y uniforme.	No aplica	Economiza en tiempo, elaboración y gastos	

⁴ BALESTRINI, A. Revista Hormigonar, Asociación argentina del hormigón, edición 7, página 18, 2005, Argentina.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Revisando el cuadro anterior se procedió a utilizar la malla milimétrica de Diámetro = 0.5 mm, por sus ventajas ante los otros materiales, por la economía, el tiempo en la elaboración y reciclado.

Figura 9. A la izquierda, área de la malla milimétrica de 25 cm²; a la derecha, fibras de acero de 5 cm de longitud, (Fuente: Elaboración Propia).

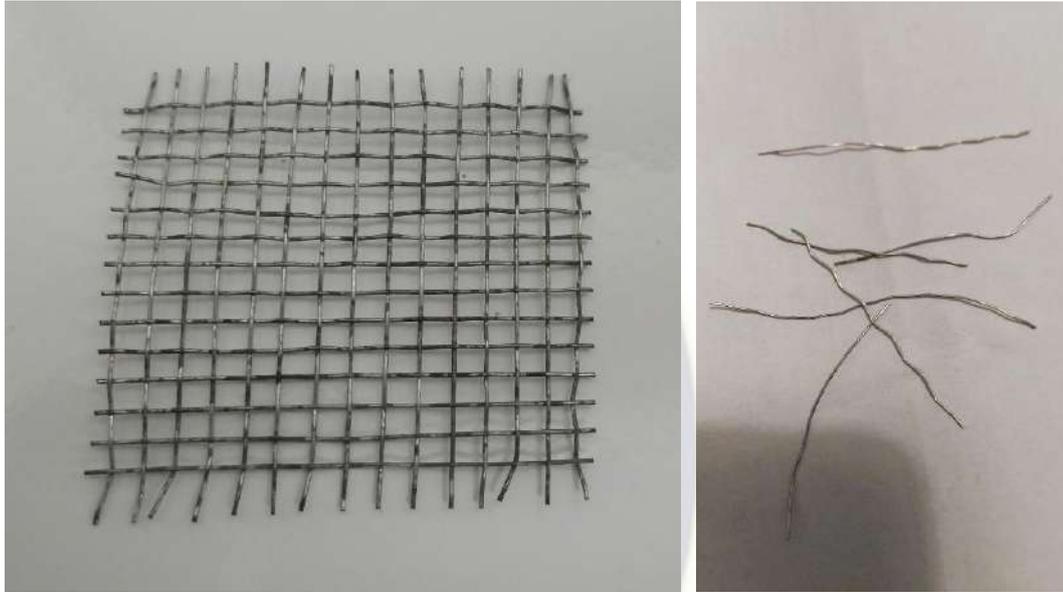
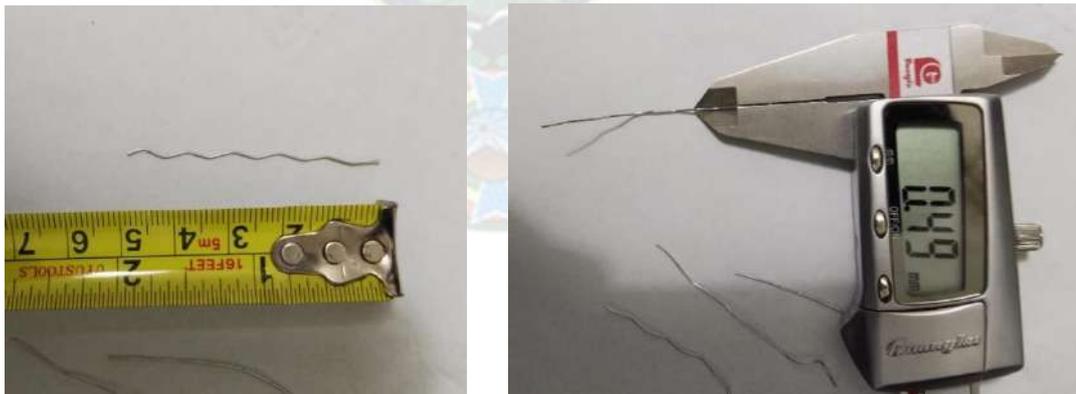


Figura 10. A la izquierda, longitud y textura de una fibra; A la derecha, Diámetro real de la fibra, (Fuente: Elaboración Propia).



Se realizó el ensayo de Peso específico de las fibras ya elaboradas (ver. Anexos ensayos adicionales) para lo cual nos basamos en la normativa: ASTM C-127, ensayo

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

que analiza al peso específico del agregado grueso y su relación con el principio de Arquímedes. Se determinó el dato:

$$G_{sss} = 1.146 \text{ gr/cm}^2$$

Este resultado nos permite calcular la cantidad en volumen.

La cantidad de las fibras de acero vertidas al hormigón para 1 m³ se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$C.f. = \% \text{ Fibras} \times P. \text{Cemento}$$

Donde:

C.f.: Cantidad de fibras de acero (Kg).

%Fibras: Porcentaje adoptado variable (%).

P. Cemento: Masa del cemento para 1 m³ H° (Kg/m³).

Los porcentajes de fibras de adoptados son: 3%, 7%, 11%, 16% y 20.5%

3 HORMIGÓN

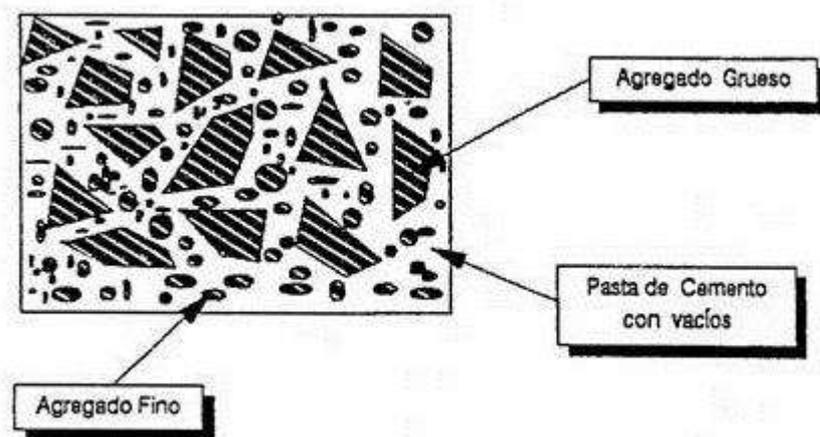
3.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN.

El hormigón es una mezcla homogénea de pasta y materiales inertes que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia de trabajo a la edad de 28 días.

La pasta es una combinación de cemento y agua, en determinadas proporciones, en la que se produce una reacción química que libera calor en el proceso de mezclado e incorpora aire naturalmente, esta pasta constituye el material **ligante** (aglutinante o cohesivo).

El hormigón es uno de los elementos estructurales más usado en nuestro medio y en el mundo entero, asociado con el acero es capaz de soportar solicitaciones grandes a la compresión, tracción y flexión.

Figura 11. Composición del hormigón (Fuente: Elaboración Propia).



Los materiales pétreos se agregan a la pasta por una cuestión de economía al tener similar resistencia a la del material endurecido, procurando que su volumen sea el mayor posible y su conformación lo suficientemente variada como para que no queden huecos sin llenar por la pasta y que ésta los recubra perfectamente.

El proceso de endurecimiento del hormigón comienza luego del mezclado en el cual se produce el inicio de la reacción química al ponerse el cemento en contacto con el agua. Esta reacción química persiste mientras haya existencia de agua o humedad en la mezcla y necesita para producirse un mínimo de un 20% de agua en relación a la cantidad de cemento empleada, medida en peso, aunque esta proporción dé lugar a un producto muy poco moldeable, necesitando de agua adicional, esta adición de agua no es necesaria para que se produzca la reacción química, pero sí lo es para asegurarnos la **trabajabilidad** (facilidad de ser moldeado, colado y acabado), de la mezcla fresca, lo que conduce a un eficaz llenado de los moldes sin que se produzcan huecos, pero tiene el doble inconveniente de que reduce proporcionalmente la resistencia final del hormigón y que su evaporación por secado da origen a la aparición de conductos capilares (fisuras y grietas por evaporación de agua) que van desde la masa del hormigón hasta su superficie y que, finalmente, quedan vacíos a través de estos conductos donde puede colarse la humedad y producir la corrosión de las armaduras, disminuyendo la durabilidad del material.

Para lograr la **homogeneidad** (relación de semejanza y uniformidad), del material es necesario contar con una dosificación adecuada, tanto de los materiales ligantes (cemento) como de los inertes (arena y grava), con una suficiente cantidad de agua como para que la mezcla resulte trabajable y sin un exceso que le haga perder demasiada resistencia. El tiempo de mezclado debe ser suficiente (90 segundos aproximadamente) porque un exceso provocaría la **segregación** (separación de los componentes del hormigón), de los materiales y un defecto podría provocar que la pasta no recubriera los áridos en su totalidad.

3.1.1 Hormigón fresco.

Al tomar contacto con el agua y durante su proceso de mezclado, su estado es líquido; luego del tiempo necesario para obtener una buena mezcla (90 segundos), toma una consistencia cremosa. Es importante la trabajabilidad del hormigón fresco, su transporte hasta los lugares de moldeo sin producir segregación.

3.1.2 Hormigón endurecido.

Después de su vertido, el hormigón pasa de su estado de fresco a estado sólido, perdiendo paulatinamente humedad y adquiriendo dureza. A medida que el hormigón experimenta este proceso de endurecimiento progresivo, se transforma de material plástico a sólido, mediante un proceso físico - químico complejo de larga duración.

En la etapa del material ya endurecido, las propiedades del hormigón evolucionan con el tiempo, dependiendo de las características y proporciones de los materiales que lo componen y de las condiciones ambientales a que está expuesto.

Estas Propiedades del Hormigón Endurecido son:

3.1.2.1 Densidad.

Es la cantidad de peso por unidad de volumen (densidad=peso/volumen). Variará con la clase de áridos y con la forma de colocación en obra.

- La densidad de los **Hormigones livianos** oscilará entre los 200 y los 1500 kg/m³.
- Las densidades de los **Hormigones normales** oscilan en:
 - Apisonados: 2000 a 2200 kg/m³.
 - Vibrados: 2300 a 2400 kg/m³.
 - Centrifugados: 2400 a 2500 kg/m³.
 - Proyectados 2500 a 2600 kg/m³.
- En los **Hormigones Pesados** las densidades pueden alcanzar los 4000 kg/m³, Este tipo de Hormigón se utiliza para construir pantallas de protección contra las radiaciones.

3.1.2.2 Resistencia mecánica.

Es la capacidad que tiene el Hormigón para soportar las cargas que se le aplican sin agrietarse o romperse, hay diferencia según el tipo de esfuerzos al que se lo somete, su resistencia a la compresión es unas diez veces mayor que su resistencia a la tracción.

3.1.2.3 Resistencia térmica.

Es la capacidad de soportar diferencias estados de temperatura.

- Bajas temperaturas. Hielo/deshielo.
- Altas temperaturas. Mayores de 50 °C o más (según el tipo de hormigón).

3.1.2.4 Durabilidad.

Es la capacidad del hormigón de resistir el paso del tiempo sin perder sus otras propiedades, la durabilidad del hormigón depende de los agentes que pueden agredir al material, ya sean: mecánicos, físicos o químicos.

Los que mayor daño producen al hormigón son: el agua, las sales que arrastra, el calor o variaciones bruscas de temperatura, agentes contaminantes.

Gráfico 3. Factores que pueden afectar al hormigón endurecido, (Fuente: A.C.I.).

Mecánicos.	Impactos o choques, vibraciones, sobrecargas.
Físicos (ciclos de hielo y deshielo).	Grandes diferencias térmicas, fuego.
Químicos.	Terrenos agresivos, contaminación atmosférica, filtración de aguas.
Biológicos.	Vegetación, microorganismos.

3.1.2.5 Porosidad.

La porosidad se considera como la proporción de huecos respecto de la masa total, Influye en la resistencia, la densidad, y la permeabilidad del Hormigón.

3.1.2.6 Permeabilidad.

Es la capacidad de un material de hacer atravesar líquidos o gases (fluidos).

La impermeabilidad del hormigón es importante para su resistencia a los ataques químicos.

Esta impermeabilidad depende en parte del exceso de agua en el amasado y del posterior curado del Hormigón.

Para que un hormigón tenga mayor impermeabilidad, suelen emplearse aditivos.

3.1.3 Curado de especímenes de hormigón⁵.

El curado se realiza para evitar la evaporación de agua sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de las muestras, pero se evitará el contacto con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas después de confeccionar la muestra.

Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración.

El ambiente de curado o cámara húmeda proporcionara a los especímenes sumergidos en agua una humedad de 50% al 100% y una temperatura de $23^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{ C}$ ($73.4^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{ F}$) desde el momento del desmoldeo hasta el momento del ensayo.

También se puede sumergir en agua atemperada de 23° a 27° C .

3.2 MÉTODOS PARA ELABORAR MEZCLAS DE HORMIGÓN.

Existen varios métodos para elaborar mezclas de hormigón de las cuales citaremos las siguientes:

3.2.1 Método A. C. I. (American Concrete Institute).

El comité 318 de la ACI, define este método como la práctica estándar para seleccionar proporciones en condiciones normales, seleccionar su pesaje y masa de los ingredientes que componen el Hormigón.

El comité de la 211.1 de 1991, da el método de dosificar hormigones, posteriormente las diferentes tablas se fueron corrigiendo por las exigencias de las solicitudes que

⁵ COMITE 308, Practica estándar para el curado del concreto, A.C.I. pág. 7-8, EUA

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

requerían algunos tipos de hormigones, es así que el año 2002 es revisado y aprobado por el mismo comité.

Utilizando hasta el día de hoy para mezclas de hormigón son las que señalan:

3.2.1.1 Relación Agua-Material cementante según las condiciones de exposición a la intemperie.

Tabla 11. Relación Agua-Material cementante máxima y resistencia de diseño mínima para varias condiciones de exposición, (Fuente: A.C.I.).

Condición de exposición	Relación agua-material cementante máxima por masa de concreto	Resistencia a compresión de diseño mínima f'_c , kg/cm ² (MPa) [lb/pulg ²]
Concreto protegido de la exposición a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas	Elija la relación agua-material cementante basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado (terminación superficial)	Elija la resistencia basándose en los requisitos estructurales
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando sea expuesto al agua	0.50	280 (28) [4000]
Concreto expuesto a congelación-deshielo en la condición húmeda y a descongelantes	0.45	320 (31) [4500]
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobre, agua del mar o rociado de estas fuentes.	0.40	350 (35) [5000]

Adaptada del ACI 318 (2002).

3.2.1.2 Requisitos para el Hormigón expuesto a los sulfatos.

Tabla 12. Requisitos para el concreto expuesto a sulfatos del suelo y del agua, (Fuente: A.C.I.).

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) presentes en el suelo, porcentaje en masa **	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm**	Tipo de cemento ***	Relación agua-material cementante, máxima en masa	Resistencia a compresión de diseño mínima, f'_c kg/cm ² MPa [lb/pulg ²]
Insignificante	Menor que 0.10	Menor que 150	Ningún tipo especial necesario	—	—
Moderada†	0.10 a 0.20	150 a 1500	Cemento de moderada resistencia a sulfatos	0.50	280 (28) [4000]
Severa	0.20 a 2.00	1500 a 10,000	Cemento de alta resistencia a sulfatos	0.45	320 (31) [4500]
Muy severa	Mayor que 2.00	Mayor que 10,000	Cemento de alta resistencia a sulfatos	0.40	360 (35) [5000]

* Adaptada del ACI 318 (2002).

** Ensayados de acuerdo con el Método de Determinación de la Cantidad de Sulfatos Solubles en Sólido (Suelo y Rocas) y Muestras de Agua, Departamento de Recursos Hídricos Norteamericano (U.S. Bureau of Reclamation), Denver, 1977.

*** Cementos ASTM C 150 (AASHTO M 85) tipos II y V, ASTM C 1157 tipos MS y HS, ASTM C 595 (AASHTO M 240) tipos I(SM), IS, P, IP. Los cementos en Argentina son CPN (ARS), CPN (ARI, MRS), CPP (BCH, ARS, RRAA), ARS, CPC (ARS) (IRAM 50000 e IRAM 50001). Los cementos en Chile son el siderúrgico y el puzolánico (Nch 148). Los cementos en Colombia son los tipos 1, 1M, 2 y 5 (NTC 121, 321). En Costa Rica, los cementos son tipo II, V (NCR40). En el Ecuador los cementos son tipo II (INEN 151, 152). En México, cementos tipo CPO-RS, CPEG, CPC (NMX - C - 414 - ONNCCE). En Perú, cementos tipo II, MS y V (NTP 334.009, 334.082 y 334.090). En Venezuela, cementos tipo II, V, CPPZ1, CPPZ2, CPPZ3 (COVENIN 28 y 3134). Las puzolanas y escorias que, a través de ensayos o registros de servicio, se mostraron eficientes en la mejora de la resistencia a los sulfatos también se pueden usar.

† Agua del mar.

3.2.1.3 Relación Agua -Material cementante y su resistencia a compresión.

Tabla 13. Relación Agua-material cementante y la resistencia a compresión del concreto, (Fuente: A.C.I.).

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (25)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

3.2.1.4 Volumen del Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto.

Tabla 14. Volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto, (Fuente: A.C.I.).

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

*Los volúmenes se basan en agregados varillados (compactados) en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). Adaptada del ACI 211.1.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

3.2.1.5 Volumen del Agua y Contenido de Aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos del Agregado Grueso.

Tabla 15. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales del agregado, (Fuente: A.C.I.).

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.

** El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.

† Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presentó esta información en la forma de gráfico.

3.2.1.6 Asentamientos recomendados para varios Tipos de Construcción.

Tabla 16. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción, (Fuente: A.C.I.).

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

*Se puede aumentar 25 mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado.

Los plastificantes pueden proveer revenimientos mayores.

Adaptada del ACI 211.1.

Para la utilización de estas tablas se debe tener como requisitos mínimos ensayos de:

- Peso específico del cemento a emplear, ASTM C-188.
- Granulometría de los agregados, ASTM C-136.
- Pesos específicos y porcentaje de Absorción del agregado grueso, ASTM C-127.
- Pesos específicos y porcentaje de Absorción del agregado fino, ASTM C-128.
- Pesos Unitarios de los agregados, ASTM C-29, ASTM E-30.

3.2.2 Método FULLER.

Su aplicación está dirigida principalmente para diseños de hormigones en los cuales el tamaño máximo del árido se encuentra comprendido entre 30 y 70 mm, los áridos pueden ser de canto rodados o chancados, no existen secciones fuertemente armadas y la cantidad de cemento por metro cúbico es superior a los 300 Kg/m³.

Tabla 17. Asentamientos y valores limites en el Cono de Abrams, (Fuente: EHE, 2008)

Consistencia	Cono de Abrams (cm)	Tolerancia
Seca	0 - 2	+1
Plástica	3 - 5	±1
Blanda	6 - 9	±2
Fluida	10 - 15	±3
Líquida	16 - 20	±4

Se especifica la cantidad de agua requerida en Litros por metro cúbico de mezcla, para áridos con granulometría media, en función de la tipología del árido y su tamaño máximo.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 18. Cantidad de agua requerida en Litros, en función de la tipología y tamaño máximo de los áridos, (Fuente: Fernández Cánovas M. 2007).

Tamaño máximo del árido (mm)	Árido rodado	Árido machacado
12,7	199	214
19,1	184	199
25,4	178	193
38,1	166	181
50,8	157	172
76,2	148	163

Alteraciones por alguna alteración en las condiciones de la mezcla:

Tabla 19. Modificaciones sobre el contenido de agua, (Fuente: Fernández Cánovas M. 2007).

Cambio de condición	Modificaciones en la cantidad de agua
Por cada 25 mm de aumento o disminución del asiento	± 3 por 100
Arenas artificiales con cantos vivos	+ 6,8 litros
Hormigones poco trabajables	-3,6 litros

3.2.2.1 Combinación de agregados por FULLER.

Fuller estableció que la máxima compacidad de un árido requiere una Composición granulométrica dada por la siguiente ecuación que es una parábola (Parábola de Gessner).

Si la curva granulométrica de un árido propuesto coincide con la de Gessner, se dice que su gradación granular es óptima.

Ecuación 3. Parábola de Gessner.

$$y = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Donde:

Y : Es igual al tanto por ciento en volumen del árido que pasa por el tamiz de abertura “ d ” (%).

d : Abertura nominal del tamiz (mm).

D : Tamaño máximo del agregado (mm).

Posteriormente se calcula el llamado módulo de finura de cada fracción “ m_i ”, que es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie utilizada, dividido entre cien.

Ecuación 4. Ecuación que determina el módulo de finura.

$$m_i = \frac{\sum \% \text{retenidos acumulados (hasta malla 0,16mm)}}{100}$$

Este método se desarrolla basándose en los módulos granulométricos por ser más exacto que el sistema de tanteos, las cuales se refleja a continuación:

Ecuación 5. Módulos granulométricos relacionados al módulo de finura de la parábola Gessner.

$$t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100$$

$$m_{t2} = \frac{t_1 m_1 + t_2 m_2}{t_1 + t_2}$$

$$m_{t3} = \frac{t_1 m_1 + t_2 m_2 + t_3 m_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

$$m_{tn} = \frac{t_1 m_1 + t_2 m_2 + t_3 m_3 + \dots + t_n m_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

En el caso de emplear dos porciones de áridos para la resolución del sistema anterior, tenemos:

Ecuación 6. proporciones para 2 tipos de áridos.

$$t_1 = 100 \frac{m_2 - m_{t2}}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = 100 - t_1$$

Ecuación 7. Proporciones para 3 tipos de áridos.

$$t_1 = (t_1 + t_2) \frac{m_2 - m_{t2}}{m_2 - m_1}$$

$$t_2 = (t_1 + t_2) - t_1$$

$$t_3 = 100 - (t_1 + t_2)$$

Donde:

$$t_1 + t_2 = 100 \frac{m_3 - m_{t3}}{m_3 - m_{t2}}$$

t: Es igual al tanto por ciento en volumen del árido (%).

*m*₁: módulo de finura del árido número 1.

*m*₂: módulo de finura del árido número 2.

*m*₃: módulo de finura del árido número 3.

*T*_{1,2,3}: módulo de finura de la parábola.

3.2.3 Método SHILSTONE.

Este método de dosificación es empleado para carreteras comúnmente en lugares fríos, la dosificación de este hormigón requiere menos pasta de cemento, y evita fisuraciones por la dilatación y contracción que ocasiona el gradiente térmico; En este método se puede utilizar agregados de canto rodado o parcialmente chancado y permite la utilización de aditivos incorporadores de aire obligatorio en zonas frías y opcional en lugares cálidos como también adiciones.

Para este método normalmente se utiliza un agregado de tamaño máximo 1 ½”, un mínimo contenido de cemento para alcanzar la resistencia del diseño del proyecto.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

El factor de grosura, CF, se determinará por la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Factor de grosura para mezclas por el método Shilstone.

$$CF: \frac{\% \text{ Agg Combinado Retenido en } 3/8''}{\% \text{ Agg Combinado Ret. Tamiz No.8 (2.36mm)}}$$

Donde:

%Agg: Porcentaje de agregado grueso (%).

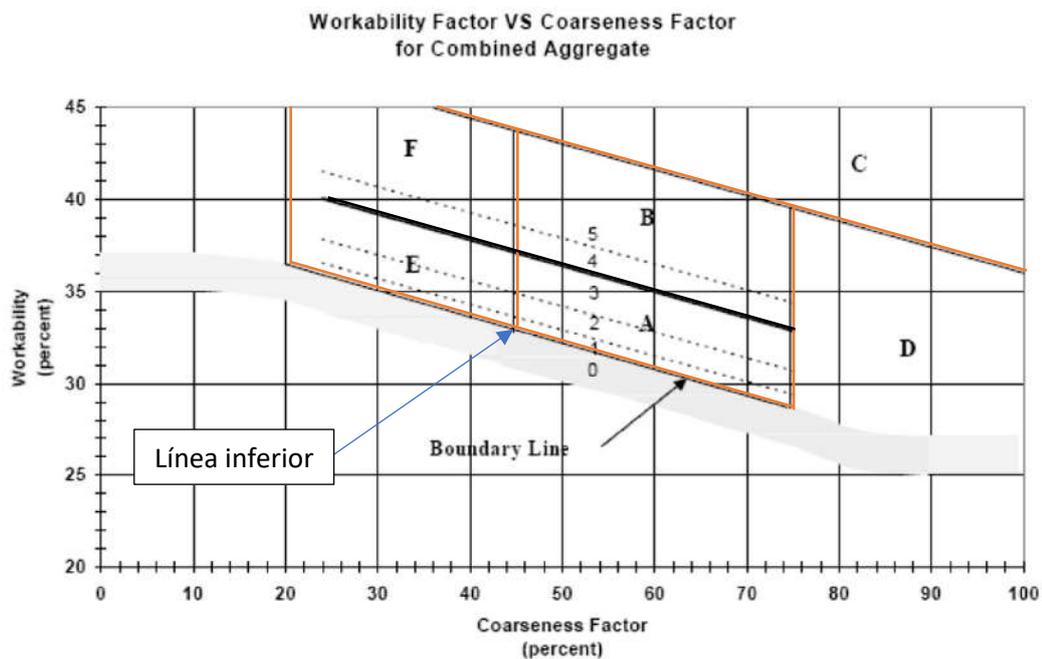
Y el Factor de trabajabilidad, WF es determinada por:

Ecuación 9. Factor de trabajabilidad.

$$\% \text{ Agg. Combinado pasa Tamiz No. 8. Incrementado por } 2.5\% \text{ por cada adición de } 94 \text{ lbs de cemento sobre } 564 \text{ lb/yd}^3$$

Con estos dos parámetros fundamentales para este método se recurre al siguiente gráfico:

Gráfico 4. Factor de trabajabilidad vs. Factor de grosura, (Fuente. IBCH).

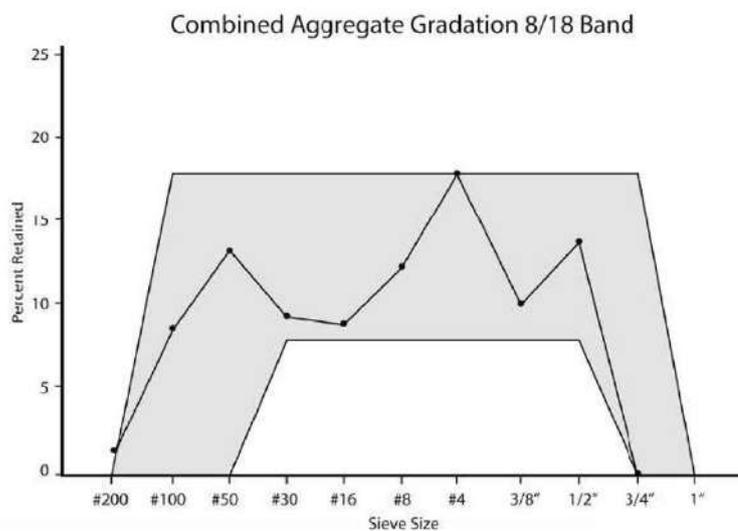


Desarrollando el gráfico, el método Shilstone recomienda:

- CF 60 y WF 35, para un TMA de 1" a 1 ½".
- CF de 52 WF debe estar entre 34 a 38.
- CF de 68 WF debe estar entre 32 a 36.
- La línea inferior da mezclas ásperas, y por debajo mezclas con poco mortero.
- Por encima de la línea C son mezclas arenosas finas y segregables.
- Mezclas con CF sobre 75 (D) mezclas discontinuas y poco trabajables.
- E y F igual A y B para TMA Menor a ½"

La gradación de la combinación del agregado se grafica con el retenido individual de la granulometría, estos resultados deben entrar dentro los límites que establece el siguiente gráfico:

Gráfico 5. Retenido acumulado vs. abertura de Tamiz, (Fuente: IBCH).



4 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN.

Los métodos de diseño de mezclas de hormigón, abarcan desde los analíticos experimentales y empíricos, hasta volumétricos, todos estos métodos han evolucionado y ha llevado a procedimientos acordes con las necesidades de los proyectos y se han desarrollado algunas guías ya normalizadas para darle cumplimiento a la calidad del hormigón que se requiere.

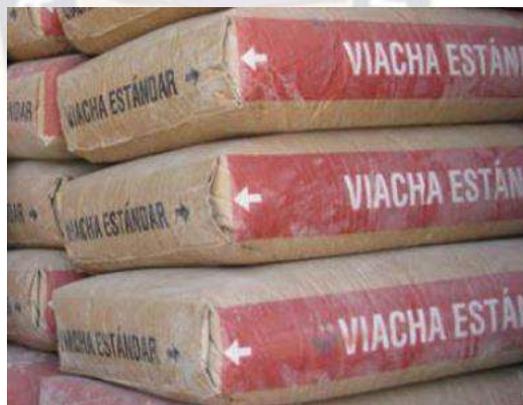
4.1 DISEÑO DE HORMIGÓN NORMAL POR EL MÉTODO A.C.I. 318 - A.C.I. 211.1-91.

Se resume la secuencia del diseño de mezclas de la siguiente manera:

4.1.1 Cemento utilizado.

El cemento utilizado para la mezcla de hormigón es Cemento Viacha “estándar” de tipo IP-30, contiene puzolana y es el más conocido en el territorio boliviano.

Figura 12. Cemento Viacha Estándar, (Fuente: Elaboración Propia).



4.1.2 Procedencia del agregado.

Los agregados utilizados para el trabajo de investigación, tanto la grava como la arena fueron muestreados en los acopios de la chancadora ubicada en la población de Peñas a 56.7 Km de la ciudad de La Paz.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Figura 13. Localidad de peñas, donde se observa los bancos de préstamo para el chancado de agregados, (Fuente: Elaboración Propia).



Estos materiales son de consistencia palpable áspera, libre de arcillas y de color gris oscuro, como se puede observar en las fotografías

Figura 14. A la izquierda arena y a la derecha grava chancada, (Fuente: Elaboración Propia).



A continuación, se detalla los resultados de los ensayos de granulometría y combinación de agregados por el método de Fuller.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

4.1.3 Método FULLER, para la corrección granulométrica.

4.1.3.1 Verificación de la granulometría de la grava.

Tabla 20. Granulometría de la grava, (Fuente: Elaboración Propia).

Tamiz Estándar Pulg.	Abertura (mm)	Ensayo 1 Peso retenido	Ensayo 2 Peso retenido	Promedio Peso Retenido (gr.)	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% PASA	Limites Especificados A.S.T.M. C-136 y C-33 % PASA
3	76,00	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	
2 1/2	64,00	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	
2	50,80	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	
1 1/2	38,10	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	
1	25,40	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	- 100
3/4	19,10	11,0	7,0	9,0	0,16	0,16	99,84	90 - 100
1/2	12,70	2273,0	1745,0	2009,0	35,51	35,67	64,33	-
3/8	9,51	2283,0	1785,0	2034,0	35,96	71,63	28,37	25 - 55
Nº 4	4,76	1693,0	1401,0	1547,0	27,35	98,97	1,03	0 - 10
Nº 8	2,38	46,0	42,0	44,0	0,78	99,75	0,25	0 - 5
Nº 16	1,19	—	—	0,0	0,00	99,75	0,25	
Nº 30	0,595	—	—	0,0	0,00	99,75	0,25	
Nº 50	0,297	—	—	0,0	0,00	99,75	0,25	
Nº 100	0,149	—	—	0,0	0,00	99,75	0,25	
Charola		13,0	14,0	14,0	0,25	100,00	0,00	

TOTAL : 5657,0

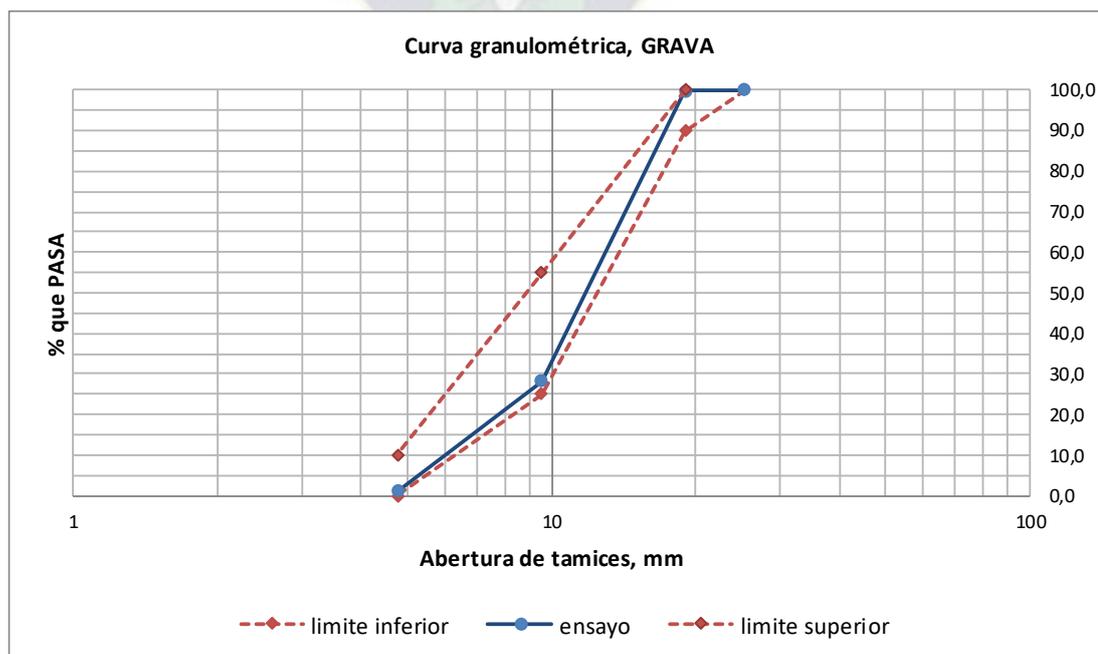
% de Gruesos : **98,97**

Modulo de Fineza : **6,71**

% de Finos : **1,03**

Tamaño Max. Agregado : **3/4"**

Tabla 21. Comportamiento grafico respecto a los límites, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

En la anterior tabla se detalla los resultados promedio de la granulometría de la grava (Ver Anexos).

En resumen, se determinó:

- % de gruesos.
- % de finos.
- Módulo de finura o fineza.
- Tamaño máximo del agregado, (TMA).

4.1.3.2 verificación de la granulometría de la arena.

Tabla 22. Granulometría de la arena, (Fuente: Elaboración Propia).

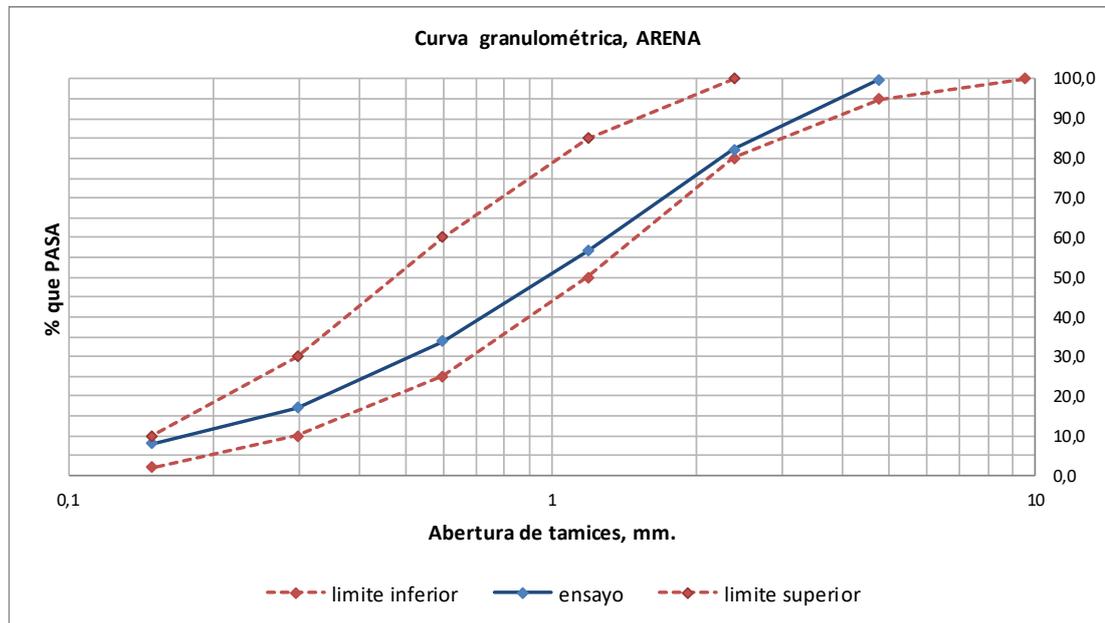
Tamiz Estándar Pulg.	Abertura (mm.)	Ensayo 1 Peso retenido	Ensayo 2 Peso retenido	Promedio Peso Retenido (gr.)	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% PASA	% PASA sobre la MUESTRA TOTAL	Límites Especificados A.S.T.M. C-136 y C-33 % PASA
Análisis de Tamices del Agregado Grueso									
Peso muestra total seca :									1017,2 gr.
3	76,00	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
2 1/2	64,00	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
2	50,80	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
1 1/2	38,10	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
1	25,40	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4	19,10	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2	12,70	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/8	9,51	—	—	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100
Nº 4	4,76	0,3	0,5	0,4	0,04	0,04	99,96	99,96	95 - 100
TOTAL :				0,4					
Análisis de Tamices del Agregado Fino									
Peso muestra total seca :									1017,2 gr.
Nº 4	4,760	0,3	0,5	0,4	0,04	0,04	99,96	99,96	95 - 100
Nº 8	2,380	178,2	180,6	179,4	17,64	17,68	82,32	82,32	80 - 100
Nº 16	1,190	287,6	233,1	260,4	25,60	43,27	56,73	56,73	50 - 85
Nº 30	0,595	233,7	233,1	233,4	22,95	66,22	33,78	33,78	25 - 60
Nº 50	0,297	167,4	170,5	169,0	16,62	82,83	17,17	17,17	10 - 30
Nº 100	0,149	92,2	93,5	92,9	9,13	91,97	8,03	8,03	2 - 10
Nº 200	0,075	43,7	45,8	44,8	4,40	96,37	3,63	3,63	0 - 2
Charola		12,6	61,1	36,9	3,63	95,60	4,40	4,40	
TOTAL :				1017,2					

% de Gruesos :
% de Finos :

0,04
99,96

Módulo de Fineza de la arena : **3,02**
módulo de Fineza del Agregado FINO : **3,02**

Tabla 23. Comportamiento gráfico respecto a los límites, (Fuente: Elaboración Propia).



En la anterior tabla se detalla los resultados promedios de la granulometría de la arena, (Ver Anexos).

Según análisis se determinó:

- % de gruesos.
- % de finos.
- Módulo de finura o fineza de la arena.
- Módulo de finura o fineza del agregado FINO.

4.1.3.3 *Combinación de agregados por el método FULLER.*

Este método emplea como dato de combinación los módulos de Finura, y realizando los análisis correspondientes nos da una combinación óptima de grava y arena para su uso en el trabajo de investigación.

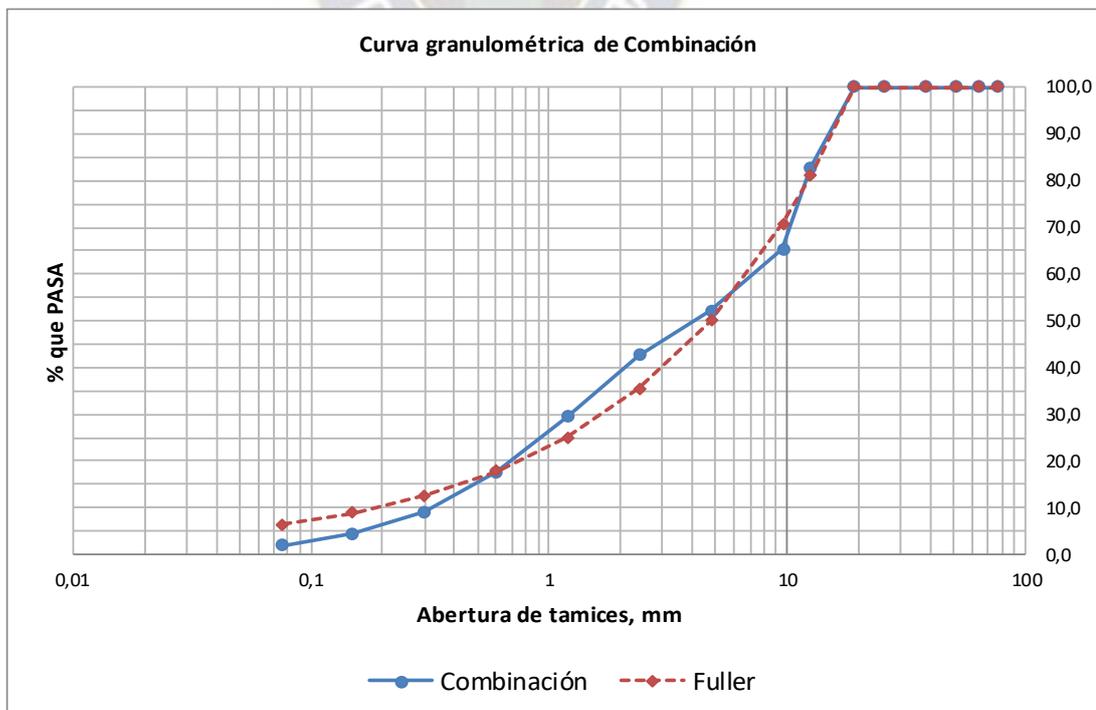
HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 24. Combinación por FULLER, (Fuente: Elaboración Propia).

TAMIZ STANDART		% PASA Agregado 1 (Grava)		% PASA Agregado 2 (Arena)		Curva de FULLER T.M.A. 3/4		Multiplica 0,48416 x ARENA	Multiplica 0,51584 x GRAVA	Comparación con la curva de Fuller (COMBINACIÓN)
		Pasa	ret. Acu	Pasa	ret. Acu					
3	76,200	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	48,42	51,58	100,00
2 1/2	63,500	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	48,42	51,58	100,00
2	50,800	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	48,42	51,58	100,00
1 1/2	38,100	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	48,42	51,58	100,00
1	25,400	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	48,42	51,58	100,00
3/4	19,050	99,84	0,16	100,00	0,00	100,00	0,00	48,34	51,58	99,92
1/2	12,500	64,33	35,67	100,00	0,00	81,00	19,00	31,15	51,58	82,73
3/8	9,530	28,37	71,63	100,00	0,00	70,73	29,27	13,74	51,58	65,32
Nº 4	4,760	1,03	98,97	99,96	0,04	49,99	50,01	0,50	51,56	52,06
Nº 8	2,380	0,25	99,75	82,32	17,68	35,35	64,65	0,12	42,46	42,58
Nº 16	1,190	0,25	99,75	56,73	43,27	24,99	75,01	0,12	29,26	29,38
Nº 30	0,595	0,25	99,75	33,78	66,22	17,67	82,33	0,12	17,42	17,55
Nº 50	0,297	0,25	99,75	17,17	82,83	12,49	87,51	0,12	8,86	8,98
Nº 100	0,149	0,25	99,75	8,03	91,97	8,84	91,16	0,12	4,14	4,26
Nº 200	0,075	0,00	100,00	3,63	96,37	6,27	93,73	0,00	1,87	1,87
% de GRUESOS :		44,39		95,69		50,01				
% de FINOS :		55,61		4,31		49,99		M1 =	6,70	
M. F. :		6,70		3,02		4,80		M2 =	3,02	
T. M. A. :		3/4"		Nº 4				M12 =	4,80	

t1 =	48,42	Agregado 1 (Grava)	=	48,42	%
t2 =	51,58	Agregado 2 (Arena)	=	51,58	%

Tabla 25. Comportamiento de la combinación respecto a la curva de Fuller, (Fuente: Elaboración Propia).



4.1.4 Determinación de los materiales para 1 M3 de Hormigón.

Para la siguiente dosificación se tomó en cuenta los siguientes datos:

Tabla 26. Datos recopilados de los ensayos de laboratorio realizados, (Fuente: Elaboración Propia).

Peso Espec. CEMENTO:		2,963	gr/cm3	Unidades
		ARENA	GRAVA	
Peso Específico (S.S.S.):		2,672	2,624	gr/cm3
Peso Unitario Suelto (PUS):		1650	1435	Kg/m3
Peso Unit. Compact. (PUC):		1867	1590	Kg/m3
Absorción:		1,52	0,95	%
Humedad:		1,49	0,37	%
granulometría	Gruesos:	0,04	98,97	%
	Finos:	99,96	1,03	%
	T.M.A. :	Nº 4	3/4"	Pulg.
	M.F. :	3,02	6,71	
"Fck" de Diseño :		210		Kg/cm2
Asentamiento "S" :		5		cm.

4.1.4.1 Determinación de la resistencia media "Fcm".

Para el proyecto se consideró una resistencia característica de **Fck= 210 kg/cm2**, que es un valor estándar para uso en proyectos.

Tabla 27. Resistencia media Fcm, Cuando no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar, (Fuente: A.C.I.).

Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
→ 210 a 350	→ $f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

Adaptada del ACI 318.

La flecha indica que se adicionara: 84 Kg/cm2, realizando ecuaciones tenemos:

$$Fcm = 210 + 84 = 294 \text{ Kg/cm}^2$$

4.1.4.2 Cálculo de la relación agua – material cementante (A/C).

Para determinar este valor y teniendo como dato $F_{cm} = 294 \text{ kg/cm}^2$, y haciendo la interpolación con los datos de la anterior tabla, tenemos:

$$\begin{pmatrix} 300 \\ 294 \\ 250 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.55 \\ R \\ 0.62 \end{pmatrix}$$

Tomando en cuenta que no se requiere incluir aire, es por lo que se decidió elegir la primera columna, que nos da como resultado:

$$R = 0.56$$

4.1.4.3 Determinación de la cantidad de agua.

De la Tabla N° 12, con los datos del Asentamiento “S” y TMA se determinan la cantidad de agua y el % de aire atrapado.

$$\text{Agua} = 190 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Aire atrapado} = 2 \text{ \%/m}^3$$

4.1.4.4 Cálculo de la cantidad de cemento (C).

Cantidad de cemento calculado:

$$C = 190 \div 0.56 = 341 \text{ kg/m}^3$$

4.1.4.5 Cálculo de la cantidad de grava (Gr).

De la tabla N° 13, Se calcula la cantidad de árido grueso con Módulo de fineza (M.F.) de la arena y el tamaño máximo (TMA) de la grava:

$$\begin{pmatrix} 0.62 \\ Y \\ 0.60 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.80 \\ 3.02 \\ 3.00 \end{pmatrix}$$

Realizando la interpolación nos da:

$$Y = 0.598$$

Determinamos la cantidad de grava, multiplicando “Y” y P.U.C. de la grava.

$$Gr = 0.598 \times 1590 = 951 \text{ kg/m}^3$$

4.1.4.6 determinación de la cantidad de arena (Ar) por el método de los Volúmenes absolutos.

Determinadas las cantidades de cemento, agua, grava y aire atrapado para un metro cubico de hormigón en peso, se procedemos a calcular las cantidades convirtiéndolo en volumen al metro cubico de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Ar = \left(1\text{m}^3 - \left(\frac{C}{Pe(C)} + \frac{Gr}{Pe(Gr)} + \frac{Ag}{Pe(Ag)} + \frac{\%Aire}{100} \right) \right) \times Pe(Ar)$$

Donde:

Ar.: Arena (Kg/m3).

C.: Masa del cemento (Kg).

Pe(C): Peso específico del Cemento (Kg/m3).

Gr.: Masa de la grava (Kg).

Pe(Gr): Peso específico de la grava (Kg/m3).

Ag.: Masa del agua (Kg).

Pe(Ag): Peso específico del agua (asumimos 1000 Kg/m3).

%Aire: aire atrapado (%).

Pe(Ar): Peso específico de la arena (Kg/m3).

Reemplazando los datos de las cantidades obtenidas y de los ensayos preliminares en la ecuación anterior, tenemos:

$$Ar = \left(1\text{m}^3 - \left(\frac{341}{2963} + \frac{951}{2624} + \frac{190}{1000} + \frac{2}{100} \right) \right) \times 2672$$

$$Ar = 835 \text{ kg/m}^3$$

4.1.4.7 Determinación de las cantidades de los agregados.

Resultados de los agregados por el método Fuller:

$$Total\ arido = 951 + 835 = 1786\ kg/m^3$$

Cantidades para 1 M3 de hormigón:

$$Grava = Gr = 1786\ kg/m^3 \times 48.42\ \% \div 100\% = 865\ kg/m^3$$

$$Arena = Ar = 1786\ kg/m^3 \times 51.58\ \% \div 100\% = 921\ kg/m^3$$

4.1.4.8 Corrección por humedad y Absorción.

Con los datos obtenidos de % de Humedad y % de Absorción de los áridos, se determina las nuevas cantidades:

$$Ar(corr.), Gr(corr.) = Ar, Gr \times \left(1 + \frac{\%Hum(Aridos)}{100}\right)$$

Donde:

$Ar(corr.), Gr(corr.)$: Cantidades de arena o grava según corresponda (Kg/m³).

Ar, Gr : Masa de la arena o grava según corresponda (Kg).

$\%Hum(\text{Áridos})$: Humedad natural de los áridos (%)

$$Ar(corr.) = 921 \times \left(1 + \frac{1.49}{100}\right) ; Gr(corr.) = 865 \times \left(1 + \frac{0.37}{100}\right)$$

$$Grava\ (corr.) = 868\ kg/m^3$$

$$Arena\ (corr.) = 935\ kg/m^3$$

Determinación de la cantidad de agua:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

$$Agua(efectiva) = Agua - \left(\left(\frac{\%Hum(Ar) - \%Abs(Ar)}{100} \right) \times Ar \right) - \left(\left(\frac{\%Hum(Gr) - \%Abs(Gr)}{100} \right) \times Gr \right)$$

Donde:

Agua(efectiva): Cantidades de agua efectiva para la mezcla (litros/m³).

Agua: Agua inicial (Litros).

%Hum(Ar) y *%Abs(Ar)*: Humedad natural y absorción de la arena (%).

%Hum(Gr) y *%Abs(Gr)*: Humedad natural y absorción de la grava (%).

Ar: Arena (kg).

Gr: Grava (Kg).

$$Agua(efectiva) = 190 - \left(\left(\frac{1.49 - 1.52}{100} \right) \times 835 \right) - \left(\left(\frac{0.37 - 0.95}{100} \right) \times 951 \right)$$

$$Agua(efectiva) = 195 \text{ l/m}^3$$

Reemplazando en la ecuación los datos obtenidos tenemos las cantidades reales corregidas como muestra el siguiente cuadro.

En la siguiente tabla se muestra las cantidades finales para 1 M³ de Hormigón.

Tabla 28. Cantidades obtenidas y corregidas por humedad, absorción y granulometría, para realizar la MEZCLA DE PRUEBA, (Fuente: Elaboración Propia).

Para : 1 M ³ de H° condiciones SSS	Para : 14 Lts.
Cemento = 341 Kg.	= 4,774 Kg.
Arena = 935 Kg.	= 13,089 Kg.
Grava = 868 Kg.	= 12,152 Kg.
Agua = 195 Lts.	= 2,734 Lts.

Σ = 2339 Kg.

2 Cilindros normalizados de Prueba.

Se preparo una mezcla de prueba para determinar la consistencia (Slump) del hormigón.

4.2 CONTROL DEL HORMIGÓN FRESCO.

4.2.1 Asentamiento del Hormigón mediante el cono de Abrams, ASTM C-143.

En este ensayo dio un resultado de:

$$S = 5.5 \text{ cm (Hormigón patrón)}$$

4.2.2 Peso Unitario del Hormigón fresco, ASTM C-138.

Se basa en los datos de laboratorio obtenido bajo la suposición de que se mantiene constante las coladas con componentes similares.

$$Pe H^{\circ} fresco = \frac{M}{V}$$

Donde:

Pe H° fresco: Peso unitario teórico del hormigón (Kg/m³).

M: Masa total de la mezcla (Kg).

V: Volumen total absoluto del recipiente (m³).

Tabla 29. Resultados del ensayo del Peso unitario, (Fuente: Elaboración Propia).

Peso H° + Recip. :	11261	gr.
Peso Recip. :	4454	gr.
Vol. Del Recip. :	2853	cm ³

Reemplazando valores de la mezcla de prueba tenemos:

$$Pe H^{\circ} fresco = \frac{11261 - 4454}{2853}$$

$$Pe H^{\circ} fresco = 2386 \text{ Kg/m}^3$$

4.2.3 Rendimiento, ASTM C-138.

El rendimiento del hormigón se define como la cantidad de hormigón en estado fresco que se obtiene a partir de una dosificación conocida de materiales. El rendimiento en M³ de la mezcla fresca de hormigón en estado plástico de una colada se determina dividiendo la suma total de los pesos individuales de los materiales que lo componen en Kg. por el Peso Unitario promedio del hormigón en Kg/m³.

Datos obtenidos del laboratorio:

$$Asentamiento S = 5.5 \text{ cm}$$

$$Agua utilizada = 2.534 \text{ l}$$

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

$$\text{Agua retenida} = 0.200 \text{ l}$$

Como no se utilizó (0.200 l) el total del agua calculada por efecto del asentamiento obtenido (5.5 cm), se procede a realizar las correcciones necesarias.

$$R = \frac{\sum M}{Pe H^{\circ} fresco}$$

Donde:

R : Rendimiento (m³).

$\sum M$: sumatoria de Masa total de todos los materiales de la mezcla de prueba (Kg).

$Pe H^{\circ} fresco$: Peso unitario o densidad aparente del hormigón fresco (Kg/m³).

Reemplazando valores de la mezcla de prueba tenemos:

$$R = \frac{4.774 + 13.089 + 12.152 + 2.534}{2386}$$

$$R = 0.01364220 \text{ m}^3$$

Con el dato del Rendimiento, hallamos las nuevas cantidades de materiales para 1 M³.

Tabla 30. Cantidades corregidas para 1 m³ de hormigón patrón, para el diseño de mezclas, (Fuente: Elaboración Propia).

Cantidades corregidas para : 1 M ³ de		Para :	108 Lts.
Cemento	= 350 Kg.	=	37,79 Kg.
Arena	= 959 Kg.	=	103,62 Kg.
Grava	= 891 Kg.	=	96,20 Kg.
Agua	= 186 Lts.	=	20,06 Lts.

En la anterior tabla, incluye la cantidad necesaria (108 l) para el vaciado de 8 probetas cilíndricas y 4 probetas prismáticas.

4.3 VACIADO Y MOLDEO DE PROBETAS DE HORMIGÓN, ASTM C-192.

El vaciado y moldeo de las probetas de hormigón, se basó de acuerdo a la norma ASTM C-192, en los predios del Laboratorio Técnico de Construcciones Civiles - LABOTECC de facultad de Tecnología.

- Para el Hormigón patrón, se vaciaron: 10 cilindros que corresponden a 2 probetas de prueba y 8 probetas de diseño, las cuales se ensayaron a 3, 7, 14 y 28 días de edad.
- Para el Hormigón normal con adiciones de fibras, se vaciaron: 22 Vigas que corresponden a 4 de ellas al hormigón normal y 18 vigas con adición de fibras de acero en porcentaje al peso del cemento de: 3%, 7%, 11%, 16% y 20.5%, estas se ensayaron a 7 y 28 días de edad.

Se obtuvieron los datos necesarios para determinar las fuerzas máximas aplicadas, para poder realizar los cálculos respectivos y obtener los esfuerzos de compresión y tensión de las muestras, (Ver Anexos).

Figura 15. Llenado de la primera capa del cilindro con hormigón fresco, (Fuente: Elaboración Propia).



Figura 16. Llenado y varillado de la capa final antes del enrasado, (Fuente: Elaboración Propia).



4.3.1 Moldeo de Vigas con adición de fibras de acero, ASTM C-192.

Se utilizaron Probetas prismáticas de Ancho = 15 cm, Alto = 15 cm y Largo de 50 cm.

Figura 17. Vigas elaboradas y listas para ser enrazadas, (Fuente: Elaboración Propia).



4.4 CURADO DE LAS MUESTRAS, ASTM C-192.

El curado de las muestras se realizó en una cámara a temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad superior a 50%, desde el momento del moldeo hasta el momento del endurecimiento en un lapso de 24 horas para cilindros y 48 horas para vigas.

Una vez endurecido, se procedió al desmoldeo de las muestras y sumergir en agua, desde ese instante hasta el momento de su ensayo.

Figura 18. Muestras ya elaboradas y curadas hasta su endurecimiento en cámara húmeda, (Fuente: Elaboración Propia).



4.5 CONTROL DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.

4.5.1 Peso unitario del hormigón endurecido.

El peso unitario del hormigón endurecido se determina de la siguiente manera:

- Obteniendo la masa de la probeta.
- Determinando el volumen de la probeta.

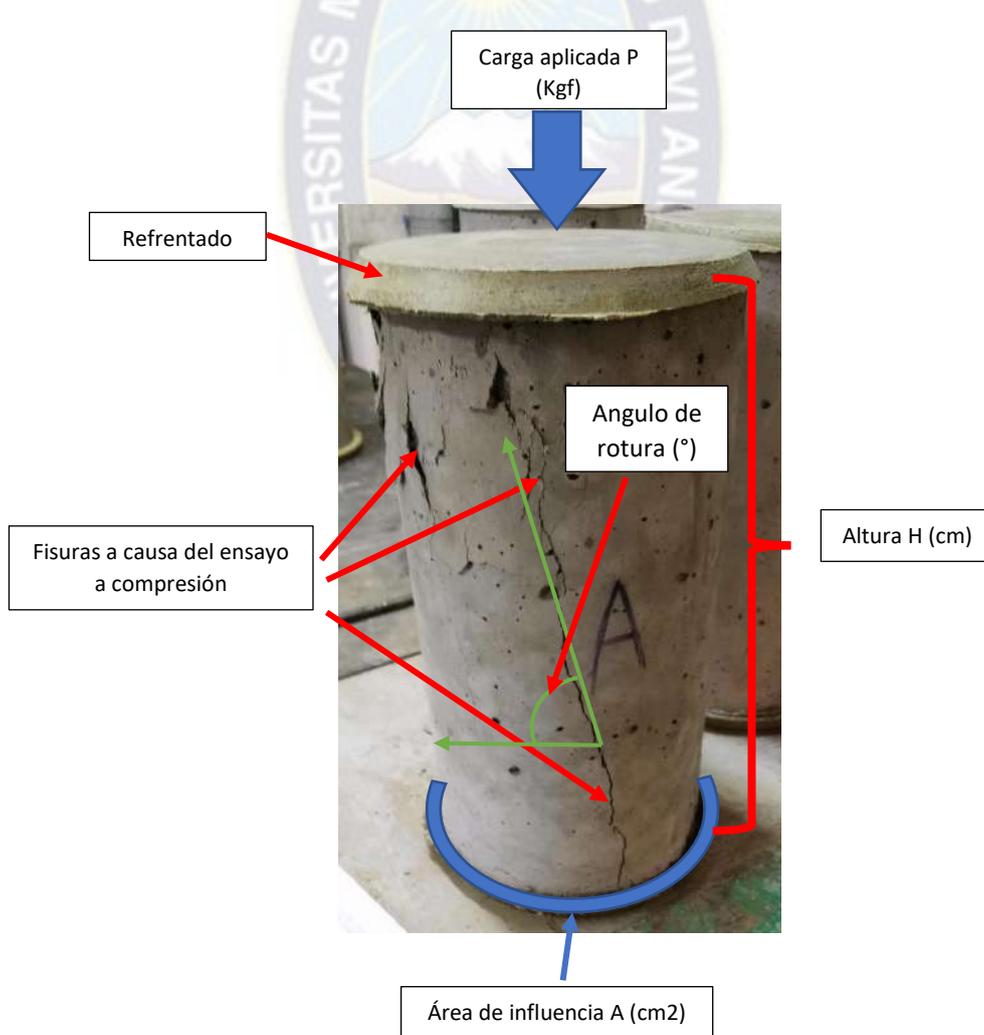
El volumen se determina igual a la altura multiplicado por el área, esta última relacionada por el promedio del diámetro o perímetro de mínimo tres mediciones.

Con estos datos dividimos la masa sobre el volumen para obtener el Peso unitario de la probeta.

4.5.2 Compresión de probetas cilíndricas, ASTM C-39.

Se detalla un esquema de un cilindro ensayado a compresión.

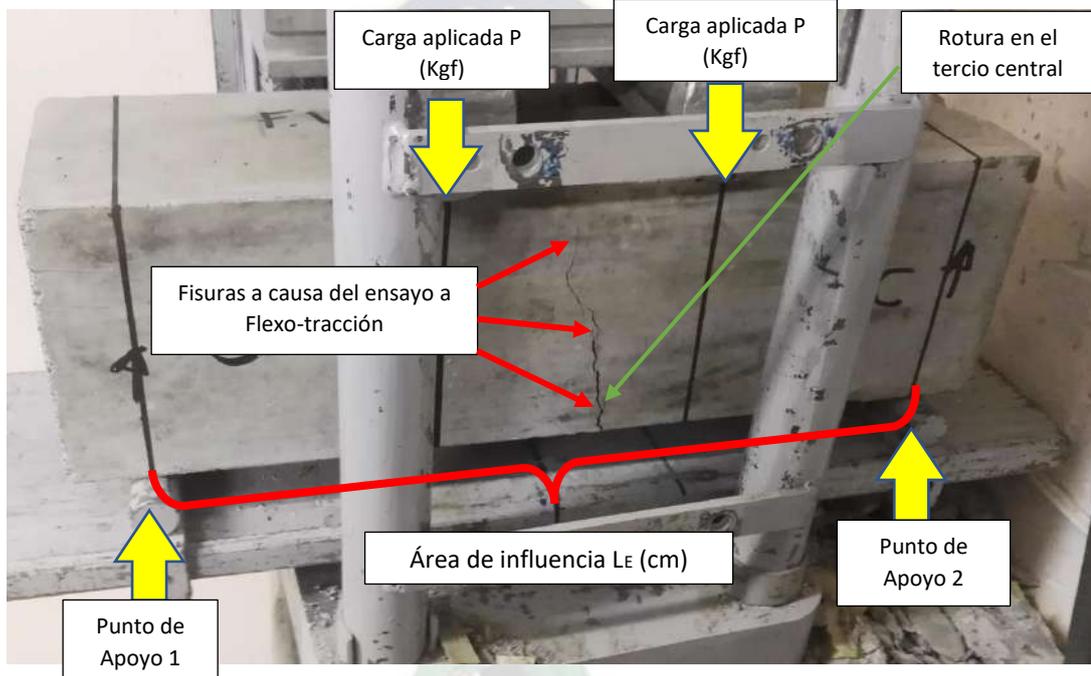
Figura 19. Cilindro ya ensayado a compresión con su respectivo refrentado, (Fuente: Elaboración Propia).



4.5.3 Flexo-tracción de vigas, ASTM C-78 y 293.

Se detalla un esquema de un cilindro ensayado a compresión.

Figura 20. Viga ya ensayada a flexo-tracción, (Fuente: Elaboración Propia).



5 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.

5.1 ANÁLISIS DE PROBETAS HORMIGONADAS PARA EL PROYECTO.

Una vez vaciado, desmoldado y curado según el tiempo requerido los especímenes de hormigón, se procedió a realizar las roturas a compresión de cilindros y flexo-tracción de vigas, como se detalla a continuación:

Tabla 31. Detalle de ensayo de roturas a COMPRESIÓN, (Fuente: Elaboración Propia).

Tipo de mezcla	Hormigón Patrón			
Edad de ensayo	3	7	14	28
Numero de Cilindros	2	2	2	4

Tabla 32. Detalle de ensayo de roturas a FLEXO-TRACCIÓN, (Fuente: Elaboración Propia).

Tipo de mezcla	Hormigón Patrón		Hormigón con adición del 3% de fibras de acero		Hormigón con adición del 7% de fibras de acero		Hormigón con adición del 11% de fibras de acero		Hormigón con adición del 16% de fibras de acero		Hormigón con adición del 20,5% de fibras de acero	
Edad de ensayos	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Numero de Vigas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	2

5.2 ANÁLISIS DE CILINDROS ENSAYADOS A COMPRESIÓN CON UNA MEZCLA PATRÓN.

La tabla a continuación detalla: la probeta, la edad de rotura, el peso específico y la resistencia a compresión individual y promedio de cada muestra.

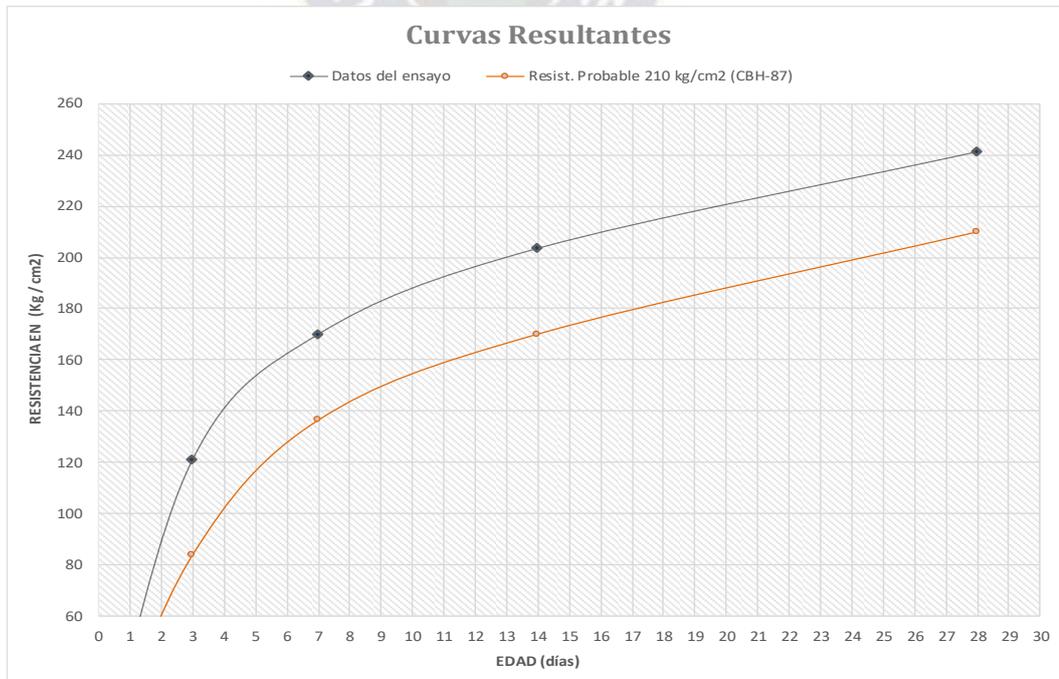
HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 33. Detalle de rotura de cilindros a compresión, (Fuente: Elaboración propia).

CILINDROS A COMPRESIÓN					
Nº	Muestra	Edad en Días	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	Peso Unitario (gr/cm ³)
1	A	3	125,9	121,3	2,373
2	B	3	116,7		2,369
3	C	7	172,4	170,1	2,363
4	D	7	167,8		2,375
5	E	14	219,8	203,7	2,376
6	F	14	187,6		2,383
7	G	28	247,5	241,4	2,458
8	H	28	235,4		2,474
MEZCLA DE PRUEBA					
9	prueba 1	28	227,3	232,4	2,401
10	prueba 2	28	237,5		2,376

El comportamiento del hormigón patrón sin adición de fibras muestran resultados por encima del f_{ck} de 210 Kg/cm², y sus pesos específicos de cada probeta están en el rango de 2300 a 2400 Kg/m³ de hormigón normal.

Tabla 34. Curva comparativa del ensayo a compresión de cilindros, (Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

La resistencia probable viene de la normativa CBH-87, que indica en la tabla 3.4.b, para hormigones de endurecimiento normal respecto al Fck de diseño:

Tabla 35. Coeficiente de conversión de la resistencia a compresión respecto a probetas del mismo tipo a diferentes edades, (Fuente: CBH-87).

Clase de hormigón	Edad, en días				
	3	7	28	90	360
<i>Hormigones de endurecimiento normal</i>	<i>0,40</i>	<i>0,65</i>	<i>1,00</i>	<i>1,20</i>	<i>1,35</i>
<i>Hormigones de endurecimiento rápido</i>	<i>0,55</i>	<i>0,75</i>	<i>1,00</i>	<i>1,15</i>	<i>1,20</i>

Valga aclarar que esta tabla es solamente de carácter comparativo y no influye en nada en los resultados obtenidos de este trabajo de investigación.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

5.3 ANÁLISIS DE VIGAS ENSAYADAS A FLEXO-TRACCIÓN CON UNA MEZCLA PATRÓN Y CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO.

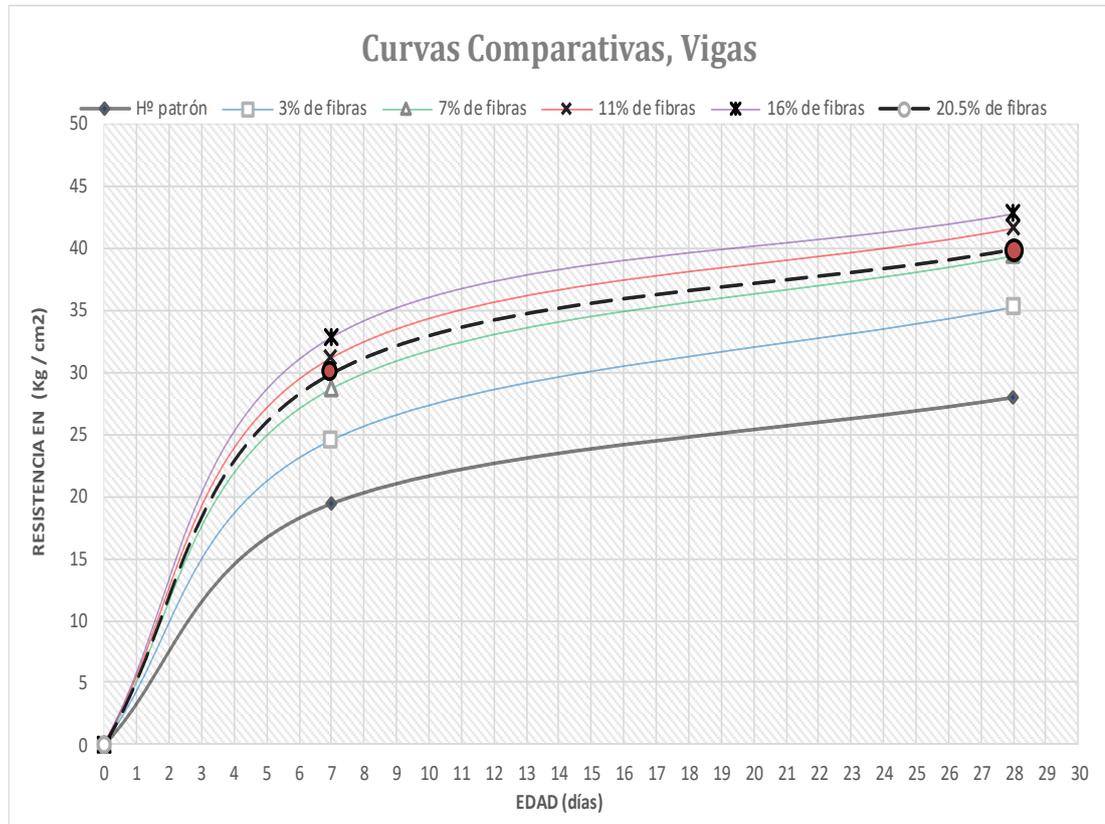
La tabla a continuación detalla: la probeta, la edad de rotura, el peso específico y la resistencia a flexo-tracción individual y promedio de cada muestra.

Tabla 36. Detalle de rotura de vigas de diseño a flexo-tracción, (Fuente: Elaboración propia).

VIGAS A FLEXO-TRACCIÓN					
Mezcla de Hormigón patrón.					
Nº	Muestra	Edad en Días	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	Peso Unitario (gr/cm ³)
1	A	7	19,7	19,4	2,377
2	B	7	19,1		2,400
3	C	28	27,9	28,0	2,355
4	D	28	28,0		2,375
Hormigón patrón con adición del 3% de fibras de acero.					
5	E	7	24,7	24,6	2,445
6	F	7	24,4		2,368
7	G	28	36,0	35,3	2,411
8	H	28	34,6		2,429
Hormigón patrón con adición del 7% de fibras de acero.					
9	I	7	28,1	28,7	2,358
10	J	7	29,2		2,420
11	K	28	40,3	39,4	2,408
12	L	28	38,5		2,383
Hormigón patrón con adición del 11% de fibras de acero.					
13	M	7	30,6	31,2	2,386
14	N	7	31,7		2,412
15	O	28	40,2	41,7	2,412
16	P	28	43,1		2,464
Hormigón patrón con adición del 16% de fibras de acero.					
17	Q	7	32,7	32,9	2,403
18	R	7	33,0		2,431
19	S	28	43,0	42,8	2,431
20	T	28	42,6		2,465
Hormigón patrón con adición del 20,5% de fibras de acero.					
21	U	28	38,3	39,9	2,403
22	V	28	41,4		2,431

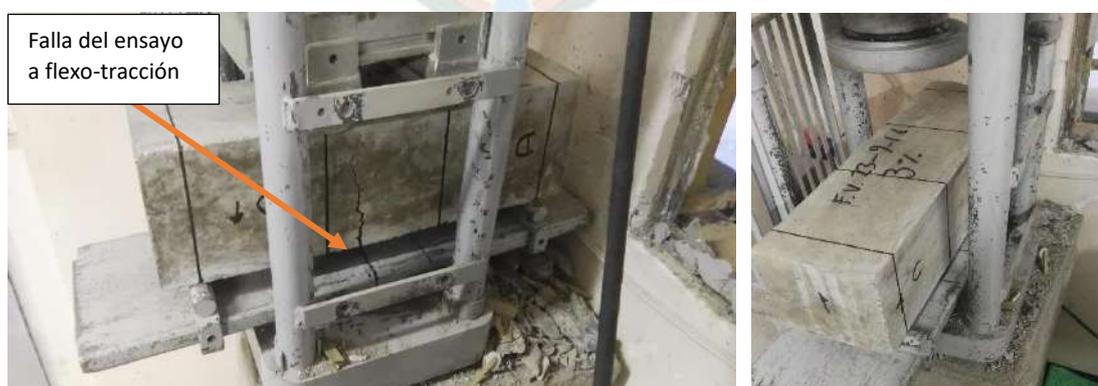
HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Gráfico 6. Comparación de las distintas mezclas ensayadas a flexo-tracción, (Fuente: Elaboración Propia).



Se observa que el hormigón con adición de fibras, incrementa su resistencia y adherencia, como se observa en las siguientes imágenes.

Figura 21. Ensayo a flexo-tracción de vigas al 3% de adición de fibras de acero, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

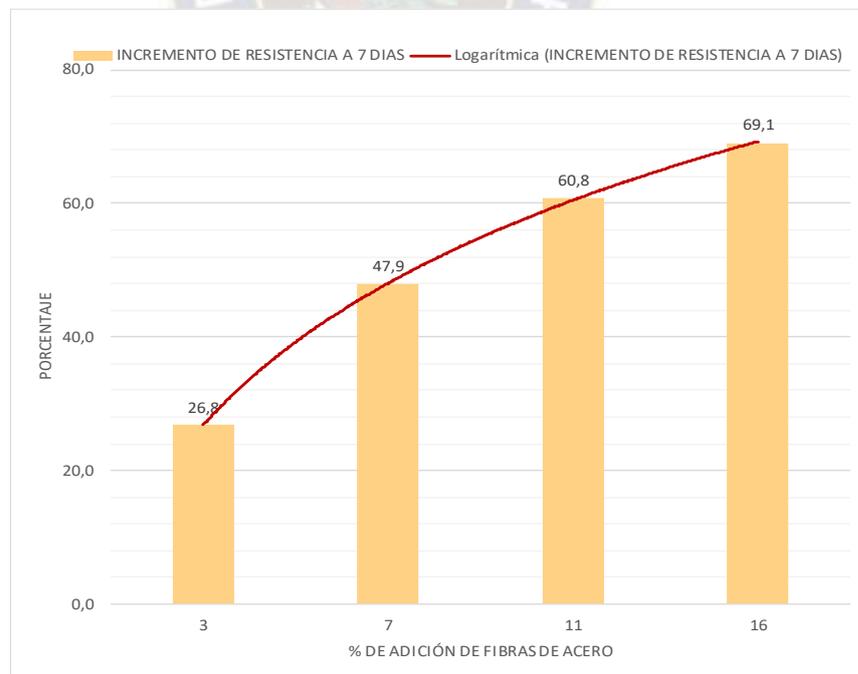
El incremento de porcentaje de adición de fibras de acero al 3%, 7%, 11% y 16%, a la resistencia a flexo-tracción aumenta paulatinamente. Pero al adicionar 20.5% de fibras de acero disminuye la resistencia progresivamente como se puede apreciar en el gráfico N° 6.

Haciendo el análisis del incremento de la resistencia a flexo-tracción, según la cantidad de adición en porcentaje de fibras de acero, consideramos que:

- Al añadir el 3% de fibras, El incremento de la resistencia a flexo-tracción a 7 días de edad aumenta a 26.8% con respecto al hormigón normal.
- Al añadir el 16% de fibras, El incremento de la resistencia a flexo-tracción ensayado a 7 días de edad, aumenta a 69.1% con respecto al hormigón normal.

Por lo cual se realiza el siguiente gráfico:

Gráfico 7. Incremento de resistencia respecto al hormigón patrón sin adiciones, ensayado a 7 días de edad, (Fuente: Elaboración Propia).

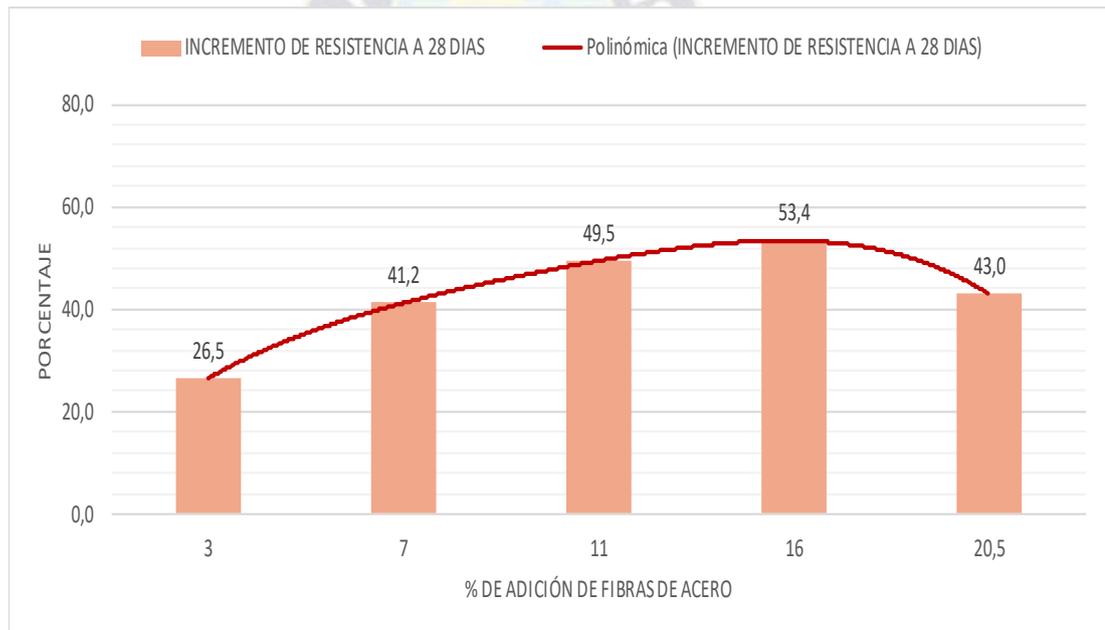


HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

- Al añadir el 3% de fibras, el incremento de la resistencia a 28 días de edad, aumenta a 26.5% con respecto al hormigón normal.
- Al añadir el 16% de fibras, el incremento de la resistencia a 28 días de edad, aumenta a 53.4% con respecto al hormigón normal.
- Al añadir el 20.5% de fibras, la resistencia a 28 días disminuye al 43% con respecto al hormigón normal.

Por lo cual se realiza el siguiente gráfico:

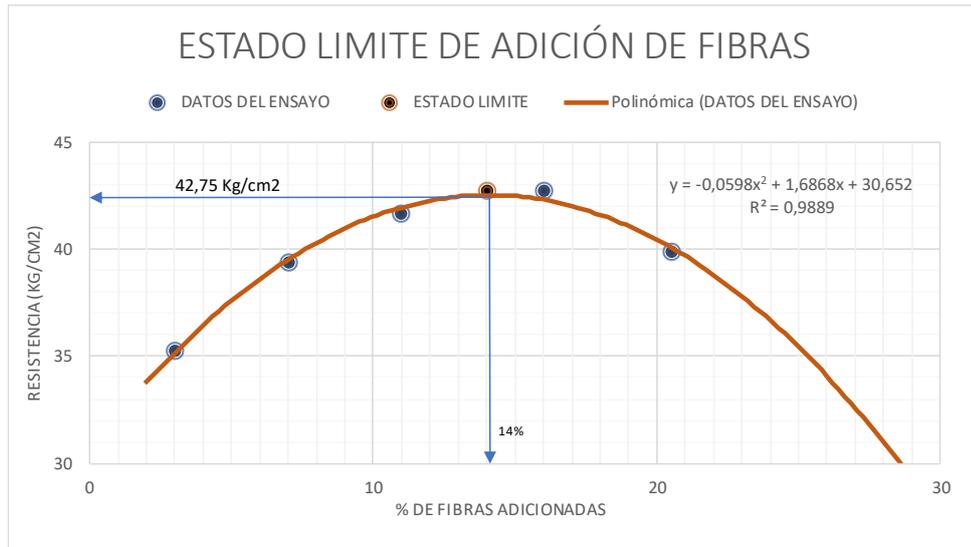
Gráfico 8. Incremento de resistencia respecto al hormigón patrón sin adiciones, ensayado a 28 días de edad, (Fuente: Elaboración Propia).



5.4 ESTADO LIMITE EN LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO.

Haciendo un análisis con los resultados obtenidos del ensayo de Vigas, gráficamente podemos determinar un estado límite de adición como se aprecia a continuación:

Tabla 37. Esquema del estado límite teórico de adición de fibras de acero, (Elaboración Propia).



Según el gráfico se puede llegar a una resistencia de 42,75 Kg/cm², al añadirle 14% de fibras de acero para tener una máxima resistencia.

5.5 PESO UNITARIO VERSUS PORCENTAJE DE FIBRAS DE ACERO.

Así mismo al comparar el peso unitario con el porcentaje de adición de fibras de acero, se puede observar que al añadir el 20.5 %, el hormigón es poco compactable y presenta vacíos en la mezcla de hormigón como se muestra en la imagen.

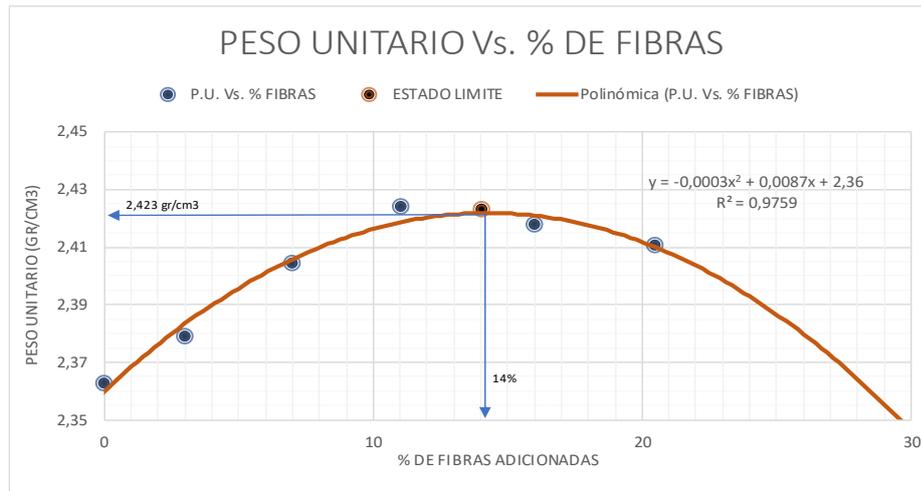
Figura 22. Vacíos en los especímenes debido a la saturación de fibras.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Este fenómeno se presenta por adición mayor de fibras que compone el hormigón y es dificultoso el compactado ya que las fibras acumuladas no permiten el paso del hormigón y crea vacíos, a continuación, se puede observar como disminuye el peso unitario al incremento de fibras.

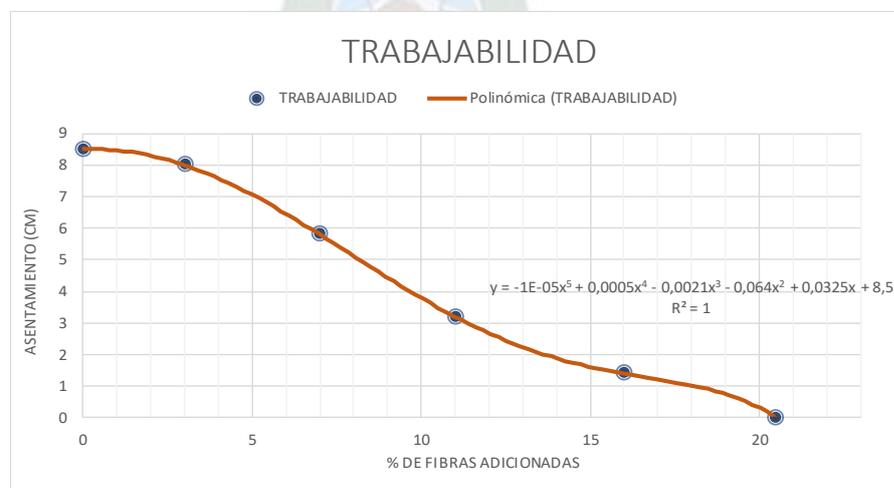
Gráfico 9. Peso unitario respecto al incremento de fibras de acero, (Fuente. Elaboración propia).



5.6 TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO.

La trabajabilidad es proporcional al asentamiento, ya que, al incrementar fibras de acero esta disminuye gradualmente hasta el punto de que el hormigón sea poco maleable y compactable, de acuerdo al siguiente gráfico.

Gráfico 10. Trabajabilidad del hormigón con fibras respecto al asentamiento, (Fuente: Elaboración propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

En resumen, el asentamiento va decreciendo como el peso unitario al incremento de fibras de acero, al tener el hormigón un exceso de fibras, estas crean vacíos y lo aligera.

Tabla 38. Relación del peso unitario y el asentamiento respecto al porcentaje de fibras de acero, (Fuente: Elaboración Propia).

HORMIGON FRESCO		
% de FIBRAS	Peso Unitario (gr/cm ³)	Asentamiento "S" (cm)
Sin Fibras	2,363	8,5
3,0%	2,379	8
7,0%	2,404	5,8
11,0%	2,424	3,2
16,0%	2,418	1,4
20,5%	2,410	0
Peso del recipiente (gr.)		4454
Volumen del recipiente (gr.)		2853

Figura 23. Vacíos creados por la acumulación de fibras en el hormigón al realizar el ensayo de asentamiento, (Fuente: Elaboración propia).



5.7 ANÁLISIS DE COSTOS.

Con los resultados obtenidos podemos realizar una comparación en costos aplicando teóricamente el hormigón con fibras de acero en la construcción, para lo cual tendremos:

Si la resistencia máxima se incrementa en un 14% a flexo-tracción, podemos calcular el incremento de la resistencia a compresión según el CBH-87 con la siguiente ecuación:

$$Fct = 0.21 \times \sqrt[3]{Fck^2}, \text{ despejando y haciendo operaciones tenemos: } Fck = \sqrt{\left(\frac{Fct}{0.21}\right)^3},$$

Remplazando valores para un hormigón por ejemplo $Fct = 4 \text{ MPa}$, tenemos:

$Fct = 4 \text{ MPa} \times 14\% \approx 4.56 \text{ MPa}$, y reemplazando en la ecuación anterior estos valores tenemos:

$$Fck_1 = 83.13 \text{ MPa}; \quad Fck_2 = 101.19 \text{ MPa}$$

Calculando el porcentaje de incremento por las fibras de acero a la resistencia a compresión tenemos: 21.7%.

Para un hormigón de 210 Kg/cm² y su incremento de resistencia calculada es de 255.6 Kg/cm², podemos aplicar estos valores y calcular la cuantía de acero de una viga por ejemplo de sección: 0.70 m X 0.35 m y luz de 12 m, y que soporta un momento máximo de 8000 Toneladas, para lo cual utilizaremos las siguientes ecuaciones:

$$As = K \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Mu}{\phi \times K \times d \times Fy}} \right); \quad K = \frac{0.85 \times Fck \times b \times d}{Fy}$$

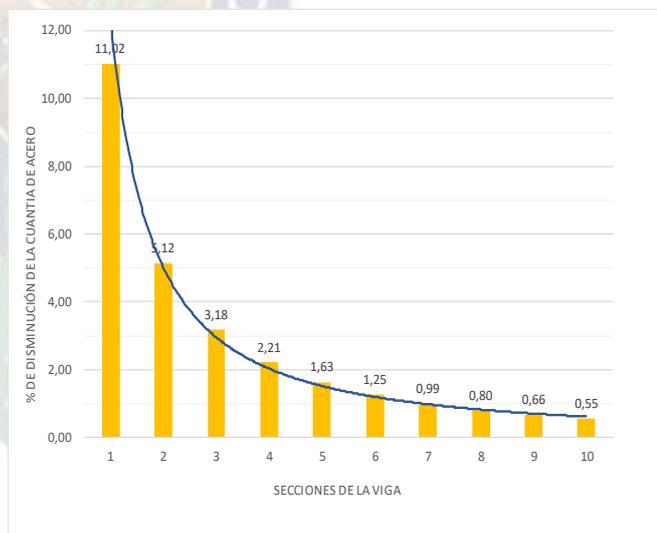
Reemplazando datos en las anteriores ecuaciones tenemos el siguiente esquema:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

DATOS		Calculo H° normal
Mu:	8000000 Kg	K= 101,15 As= 38,42 cm ²
Fck:	210 Kg/cm ²	
Fy:	4200 Kg/cm ²	
φ:	0,9	
b:	35 cm	
d=(H-r):	68 cm	
DATOS		Calculo H° con fibras
Mu:	8000000 Kg	K= 123,1 As= 36,55 cm ²
Fck:	255,57 Kg/cm ²	
Fy:	4200 Kg/cm ²	
φ:	0,9	
b:	35 cm	
d=(H-r):	68 cm	
Reducción del acero		%= 5,12

Se puede apreciar que la cuantía de acero del hormigón con fibras disminuye en un 5.12% respecto al hormigón normal, si la sección de la viga aumenta el porcentaje de acero reduce paulatinamente, como se aprecia a continuación:

Nº	b (cm)	d=(H-r) (cm)	% que disminuye
1	30	63	11,02
2	35	68	5,12
3	40	73	3,18
4	45	78	2,21
5	50	83	1,63
6	55	88	1,25
7	60	93	0,99
8	65	98	0,80
9	70	103	0,66
10	75	108	0,55



Realizando una comparación de costos tenemos el siguiente detalle:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

DATOS	Viga de hormigón normal	Viga de hormigón con adición de fibras de acero
Vol. de la viga	2,94 m3	2,94 m3
Precio H° por M3	469,10 Bs/m3	469,10 Bs/m3
Area de Acero	38,42 cm2	36,55 cm2
Cantidad de Barras calculadas	7 ϕ 25 mm	7 ϕ 25 mm
	4 ϕ 12 mm	2 ϕ 12 mm
precio por Barra	ϕ 25 400 Bs/barr.	ϕ 25 400 Bs/barr.
	ϕ 12 89 Bs/barr.	ϕ 12 89 Bs/barr.
Cantidad de fibras al 14% por m3	No aplica	408 Bs/m3
RESUMEN		
Precio del H°	1379,15 Bs	1379,15 Bs
Precio del Acero	3156,00 Bs	2978,00 Bs
Precio de las fibras	No aplica	1199,52 Bs
TOTAL:	4535,15 Bs	5556,67 Bs
Diferencia de precios en porcentaje:		22,5 %

Se puede apreciar que una estructura de hormigón con adición de fibras de acero es más costosa en un 22.5% respecto al hormigón normal.

Se comprobó que el costo de las fibras de acero eleva el presupuesto de la estructura en un 27.5%, ya que el precio por metro cubico casi se iguala al del hormigón.

6 CONCLUSIONES.

El presente trabajo de investigación puso en práctica los conocimientos educativos teórico-prácticos, adquiridos durante el proceso de formación en la Carrera de Construcciones Civiles de la Facultad de Tecnología dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés, con un enfoque meramente experimental.

- Con base en los análisis de resultados, se pueden observar los porcentajes de aumento que se tuvieron en los hormigones con adiciones respecto al hormigón normal, en donde se evidenció un aumento considerable en la resistencia del hormigón al ensayo a flexo-tracción con un porcentaje del 14% como máximo valor. Las fibras de acero generaron la propiedad de la ductilidad, lo que permite que al momento de fallar sufre una deformación, y no una falla explosiva.
- La resistencia a la tracción de las vigas de hormigón con adiciones al ensayarlas a 7 y 28 días, obtuvieron resultados favorables, frente a las vigas de hormigón normal, demostrando que las fibras reaccionan positivamente frente a las cargas vivas, generando una mejor cohesión con los agregados de la mezcla con un aumento en su resistencia del 53.2% para una adición del 14% de fibras de acero.
- De acuerdo a los resultados de los gráficos señalados se puede concluir que el porcentaje óptimo de fibras que se pueden añadir a la mezcla de hormigón es de 14%; la que proporciona una mejor resistencia a la flexo-tracción.
- La adición de fibras de acero al concreto generó una gran mejoría en la ductilidad, teniendo en cuenta que al momento de realizarse las roturas a flexo-tracción, presentaron deformaciones distintas durante la aplicación de la carga.
- Con base en los resultados obtenidos en este trabajo de investigación y sus notables mejoras que genera en el hormigón, se espera que el uso de las fibras de acero elaboradas sea utilizado en la construcción de obras civiles.

7 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 OBSERVACIONES.

Al realizar el presente trabajo de investigación y en el transcurso de este se pudo observar:

- Los resultados de ensayos realizados, son promedio de varias pruebas analizadas en laboratorio.
- La grava utilizada es de dureza alta y la arena es áspera y carece de finos que pasan el tamiz N° 200.
- Al momento de añadir las fibras en el hormigón fresco, este pierde trabajabilidad, disminuye el asentamiento y dificulta el moldeo y varillado.
- Mientras más fibras se añade, estas evitan la distribución del hormigón en los moldes creando vacíos.
- La adherencia al momento del ensayo a flexo-tracción es óptima y mantiene a la viga unida.
- Se verifico la calibración de la prensa hidráulica para obtener resultados reales.

7.2 RECOMENDACIONES.

Se recomienda:

- Incrementar el tiempo de falla de las muestras, para obtener datos de resistencia a largo plazo, y así ver cómo se comportan las estructuras con este hormigón.
- Desarrollar ensayos de flexo-tracción con fibras sintéticas y manufacturadas, para tener una comparación de resistencia y costos.
- Realizar ensayos a la abrasión y determinar si el hormigón con fibras de acero obtiene mejores resultados que el hormigón normal.
- Es importante utilizar cemento y agregado del mismo tipo y procedencia para obtener datos reales del hormigón normal y la adición de fibras de distinto tipo.

8 BIBLIOGRAFIA.

CARRILLO, Marco Antonio, Tecnología del hormigón, Argentina, 2009.

LOZANO, E y SEPULVEDA, Carlos Elías, Revista Metal Actual, edición 22, Colombia, 2016.

BALESTRINI, A. Revista Hormigonar, Asociación argentina del hormigón, edición 7, Argentina, 2005.

CARRASCO, Ma Fernanda, Tecnología del hormigón – Ingeniería civil, Colombia, 2013.

LAURA HUANCA, Samuel, Diseño de mezclas de concreto, Perú, 2006.

Dr. CAPOTE ABREU, Jorge A. Hormigones y morteros – Fabricación, transporte y puesta en obra, España, 2000.

MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES – Hormigones, volumen 4, Administradora Boliviana de Carreteras, 2007.

COMITE 311, Manual para supervisar obras de concreto, A.C.I, EUA, 2007.

COMITE 308, Practica estándar para el curado del concreto, A.C.I, EUA.

COMITE 201, Guia para la durabilidad del concreto, A.C.I, EUA.

COMITE 117, Especificaciones y tolerancias para materiales y construcciones de concreto, A.C.I, EUA, 2001.

COMITE 301, Especificaciones para el concreto estructural, A.C.I, EUA, 2005.

CALLE C. Máximo, Guia de ensayos de laboratorio – LABOTECC, Bolivia, 2008.

9 ANEXOS.

9.1 METODOLOGIA PARA DETERMINAR LAS CARACTERISTICAS FISICO - MECANICAS.

En este estudio se diseñaron mezclas de hormigón simple y reforzado con fibras de acero; el Hormigón reforzado se diseñará con diferentes porcentajes de fibras de acero respecto al peso del cemento, con el fin de poder analizar el comportamiento de los diferentes diseños mencionados.

Vale la pena resaltar que para este estudio se siguió un proceso, el cual comienza desde la selección de los materiales a emplearse, siguiendo con el diseño de mezclas de hormigón y finalizando con los ensayos de resistencia a la flexión y tracción, tomando en cuenta que el hormigón con adición de fibras de acero estará en distintos porcentajes: 3%, 7%, 11% y 16%, respecto al peso del cemento de la mezcla.

9.2 TIPO DE ESTUDIO.

Es investigativo en la medida que se observaron y analizaron cada una de las variables en estudio, porque se trabajó con probetas de Hormigón (Vigas y cilindros) de las cuales se tomó datos verídicos en las edades de ensayo establecidas.

9.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.

La fuente de información para este trabajo de investigación se desarrolló con base en libros, artículos científicos y normas debidamente relacionadas en la bibliografía.

9.4 PROCESO PARA DISEÑO DE MEZCLAS EN HORMIGÓN.

Para el diseño de mezclas se tomó en cuenta los siguientes ensayos:

9.4.1 Ensayo de peso específico, ASTM C-188.

9.4.1.1 Objetivo.

Este método tiene como objetivo determinar el peso específico del cemento. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de hormigón.

9.4.1.2 Equipo y materiales.

- Frasco patrón de Le Chatelier
 - Debe de cumplir las dimensiones indicadas en la figura N° 12, los requisitos con respecto a las tolerancias, inscripción y longitud, espaciamento y uniformidad de la graduación se tomarán en cuenta de manera estricta. Deberá de existir un espacio de por lo menos 10 mm entre la marca más alta de la graduación y el punto más bajo del esmerilado, hecho para el tapón de vidrio. El cuello deberá ser graduado de 0 a 1 ml y de 18 a 24 ml, con separaciones de 0.1 ml. El error de cada capacidad no deberá ser superior a 0.05 ml.
 - El material de su construcción deberá ser de vidrio de la mejor calidad libre de estrías, el vidrio deberá ser químicamente resistente y su espesor suficiente para asegurar una buena resistencia a la rotura.

Figura 24. Frasco de Le Chatelier, (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).



- En la determinación del peso específico se debe emplear KEROSENE libre de agua o nafta.
- El uso de equipo alternativo o de métodos alternos para determinar el peso específico del cemento es permitido siempre y cuando el resultado no difiera en más de 0.03 g/cm³, del resultado obtenido mediante este método.
- Balanza de capacidad 2100 o similar y precisión de 0.1 gr.
- Herramientas como ser: Embudo, Espátula, pipeta, lupa, recipientes de distintas capacidades, paños absorbentes, alambre limpiador-absorbente, etc.

9.4.1.3 Procedimiento.

- a) Se llenará el frasco con el kerosene hasta una de sus divisiones en la parte inferior del mismo.
- b) Se deberá agitar el frasco con el líquido para eliminar todos los vacíos que podrían existir.
- c) Se deberá de secar la boquilla del frasco con el alambre limpiador para evitar que se impregne el cemento.
- d) Se dará la primera lectura (se deberá leer el menisco inferior o el superior) siempre llevándolo al número entero más aproximado, utilizando la lupa para una buena precisión.
- e) Se pesará el cemento cerca de 64 gramos, luego se lo verterá al frasco utilizando el embudo y agitándolo para evitar que se pegue en las paredes del frasco con mucha paciencia.
- f) Una vez vaciado se procederá a rotar el frasco, eliminando el aire que pudo introducirse junto al cemento, hasta que se desprenda todas las burbujas.

- g) Se dejará reposar hasta que se halla asentado el cemento al fondo y se procederá a realizar la segunda lectura como indica el inciso d).

Antes de dar las lecturas se deberá de sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente durante un tiempo suficiente para evitar variaciones en las lecturas.

Todas las lecturas se deberán comprobar hasta obtener un valor constante.

9.4.1.4 Cálculos.

Los cálculos se los realiza según la siguiente ecuación:

$$P = \frac{M}{L_o - L_f}$$

Donde:

P: Peso Específico (gr/cm³).

M: Peso del cemento introducido al matraz (gr).

L_o: lectura inicial del matraz (cm³).

L_f: Lectura final del matraz con el cemento incluido (cm³).

9.4.2 Ensayo de granulometría, ASTM C-136.

9.4.2.1 Objetivo.

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos, utilizando mallas estandarizadas de abertura cuadrada. Es aplicable a los áridos que se emplean en morteros y hormigones.

9.4.2.2 Equipo y materiales.

- Balanzas de capacidad 20 kg, precisión de 1 gr, y 2000 gr con precisión de 0.1 gr.
- Serie de tamices normalizados que cumplan la norma ASTM E-11, según la siguiente tabla:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 39. Aberturas de lo tamices, (Fuente: ASTM E-11).

Tamaños nominales de abertura	
Mm	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37,5	(1 ½")
25,0	(1")
19	(¾")
12,5	(½")
9,5	(¾")
6,3	(¼")
4,75	(Nº 4)
25,0	(Nº 8)
2,0	(Nº 10)
1,18	(Nº 16)
0,6	(Nº 30)
0,3	(Nº 50)
0,15	(Nº 100)
0,075	(Nº 200)

- Un cuarteador mecánico de agregado grueso y fino.
- Recipientes de varios tamaños, cepillos de cerdas, escobilla de plástico, guantes, y equipo misceláneo.

9.4.2.3 Procedimiento.

- a) Se procede a la mezcla de todo el lote de muestra del árido (grueso o fino) con un cuarteo manual hasta obtener un conjunto más del doble aproximadamente de las cantidades representativas, para luego cuartear mecánicamente hasta obtener una cantidad representativa aproximadamente como indican las siguientes Tablas.

Tabla 40. Cantidad de muestra para el agregado fino, (FUENTE: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75 mm	≤ 5 %	500
2,36mm	≤ 5 %	100

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 41. Cantidad de muestra para el agregado grueso, (FUENTE: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).

Absoluto Tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25,0	10
19	8
12,5	5
9,5	4

- b) Una vez separados los agregados en recipientes diferentes, se procede al armado de los tamices, preferentemente separados por la serie gruesa y la fina.
- c) Se procede al verter el agregado a cada tamiz de mayor a menor agitándolo, haciendo pasar las partículas menores a su abertura. Una vez terminado el procedimiento de agitado se pesará el agregado retenido en la balanza de precisión 1 gr para el agregado grueso y precisión 0.1 gr para el agregado fino. También se puede utilizar tamizadoras eléctricas normalizadas.
- d) Como complemento se dibujará una curva semi-logarítmica según indica las Tablas N° 4 y 5, realizando:
 - a. El eje de las ordenadas con los porcentajes que pasan (0 – 100%).
 - b. El eje de las abscisas con las aberturas de los tamices en mm (escala logarítmica).

9.4.2.4 Cálculos.

los cálculos se realizarán:

- Módulo de Fineza, según la ecuación N° 4.
- El tamaño máximo del agregado se lo realizara como indica el punto 2.2.11.

**9.4.3 Ensayo de pesos unitarios compactado y suelto (Densidad aparente),
ASTM C-29 ASTM E-30.**

9.4.3.1 Objetivo.

Este ensayo determina el peso unitario o densidad aparente del agregado grueso y agregado fino en su estado compactado y suelto que se utiliza para la dosificación de hormigones en peso y volumen.

9.4.3.2 Equipo y materiales.

- Balanza de 30 kg de capacidad y precisión 1 gr.
- Pisón normalizado de diámetro igual a 5/8” y longitud de 24”, será metálico y liso.
- Moldes cilíndricos con las características que indica la siguiente tabla:

Tabla 42. Dimensiones de los moldes para el peso unitario, (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).

Tamaño Máximo Nominal de áridos (mm)	Capacidad Volumétrica		Diámetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	l			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155 ± 2	160 ± 2	5	2,5
25	0,010	10	205 ± 2	305 ± 2	5	2,5
50	0,015	15	255 ± 2	295 ± 2	5	3,0
100	0,030	30	355 ± 2	305 ± 2	5	3,0

- Termómetro, placa de vidrio.
- Puruñas regla metálica o enrazado, pala, cuarteador mecánico.

El agregado a ensayar deberá de estar totalmente seco al horno o naturalmente.

9.4.3.3 Procedimiento.

- La muestra del ensayo del árido será de un volumen aproximadamente el doble del recipiente a utilizar, se permite emplear agregado tamizado y secado al horno.
- Para inicial el ensayo se cuarteará mecánicamente hasta una muestra representativa.

- C) Se procederá a determinar el volumen de los recipientes tanto del árido grueso como del fino pesando la placa de vidrio y el molde, registre y vierta agua al recipiente hasta que quede en su totalidad, registre y mida la temperatura del agua.

Con la densidad a la temperatura medida del agua según Tablas y el peso del agua se determina el volumen del recipiente (es mejor realizar este procedimiento al finalizar el ensayo evitando el contacto con el agua y el árido en el recipiente).

9.4.3.4 *Peso unitario suelto.*

- A) Se verterá el agregado a una altura de 2” (5 cm) del coronamiento del recipiente hasta el rebose del árido.
- B) Se procederá al enraizado tipo corte al recipiente y se lo pesará.
- C) Se registra y se repite el mismo procedimiento las veces necesarias (no menor a 3 veces).

9.4.3.5 *Peso unitario compactado “apisonado”.*

- A) Se divide el recipiente en 3 capas iguales y se procede a llenar la primera capa con el árido, con la varilla se procede a apisonar 25 veces.
- B) Se llena la segunda capa y se sigue el mismo procedimiento, en el momento del compactado con la varilla se debe tener cuidado en no afectar la primera capa.
- C) Por último, se rellena la capa final siguiendo el procedimiento anterior, se enraza, se pesa y registra (se debe repetir todo el procedimiento las veces necesarias no menor a 3).

9.4.3.6 *Peso unitario compactado “percusión”.*

- A) De la misma forma se realiza el ensayo vertiendo el árido en 3 capas iguales.
- B) La primera capa se lo rellena e iguala, tomando y levantando una de sus asas (agarradores) aproximadamente 2” (5 cm) de altura dejándola caer sobre una base sólida y firme como (pavimento de hormigón).

C) Repita hasta lograr 50 percusiones por capa, 25 por cada asa.

D) La última capa se llenará sobre el tope, terminado la acción de percusión, se enraza y pesa (se debe repetir todo el procedimiento las veces necesarias no menor a 3).

Este procedimiento a detalle tanto el Peso unitario suelto y el compactado se lo realiza para los áridos gruesos y finos.

9.4.3.7 Cálculos.

El Peso Unitario Suelto se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$P.U.S. = \frac{ms}{V}$$

Donde:

P.U.S.: Peso Unitario Suelto (Kg/m³).

ms: masa del árido suelto ensayado (Kg).

V: Volumen del recipiente (m³).

El Peso Unitario Compactado, tanto por apisonado o percusión se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$P.U.C. = \frac{mc}{V}$$

Donde:

P.U.C.: Peso Unitario Compactado (Kg/m³).

mc: masa del árido compactado ensayado (Kg).

V: Volumen del recipiente (m³).

El Peso Unitario Suelto se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$P.U.S. = \frac{mc}{V}$$

Donde:

P.U.S.: Peso Unitario Suelto (Kg/m³).

mc: masa del árido ensayado (Kg).

V: Volumen del recipiente (m³).

Con los resultados obtenidos en este ensayo y el Peso específico se puede determinar el coeficiente de aporte. Y el porcentaje de huecos.

El coeficiente de aporte es el volumen neto del material macizo que hay en el volumen unitario de agregado asentado. El coeficiente de aporte multiplicado por 100 da el porcentaje de llenos.

El **Coeficiente de aporte** se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Coef. Aporte} = \frac{P. U. C.}{P. e.}$$

Donde:

P.U.C.: Peso Unitario Compactado del agregado (Kg/m³).

P.e.: Peso específico saturado superficialmente seco (Kg/m³).

El porcentaje de huecos es el valor porcentual del volumen de los espacios comprendidos entre las partículas de un agregado.

El **Porcentaje de huecos** se determina con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Huecos} = \frac{P. e. - P. U. C.}{P. e.}$$

Donde:

P.U.C.: Peso Unitario Compactado del agregado (Kg/m³).

P.e.: Peso específico saturado superficialmente seco (Kg/m³).

9.4.4 Ensayo de peso específico y absorción del agregado Grueso ASTM C-127.

9.4.4.1 Objetivo.

Este método nos permite determinar directamente el peso específico global y aparente, y la absorción después de 24 horas, en agua a temperatura ambiente del agregado grueso.

También determina directamente el peso específico sobre la base de la muestra saturada superficialmente seca del agregado grueso.

9.4.4.2 Equipo y materiales.

- Balanza de 20 kg y precisión de 1 gr.
- Canastillo porta muestra de alambre o acero inoxidable lo suficiente resistente para soportar el peso de la muestra, con una malla igual o inferior a 2 mm y de capacidad a 4 litros. Además, debe tener un dispositivo para sujetarse a la balanza.
- Estanque o recipiente lo suficiente grande que pueda entrar el canastillo y quedar libremente sin tener apoyo ni tope alguno.
- Recipientes, cuarteador mecánico, toalla absorbente
- Tamiz N° 4 (4.75 mm).

La muestra tendrá la cantidad según la siguiente tabla, y deberá ser seleccionada por cuarteo y lo retenido en el tamiz N° 4, rechazando lo que pase de este.

Tabla 43. Cantidad de muestra según el tamaño máximo nominal del árido, (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5 (1/2")	2.000
19 (3/4")	3.000
25,0 (1")	4.000
37,5 (1 1/2")	5.000
50 (2")	8.000

9.4.4.3 Procedimiento.

- A) Una vez preparada la muestra se procederá a lavarla para eliminar cualquier impureza que pueda presentar y llevada al horno para ser secada a temperatura constante de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. ($230 \pm 10^\circ \text{F}$). por un periodo de 24 ± 4 horas.
- B) Una vez seca la muestra, se procede a sumergir en agua saturándola en su totalidad por un periodo de 24 ± 4 horas.
- C) Pasado el tiempo se procede a secar el árido con la toalla absorbente hasta un estado saturado con superficie seca (SSS),

- D) Se procederá a pesar la muestra en estado (SSS), luego se pesará el canastillo sumergido, después se colocará el agregado en el canastillo y se pesará sumergido en agua.
- E) Una vez obtenido los datos de peso al aire en estado (SSS), peso de la muestra sumergido en agua, se procede a llevar el árido al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. ($230 \pm 10^\circ$ por un periodo de 24 ± 4 horas).
- F) Transcurrido este tiempo se dejará enfriar hasta un peso constante y se registrará este dato.

9.4.4.4 Cálculos.

Los cálculos serán realizados con las siguientes ecuaciones:

Peso Específico “global”.

$$G_s = \frac{P}{P_{SSS} - P_{sum.}} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

Peso Específico “aparente”.

$$G_a = \frac{P}{P - P_{sum.}} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

Peso Específico “saturado superficialmente seco”. Este es el valor que generalmente se necesita para cálculos relacionados con mezclas de hormigón.

$$G_{SSS} = \frac{P_{SSS}}{P_{SSS} - P_{sum.}} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

Donde:

P.: Peso muestra seca (gr).

P_{SSS}.: Peso muestra saturado superficialmente seco (gr).

P_{sum.}.: Peso muestra sumergida (gr)

Se calculará el **porcentaje de absorción** de agua con la siguiente ecuación:

$$\%Abs = \frac{P_{sss} - P}{P} \times 100$$

Donde:

% abs.: Porcentaje de absorción

P.: Peso muestra seca (gr).

Psss.: Peso muestra saturado superficialmente seco (gr).

9.4.5 Ensayo de peso específico y absorción del agregado Fino ASTM C-128.

9.4.5.1 Objetivo.

Es la determinación directa del peso específico global y aparente y la absorción de agua a temperatura ambiente, es aplicable a los áridos finos para la elaboración de hormigones.

9.4.5.2 Equipo y materiales.

- Balanza de 2000 gr y precisión de 0.1 gramos.
- Moldes troncocónicos de diámetro 90 ± 3 mm en la parte inferior, 40 ± 3 mm en la parte superior y altura de 75 ± 3 mm, confeccionado con un aplancha metálica de un espesor igual o superior que 0.8 mm
- pisón metálico, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener un peso de 340 ± 15 gr.
- Frasco o matraz de 500 ml de capacidad, y graduado a 0.15 ml a 20° C.
- Tamiz N° 4 (4.75 mm).
- Recipientes, lamina de metal no absorbente, pipeta, embudo, alambre limpiador y paños absorbentes.
- Cuarteador mecánico de agregado fino.

9.4.5.3 Procedimiento.

La muestra se tamizará excluyendo el agregado grueso, una cantidad de arena superior a 50 gr e inferior o igual a 500 gr. Se procederá a lavar eliminando toda impureza y será secada al horno por un periodo de 24 ± 4 horas a temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Una vez seco se procederá a saturar en su totalidad el árido por 24 ± 4 horas.

- A) Una vez reposado se procederá a extender en la lámina de metal expuesta a las corrientes calientes (bajo el sol a la intemperie) y removida constantemente hasta alcanzar un estado plástico.
- B) Para que la muestra llegue a estado (SSS), se procede a verterlo en los moldes troncocónicos colocados en forma de reloj de arena, rebosando el primer molde, y con el pisón se procede a compactarlo suavemente en caída libre con 25 golpes a una altura de 5 cm. Enraizar y levantar el cono, si la arena mantiene la forma del molde se procederá a seguir secando hasta un punto que se desmorone aproximadamente el 50 %, quedando así en estado saturado con superficie seca. Se pesa la muestra y registra.
- C) La muestra en estado (SSS), se introducirá al matraz que luego se llenará con agua a temperatura de 20°C , cubriendo en su totalidad la muestra.
- D) Se procede a eliminar todo el aire atrapado entre la arena con giros y batiendo suavemente el frasco graduado
- E) Una vez eliminado todos los vacíos se completa de llenar con agua (preferentemente destilada) hasta la marca que indica un volumen de 500 ml. Se pesa y registra el dato de muestra (SSS)+ frasco + agua.
- F) Se vacía el agua del frasco con la muestra a un recipiente hondo y limpio y se lleva al horno por un periodo de 24 ± 4 horas a temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- G) Se lava el frasco graduado y se llena de agua a temperatura de 20°C , hasta la marca de volumen de 500 ml, se pesa y registra el dato de frasco + agua.

H) Una vez transcurrido el periodo de secado se procede a enfriar la muestra y pesarla.

9.4.5.4 Cálculos.

El **peso específico “aparente”** se determinará con la siguiente ecuación:

$$Ga = \frac{A}{B + A - C} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

El **peso específico “global”** se determinará con la siguiente ecuación:

$$Gs = \frac{A}{B + M_{SSS} - C} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

El **peso específico “saturado superficialmente seco”** se determinará con la siguiente ecuación:

$$Ga = \frac{M_{SSS}}{B + M_{SSS} + C} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

Donde:

M_{SSS}.: Peso muestra saturada superficialmente seca (gr).

A: Peso muestra seca (gr).

B: Peso frasco + agua (gr).

C: Peso frasco + agua + muestra (SSS) (gr).

Para determinar la **absorción** del agregado fino se utilizará la siguiente ecuación:

$$\% Abs = \frac{M_{SSS} - A}{A} \times 100$$

9.4.6 Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles ASTM C-131.

9.4.6.1 Objetivo.

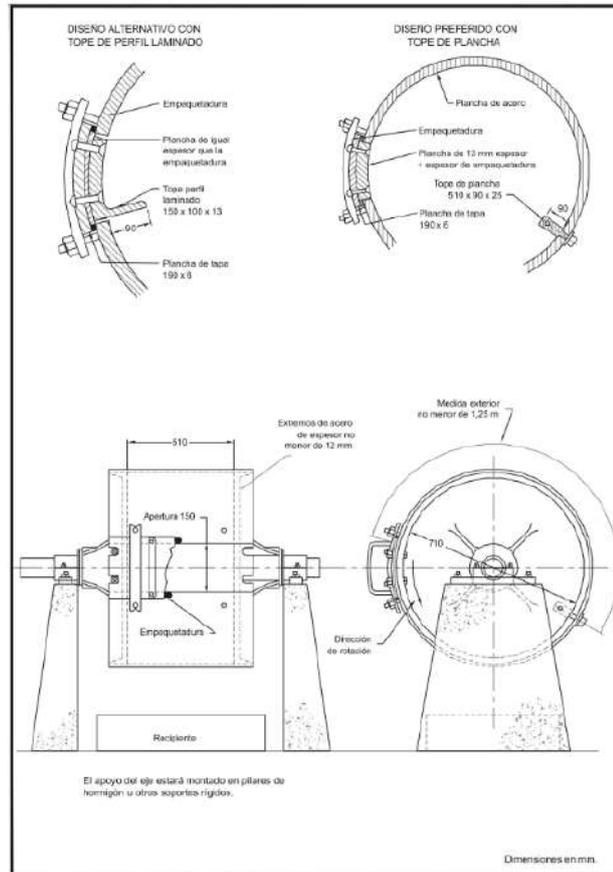
Es determinar el desgaste por abrasión del agregado grueso o grava, utilizando la maquina Los ángeles a tamaños máximos superiores de tamiz N.º 8.

9.4.6.2 Equipo y materiales.

- Máquina de Los ángeles que debe contar con lo siguiente:
 - Un tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y 510 ± 6 mm de longitud de ancho interior, con una aleta perpendicular al interior del cilindro; deberá estar montado horizontalmente en un soporte de brazos laterales verticales, debe tener un mecanismo de polea conectado a un motor. En el cilindro debe contener una compuerta o tapa para poder introducir la muestra con un dispositivo que debe fijar firmemente y asegurar la estanqueidad del material a ensayar.
 - En la superficie inferior debe llevar una bandeja rígida de ancho igual o superior (según el espacio) al cilindro y de largo aproximadamente 1.20 m (*Ver figura 37*).
 - La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto, debe llevar un contador de vueltas y un dispositivo de apagado automático.
- Tamices de la serie gruesa, de 3" al N° 8.
- Balanza de 20 Kg y precisión de 1 gr.
- Cuarteador mecánico de la serie gruesa.
- Recipientes, cepillos y cucharón.
- Cargas abrasivas (esferas de acero) de diámetro aproximadamente de 47 mm y pesos variables entre 390 – 445 gr.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Figura 25. Detalle de la máquina de Los ángeles, (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).



9.4.6.3 Procedimiento.

- A) Se realiza el cuarteo de la muestra a ensayar y la granulometría correspondiente en la serie gruesa de tamices determinando el tamaño máximo del agregado (T.M.A.), para luego identificar el método de ensayo utilizando la siguiente Tabla:

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Tabla 44. Grado de ensayo según el tamaño máximo del agregado (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).

Tamaño de Partículas (mm)		1	2	3	4	5	6	7
		(75-37,5) (3" - 1 1/2")	(50-2,36) (2" - Nº8)	(37,5-19) (1 1/2" - 3/4")	(37,5-9,5) (1 1/2" - 3/8")	(19-9,5) (3/4" - 3/8")	(9,5-4,75) (3/8" - Nº 4)	(4,75-2,36) (Nº 4 - Nº 8)
(mm)	ASTM	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	3" - 2 1/2"	2.500 ± 50						
63- 50	2 1/2" - 2"	2.500 ± 50						
50-37,5	2" - 1 1/2"	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 -25,0	1 1/2" - 1"		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25,0-19	1" - 3/4"			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5	3/4" - 1/2"				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5	1/2" - 3/8"				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3	3/8" - 1/4"						2.500 ± 10	
6,3-4,75	1/4" - Nº 4						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36	Nº4 - Nº8							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)		10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas								
numero		12		12		11	8	6
masa (g)		5.000 ± 25		5.000 ± 25		4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones		1.000			500			

- B) Ya identificado el método, se procede a tamizar las cantidades de muestra necesaria para el ensayo que registra la anterior tabla y separada en recipientes, se recomienda que se debe identificar cada muestra y recipiente para evitar confusiones.
- C) Una vez pesadas las cantidades de grava se procede a lavar con abundante agua la muestra eliminando cualquier impureza o materia arcillosa en la superficie de los granos, se lleva al horno para su secado a temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas o a masa constante.
- D) Transcurrido el periodo de secado se procede a enfriar la muestra y pesar, tomando como dato "peso inicial".
- E) Registrado este dato se introduce la muestra a la máquina de los ángeles conjuntamente con las cargas abrasivas según la cantidad y el peso que registra la tabla anterior según corresponda.
- F) Se procede al encendido de la maquina hasta las revoluciones acordadas en el método elegido, acabado este paso se procede a extraer la muestra del interior

del tambor con mucho cuidado evitando perder muestra y separando las esferas de acero.

G) Obtenida la muestra se lo tamiza en el tamiz N° 12 aplicando un lavado correspondiente con abundante agua y recuperando lo que retiene el tamiz, antes se recomienda utilizar un tamiz superior (3/8" o N.º 4) para evitar dañar el tamiz N° 12.

H) Se lleva al horno para su secado a temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas o a masa constante. Se deja enfriar y se pesa obteniendo "peso final".

9.4.6.4 Cálculos.

El **desgaste del árido por abrasión** como el porcentaje de pérdida en masa con precisión de un decimal se determinará con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{p.i. - p.f.}{p.i.} \times 100(\%)$$

Donde:

P.: Pérdida de la masa de la muestra (%).

p. i.: Peso de la muestra inicial (gr).

p. f.: Peso de la muestra final (gr).

9.4.7 Ensayo de peso específico de las fibras de acero PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

9.4.7.1 Objetivo.

Es la determinación directa del peso específico a temperatura ambiente por el principio de Arquímedes, es aplicable a las fibras de acero para poder adicionar al hormigón por volumen.

9.4.7.2 Equipo y materiales.

- Balanza de 4000 gr y precisión de 0.1 gramos.
- Recipiente con agua para el pesaje.

9.4.7.3 Procedimiento.

- A) Se determina la masa de las fibras de acero.
- B) Se determina la masa de las fibras de acero sumergida en agua.
- C) Se mide la temperatura del agua, mediante tablas se puede determinar la densidad de la misma.

9.4.7.4 Cálculos.

El **peso específico** se determinará con la siguiente ecuación:

$$G_{SSS} = \frac{A}{A - B} \times 1 \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$$

Donde:

G_{SSS}: Peso específico de la muestra (gr).

A: Peso muestra seca (gr).

B: Peso muestra sumergida en agua (gr).

9.5 CONTROL DEL HORMIGÓN FRESCO.

9.5.1 Asentamiento del hormigón mediante el cono de Abrams, ASTM C-143.

9.5.1.1 Objetivo.

El objetivo es determinar la consistencia del hormigón fresco mediante el cono de Abrams, tomando en cuenta que no mide el contenido de agua o la trabajabilidad.

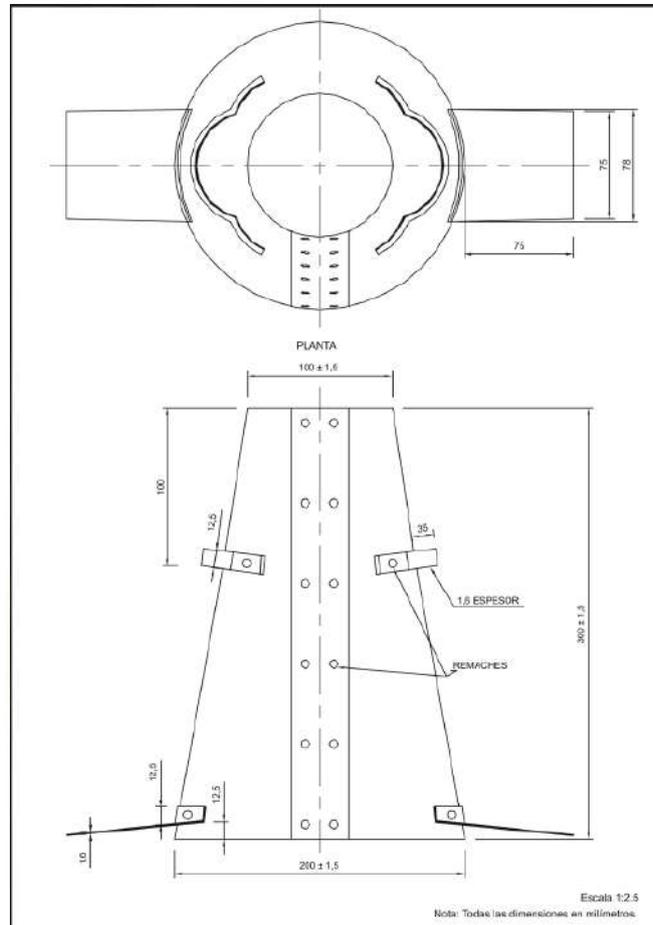
El cambio en las propiedades de los agregados, granulometría, proporciones de la mezcla, contenido de aire, temperatura o uso de aditivos influyen en el asentamiento.

9.5.1.2 Equipo y materiales.

- **Cono de Abrams:** Molde metálico en forma de cono truncado con un espesor a 1.5 mm, la base de 200 mm y la parte superior de 100 mm de diámetro, con una altura de 300 mm, las tolerancias en diámetros y altura será de 3 mm; la base y parte superior abiertas paralelas entre sí en ángulo recto con eje longitudinal, la parte interna lisa y libre de imperfecciones, abolladuras, deformaciones y mortero adherido.

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

Figura 26. Cono de Abrams, (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).



- **Plancha base:** Libre de imperfecciones, de un material no absorbente y pueda ser situado fácilmente.
- **Varilla de apisonado:** Debe de ser de acero liso de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud con uno de sus extremos redondeados con punta hemisférica.
- **Cinta métrica o regla de medición:** Mínimo de 30 cm, con incrementos de 5 mm o más pequeños.
- **Cucharón:** Lo suficientemente grande como para introducir el hormigón al molde y lo suficientemente pequeño como para que no se desparrame durante su colocación.

9.5.1.3 Procedimiento.

Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie plana rígida y no absorbente, debe ser firmemente sostenido por el operador en el lugar de llenado, (pies en los estribos o fijación mecánica a placa no absorbente).

Se llena en 3 capas, cada una de un tercio del volumen del molde (70 mm, 160 mm y completando el molde), se compacta cada capa con 25 golpes de la varilla en espiral de afuera hacia adentro distribuyendo uniformemente.

En la segunda y tercera capa los golpes apenas deben de penetrar la capa inferior. En la tercera capa el hormigón debe de exceder la capacidad del molde antes de varillar, si faltara hormigón se pueda agregar manteniendo siempre exceso sobre la superficie.

Una vez varillado se procede a emparejar la superficie mediante enrase y rozamiento de la varilla de apisonamiento, mantenga el molde firmemente hacia abajo y remueva el hormigón del área que rodea la base y todo resto excedente, luego retire el molde levantándolo verticalmente los 300 mm en aproximadamente 5 ± 2 segundos con movimiento ascendente uniforme (sin movimientos laterales, ni torsión).

La prueba debe realizarse sin interrupciones en un periodo de tiempo de 2.5 minutos.

Mida el asentamiento determinado la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen, si ocurriera caída evidente de una porción, desplome o desprendimiento, deseche la prueba, si en dos ensayos consecutivos de una misma muestra se da esta situación, falla el hormigón.

Registre el asentamiento en centímetros dentro de un rango de 5 mm

9.5.2 Peso unitario del hormigón fresco, ASTM C-138

9.5.2.1 objetivo.

El objetivo es determinar el Peso específico o la densidad aparente del hormigón.

9.5.2.2 *Equipo y materiales.*

- **Balanza:** Capacidad de 20 o 30 Kg, con una precisión de 1 gr o el 0.3% de la capacidad.
- **Barrilla de apisonado:** De acero y diámetro igual a 16 mm, y longitud de aproximadamente 600 mm, recta y punta redondeada semiesférica.
- **Recipiente:** De acero u otro metal que no reaccione fácilmente con la pasta cemento, con capacidad según Tabla N° 30, para recipientes usados se debe adecuar según la norma ASTM C-231 en contenido de aire y ASTM C-29 para todo tipo de recipiente, con los bordes lisos y plano.

Tabla 45. Tabla de volúmenes del recipiente según el TMA, (Fuente: Elaboración propia).

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente (*)	
Pulgadas	milímetros	Pie cubico	litros
1	25,0	0,2	6
1 1/2	37,5	0,4	11
2	50,0	0,5	14
3	75,0	1,0	28
4 1/2	112,0	2,5	70
6	150,0	3,5	100

(*) Volumen real, de al menos 95% del volumen nominal listado

- **Placa de enrase de acero:** Recta y plana de 6 mm de espesor, o placa de vidrio o acrílico de 12 mm de espesor, el ancho y largo será de mínimo 50 mm mayor que el diámetro del recipiente, con bordes rectos y lisos con una tolerancia de 2 mm.
- **Mazo de cabeza de goma o cuero:** con un peso de 600 ± 200 gr, para recipientes menores a 14 litros, y para mayores se tendrá de 1000 ± 200 gr.
- **Cucharón:** Con características similares al de asentamiento.

9.5.2.3 *Procedimiento.*

La compactación del hormigón se realizará según el asentamiento, de acuerdo a lo siguiente:

- **Varillado o vibrado:** Si es $25 \text{ mm} < \text{asentamiento} < 75 \text{ mm}$
- **Varillado:** Si el asentamiento $> 75 \text{ mm}$

Primero determine la masa del recipiente, luego humedezca los utensilios que entrarán en contacto con el hormigón, luego con el cucharón distribuyendo de forma uniforme y con el mínimo de segregación en el número de capas según el método lo descrito a continuación:

Varillado. – Coloque el hormigón en tres capas del mismo volumen, apisona cada capa con 25 golpes para volumen de recipiente menor o igual a 14 litros, 50 golpes para los 28 litros y un golpe por cada 20 cm² para recipientes más grandes.

Luego de compactar mediante el varillado, el exceso de hormigón debe ser de aproximadamente 3 mm por encima del tope del recipiente, si hubiera exceso de material quite lo necesario con una espátula o cucharón después de terminar de compactar, si hay deficiencia de hormigón se puede añadir una pequeña cantidad para corrección.

Termine la superficie superior con la placa de enrasado aplanando y cubriendo aproximadamente 2/3 partes con movimiento aserrado, luego coloque la placa en la parte superior del recipiente cubriendo los 2/3 originales de la superficie y avance en sentido contrario con presión vertical y movimiento aserrado y continúe empujándola hasta que se deslice completamente fuera del recipiente, repita varias pasadas hasta obtener una superficie de acabado liso

Limpie el hormigón del exterior del recipiente y determine la masa del hormigón fresco más el recipiente con precisión requerida.

9.6 MOLDEO DE PROBETAS DE HORMIGÓN.

9.6.1 Moldeo de Cilindros, ASTM C-192.

El tamaño de la muestra no deberá ser inferior a 30 litros y el tiempo transcurrido entre la confección de los moldes en ningún caso excederá de los 15 minutos.

Las probetas cilíndricas que se utilizaron tienen un Diámetro = 15 cm y Altura = 30 cm.

9.6.1.1 Procedimiento.

- Antes de llenar los moldes se debe humedecer todos los utensilios que entren en contacto con el hormigón.
- Re mezclar el hormigón fresco en el mismo recipiente de muestreo antes de verter al cilindro.
- Se llenará el molde en 3 capas iguales, cada capa se apisonará con una varilla normalizada, (de Diámetro = 16 mm y Largo = 240 mm, de punta redondeada en forma de esfera) con 25 golpes.
- Se dará 10 a 15 golpes laterales con un mazo de goma por capa para eliminar el aire atrapado.
- Una vez llenado el cilindro se procede a enrasar con una plancha.

9.6.2 Moldeo de Vigas, ASTM C-192.

9.6.2.1 Procedimiento.

- Antes de llenar los moldes se debe humedecer todos los utensilios que entren en contacto con el hormigón.
- Re mezclar el hormigón fresco en el mismo recipiente de muestreo antes de verter a la viga.
- Se llenará la viga en 2 capas iguales, cada capa se apisonará con una varilla normalizada con 60 golpes.

- Se dará 10 a 15 golpes laterales con un mazo de goma por capa para eliminar el aire atrapado.
- Una vez llenado la viga se procede a enrasar con una plancha.

9.7 CONTROL DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.

9.7.1 Refrentado de Probetas ASTM 617.

9.7.1.1 Objetivo.

El objetivo principal de este ensayo es nivelar las imperfecciones de las caras que se someterán al ensayo de compresión, se deberá aplicar a especímenes que no cumplan con la planeidad efectiva o el paralelismo entre caras, se aplica a probetas cúbicas, cilíndricas o prismáticas moldeadas en hormigón fresco, como en testigos extraídos de hormigón endurecido.

9.7.1.2 Equipo y materiales.

- **Placas:** deberán ser de metal, vidrio o cualquier material rígido, no absorbente, químicamente inerte.

La superficie de contacto debe ser plana con una tolerancia de 0.05 mm, medida en tres direcciones con un ángulo de 45°.

El largo y ancho será de al menos 30 mm mayores que las respectivas de la superficie a refrentar, y el espesor de las placas de metal será de igual o mayor de 8 mm, y el de vidrio de igual o mayor a 6 mm

Si se requiere una placa base, esta será igual o mayor a 8 mm de espesor.

- **Dispositivo para refrentar cilindros:**
 - Aparato vertical, compuesto con una base provista de una placa horizontal con un rebaje circular rectificado y un perfil de alineado metálico perpendicular del eje de la probeta.
 - Anillos metálicos, ajustables a los extremos del cilindro que se emplean en conjunto con una placa.

- Aparato horizontal, compuesto con una base de apoyos para colocar la probeta horizontal y un par de placas paralelas dispuestas verticalmente en ambos extremos. Las placas deben estar provistas de mordazas a fin de ajustarse a ambos extremos y conformar un molde que se pueda rellenar por vaciado.
- **Aparato para fusión de mezcla de azufre:** recipiente de metal inerte a la acción del azufre fundido, provisto de un control automático de temperatura,
- **Cucharón:** o similar de metal cuya capacidad sea igual al volumen del material para emplear en el encabezado.
- **Sistema de ventilación:** campana con extractor de aire para eliminar los gases de fusión.
- **Azufre y arena fina (Cappink):** La arena deberá ser tamizada, de tal forma que pase el tamiz N° 50.

9.7.1.3 Procedimiento.

- **Preparación del Cappink.** Para la preparación:
 - De 55 a 70 partes en masa de azufre en polvo
 - De 45 a 30 partes en masa de arena fina que pase el tamiz N° 50 (0.3 mm).

Empléese arena refractaria molida o arena silícica (pumacita).

Para resistencias mayores a 30 MPa de deberá utilizar 80 partes de masa de azufre y 20 partes de masa de arena fina que pase el tamiz N° 50 (0.3 mm).

Caliente la mezcla hasta su fusión controlada entre 130° y 145° C (266° y 293° F), sin exponer a fuego directo que pueda inflamar la mezcla y expulsar al exterior los gases que resultan de la fusión.

En ningún caso se recalentará la mezcla más de cinco veces, ya que puede perder resistencia por contaminaciones y volatilización.

Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensayo, en todo caso igual o mayor a 35 MPa.

- **Encabezado de probetas cilíndricas utilizando el aparato vertical.**

Una vez obtenida la mezcla óptima de capping, se untará las placas y base del cilindro con un aceite mineral o agua, con un paño se retira el excedente solo dejando una película delgada de la sustancia, el fin es que prevenga la adherencia del material de refrentado.

Se verterá con el cucharón una cantidad del líquido en las placas y antes que se seque este, se alineará y deslizará en sentido perpendicular la probeta hacia las placas con capping.

Después de algunos minutos se removerá el espécimen eliminando los excedentes, y se repetirá esta acción con la otra cara de la probeta cilíndrica.

Póngase a secar por aproximadamente 3 horas los encabezados bajo una corriente ligera de aire, mejor si es caliente, teniendo cuidado de no extender el secado más de lo necesario para asegurar la adherencia del material a la probeta.

Una vez secado los cabezales, se golpeará ligeramente con el mango de un cuchillo o similar antes de colocar en la prensa; si emite un sonido a hueco, remueva la capa y reemplácela por otra antes de ensayar.

Figura 27. Proceso de encabezado con pasta de Cappink en un aparato vertical, (Fuente: Google imágenes).

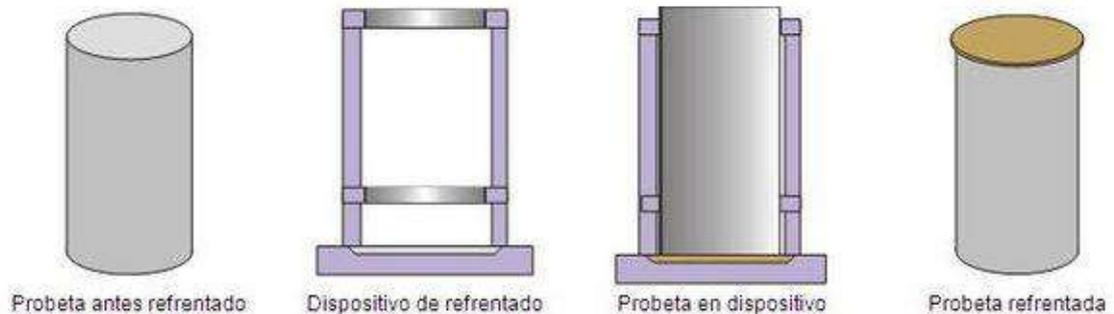


Figura 28. Proceso de retirado del molde de refrentado, (Fuente: Google imágenes).



9.7.2 Compresión de cilindros, ASTM C-39.

9.7.2.1 Objetivo.

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia de un cilindro de hormigón mediante la rotura por compresión.

9.7.2.2 Equipo y materiales.

- **Prensa de ensayo:** Tendrá la rigidez necesaria de resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones distribución y ubicación de la carga y lectura del resultado.

Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, la sensibilidad será tal que la menor división de la escala de lectura será igual o menor al 1% de la carga máxima.

La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del rango utilizable dentro del rango de escalas de lectura.

La prensa contara con un dispositivo de regulación de la carga de manera que cumpla un tiempo y una velocidad especifica descrita más adelante.

Esta prensa será calibrada mínimamente una vez cada 12 meses.

- **Regla graduada o huincha:** Estará graduada en milímetros y tendrá una longitud igual o superior a 400 mm
- **Balanza:** Tendrá una capacidad de 25 kg o mayor, y precisión mínima de 1 gr.

9.7.3 Flexo-tracción de vigas, ASTM C-78 y 293.

9.7.3.1 *Objetivo.*

Este ensayo determina la rotura a tracción por flexión de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas.

Este método se aplica a según las dimensiones de básicas de la probeta:

- Para probetas de dimensión básica 150 mm, aplique cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz del ensayo.
- Para probetas de dimensiones de 100 mm aplique la carga P en el centro de la luz de ensayo.

9.7.3.2 *Equipos y materiales.*

- **Prensa de ensayo:** Tendrá la rigidez necesaria de resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones distribución y ubicación de la carga y lectura del resultado.

Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, la sensibilidad será tal que la menor división de la escala de lectura será igual o menor al 1% de la carga máxima.

La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del rango utilizable dentro del rango de escalas de lectura.

La prensa contara con un dispositivo de regulación de la carga de manera que cumpla un tiempo y una velocidad especifica descrita más adelante.

Esta prensa será calibrada mínimamente una vez cada 12 meses.

- **Dispositivo de tracción por flexión:** debe tener piezas para apoyar la probeta y aplicar la carga, con sus correspondientes accesorios que deberán cumplir con lo siguiente:
 - Los elementos de contacto con la probeta tendrán la superficie cilíndrica, de este modo se logra un contacto rectilíneo.
 - Se aplicará la carga y sus reacciones en forma vertical y estarán dispuestas de forma que las líneas de contacto sean paralelas entre sí y perpendiculares a la luz del ensayo.
 - Contaran con accesorios que permitan fijar y mantener la luz del ensayo.
 - Tendrá rotulas regulables, a fin de evitar excentricidades.
 - Tendrá una longitud igual o mayor que el ancho “b” de las probetas.
- **Regla graduada o huincha:** deberá ser graduada en milímetros y una longitud igual o mayor a 1 m.
- **Regla rectificada:** Tendrá una longitud igual o mayor a 500 mm

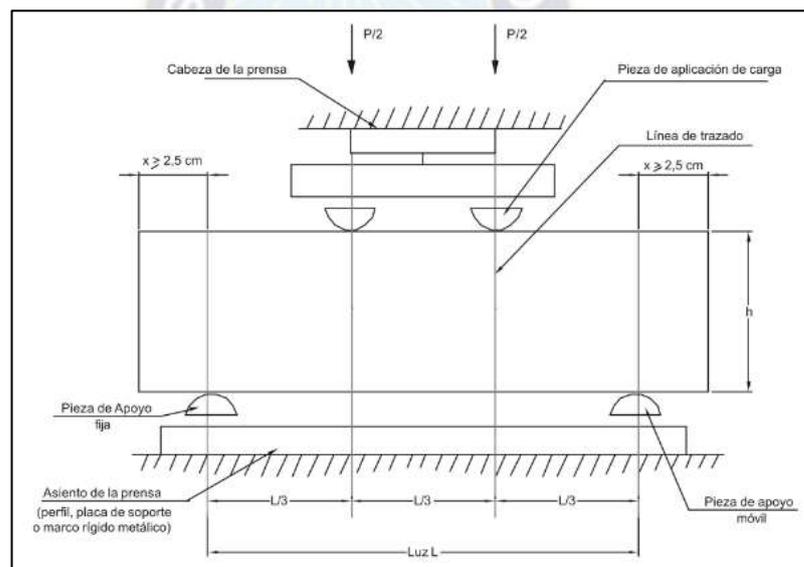
9.7.3.3 Procedimiento.

Se retira la probeta que estaba sumergidas en agua por 24 horas de curado final, se las protege con paños húmedos hasta el momento de colocarlas en la máquina de ensayo, para evitar así el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

La luz de ensayo deberá cumplir las condiciones, según la forma de aplicación de la carga:

- Cargas de $P/2$, aplicadas en los límites del tercio central: $L \geq 3h$ como indica la figura.
 - L : Luz de ensayo.
 - h : Altura de la probeta
 - La distancia “ x ” entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta será igual o mayor que 2.5 cm.

Figura 29. Detalle de la probeta situada en la prensa antes del ensayo, (Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales - Hormigones, volumen 4, ABC).



Se trazará tres rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble, y que no alteren el tamaño, forma o característica estructural de la probeta verificando la rectitud y perpendicularidad.

Se verificará y registrará la luz del ensayo, la base “ b ” y la altura “ h ”; Coloque la probeta en la prensa haciendo coincidir las marcas con los respectivos apoyos que deben de coincidir totalmente.

Aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques. La velocidad de tensión debe estar comprendida entre 0.015 y 0.02 N/mm²/segundo.

Una vez fijada la velocidad no se hará modificaciones hasta el final del ensayo.

Registre la carga máxima en Kgf.

9.7.3.4 Cálculos matemáticos.

Ensayo con la carga aplicada $P/2$, en los límites del tercio central de la luz del ensayo, se lo determina con la siguiente expresión:

- Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo.

$$Rt = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

Donde:

Rt: Tensión de rotura a flexo-tracción (Kg/cm²).

P: Carga máxima aplicada por la prensa de ensayo (Kgf).

L: Luz de ensayo de la probeta (cm).

b: Ancho promedio de la probeta (cm).

h: Altura promedio de la probeta (cm).

Resultado expresado con una precisión de 1 Kg/cm².

- Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de la carga y una distancia de **0.05 L** de esta línea.

$$Rt = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2}$$

Donde:

a: distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo medida a lo largo de la línea de la superficie inferior de la probeta (cm).

9.7.3.5 Procedimiento.

Primero se medirá mínimamente dos diámetros perpendiculares entre sí, (d_1 y d_2), y aproximadamente en la altura media de la probeta. Es recomendable tomar las medidas del perímetro, tres veces para mejor precisión. Se medirá mínimamente la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2), antes del **refrentado** y exprese estas medidas en mm, con aproximación de 1 mm

Determine la masa del cilindro antes del refrentado con una aproximación de igual o inferior a 50 gr, es recomendable hacer este registro con precisión a 1 gr.

Coloque el cilindro refrentado a la prensa sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de la probeta como indica la figura:



Figura 30. Posición correcta del espécimen antes de ensayar, (Fuente: elaboración Propia).



Aplique la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme que permita cumplir las siguientes condiciones:

- Alcanzar una franja de rotura igual o superior a 100 segundos.
- No deberá superar la prensa la velocidad de 0.35 N/mm²/segundo.

Registre la carga máxima P , expresada en Kgf.

9.7.3.6 Cálculos matemáticos.

El Área de influencia de la carga “A” se la obtiene según la siguiente expresión:

$$A = \frac{\pi}{4} \times (d_1 + d_2)^2 \cong \text{en función al Diámetro.}$$

$$A = \frac{\rho^2}{4 \times \pi} \cong \text{en función al Perímetro.}$$

La resistencia a compresión “ R_c ” se calcula de la siguiente ecuación:

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

Donde:

R_c : Tensión de rotura (Kg/cm²).

P : Carga máxima aplicada por la prensa de ensayo (Kgf).

A : Sección promedio del espécimen (cm²).

Resultado expresado con una precisión de 1 Kg/cm².

La densidad aparente se obtendrá por la siguiente expresión:

$$D = \frac{W}{A \times h}$$

Donde:

D : Densidad aparente (Kg/m³).

W : Peso del cilindro (Kg).

A : Sección promedio del espécimen (m²).

h : Altura promedio del espécimen (m).

Resultado expresado con una precisión igual o inferior a 10 kg/m³, se recomienda realizar la precisión de 1 Kg/m³.

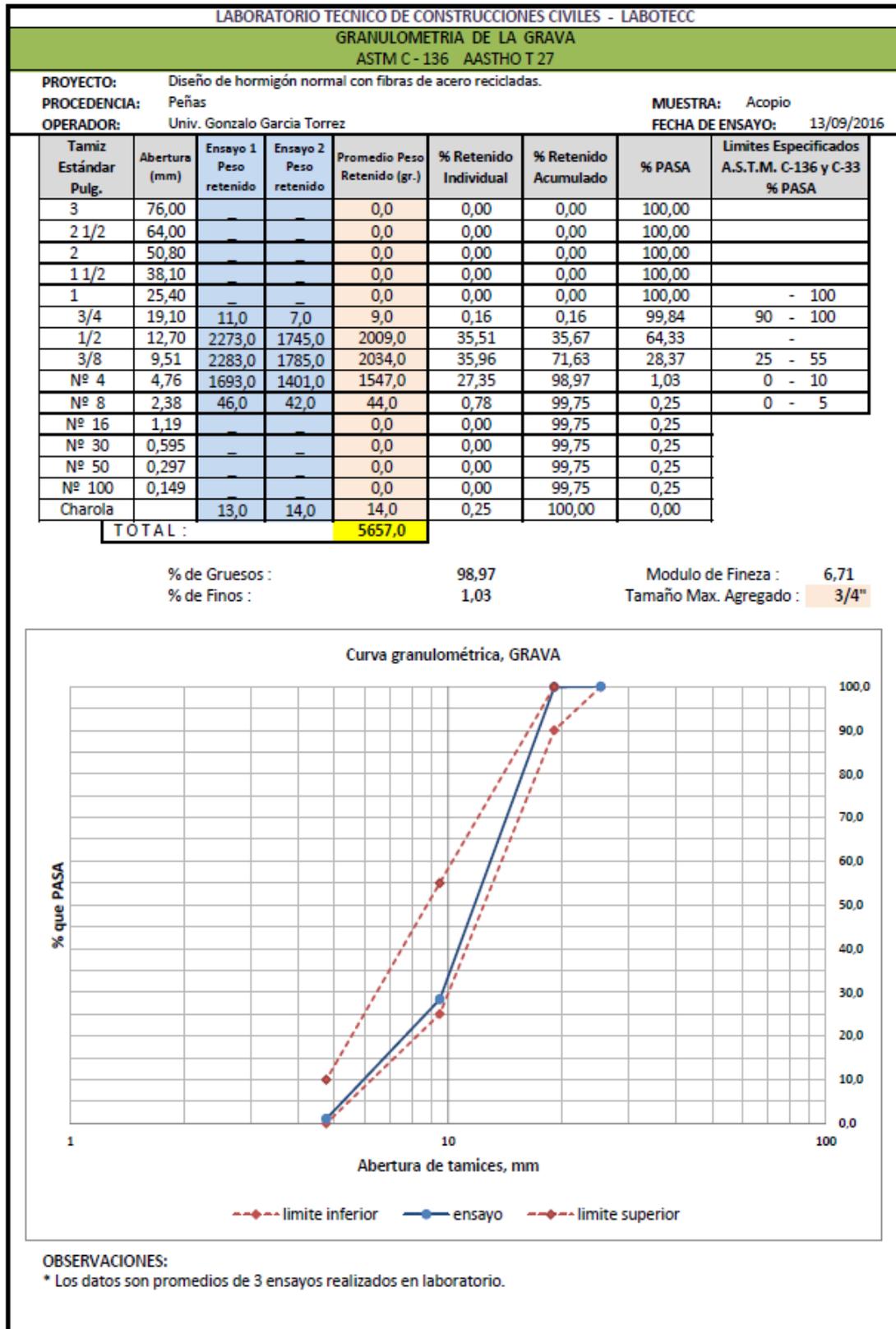
9.8 ANEXOS DE ENSAYOS PRELIMINARES.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC					
PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO					
ASTM C-188, AASHTO T 133					
PROYECTO:	Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.				
PROCEDENCIA:	Soboce	MUESTRA:	IP-30 Viacha "Estándar"		
OPERADOR:	Univ. Gonzalo García Torrez	FECHA DE ENSAYO:	19/09/2016		
MUESTRA N°		1	2	3	4
Peso de la Muestra inicial (gr).	P_0	60,0	60,0	60,0	60,0
Volumen inicial (cm ³).	V_0	0,1	0,5	0,3	0,2
Volumen final (cm ³).	V_f	20,3	20,6	20,7	20,5
Peso específico	$G_{SSS} =$	2,970	2,985	2,941	2,956
PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO	$G_{SSS} =$	2,963 gr/cm³			
<p>Observaciones:</p> <p>* El muestreo se realizo de una bolsa fresca de cemento y según indica la normativa NB-059.</p>					
					

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS



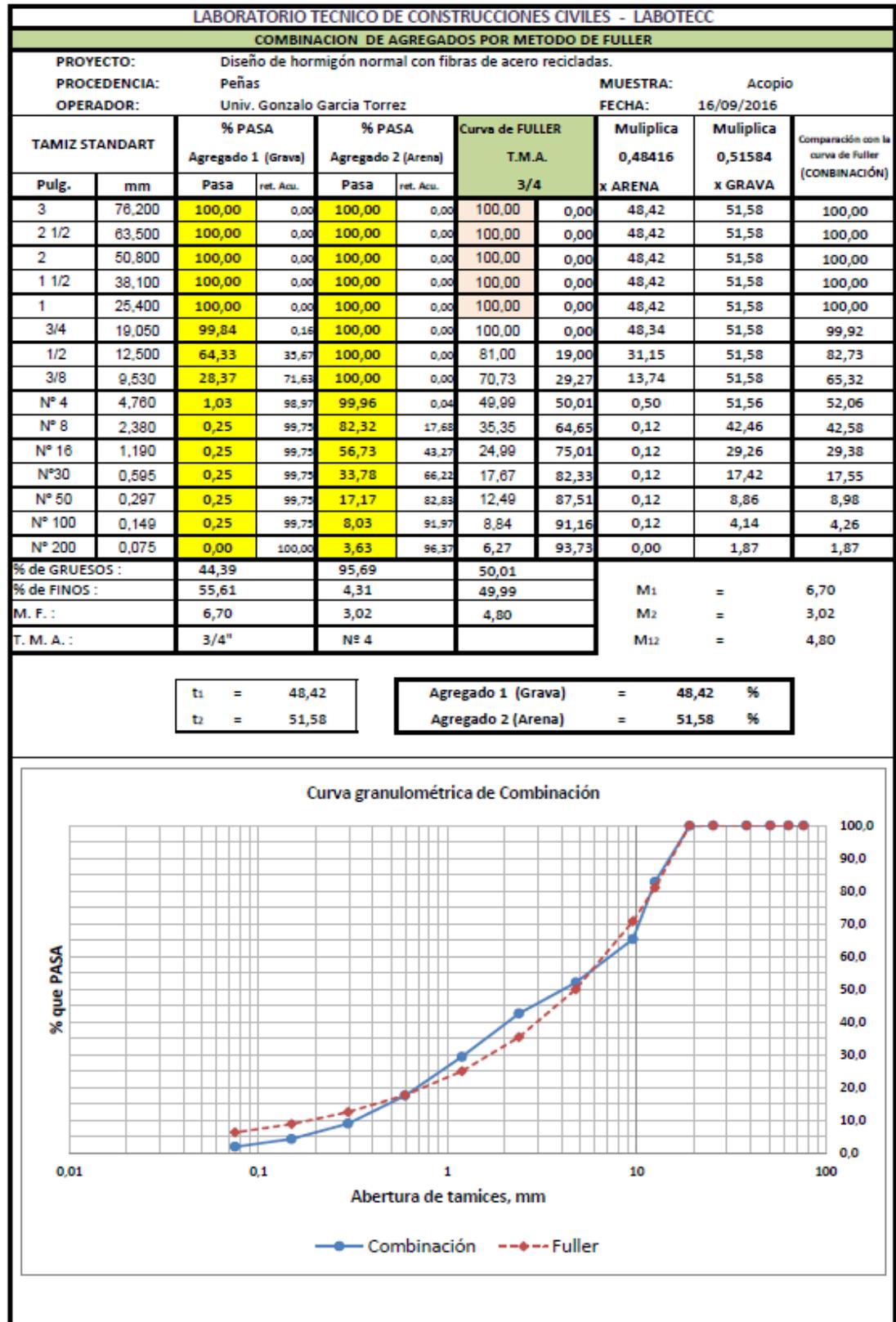
GONZALO GARCIA TORREZ

Página 122

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TÉCNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC									
GRANULOMETRIA DE LA ARENA									
ASTM C - 136 AASTHO T 27									
PROYECTO: Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.					MUESTRA: Acopio				
PROCEDENCIA: Peñas					FECHA DE ENSAYO: 13/09/2016				
OPERADOR: Univ. Gonzalo Garcia Torrez									
Tamiz Estándar Pulg.	Abertura (mm.)	Ensayo 1 Peso retenido	Ensayo 2 Peso retenido	Promedio Peso Retenido (gr.)	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% PASA	% PASA sobre la MUESTRA TOTAL	Limites Especificados A.S.T.M. C-136 y C-33 % PASA
Análisis de Tamices del Agregado Grueso									
Peso muestra total seca :									1017,2 gr.
3	76,00	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
2 1/2	64,00	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
2	50,80	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
1 1/2	38,10	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
1	25,40	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4	19,10	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2	12,70	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/8	9,51	-	-	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00	100
Nº 4	4,76	0,3	0,5	0,4	0,04	0,04	99,96	99,96	95 - 100
TOTAL :				0,4					
Análisis de Tamices del Agregado Fino									
Peso muestra total seca :									1017,2 gr.
Nº 4	4,760	0,3	0,5	0,4	0,04	0,04	99,96	99,96	95 - 100
Nº 8	2,380	178,2	180,6	179,4	17,64	17,68	82,32	82,32	80 - 100
Nº 16	1,190	287,6	233,1	260,4	25,60	43,27	56,73	56,73	50 - 85
Nº 30	0,595	233,7	233,1	233,4	22,95	66,22	33,78	33,78	25 - 60
Nº 50	0,297	167,4	170,5	169,0	16,62	82,83	17,17	17,17	10 - 30
Nº 100	0,149	92,2	93,5	92,9	9,13	91,97	8,03	8,03	2 - 10
Nº 200	0,075	43,7	45,8	44,8	4,40	96,37	3,63	3,63	0 - 2
Charola		12,6	61,1	36,9	3,63	95,60	4,40	4,40	
TOTAL :				1017,2					
% de Guesos : 0,04 % de Finos : 99,96					Modulo de Fineza de la arena : 3,02 modulo de Fineza del Agregado FINO : 3,02				
Curva granulométrica, ARENA									
OBSERVACIONES: * Los datos son promedios de 3 ensayos realizados en laboratorio.									

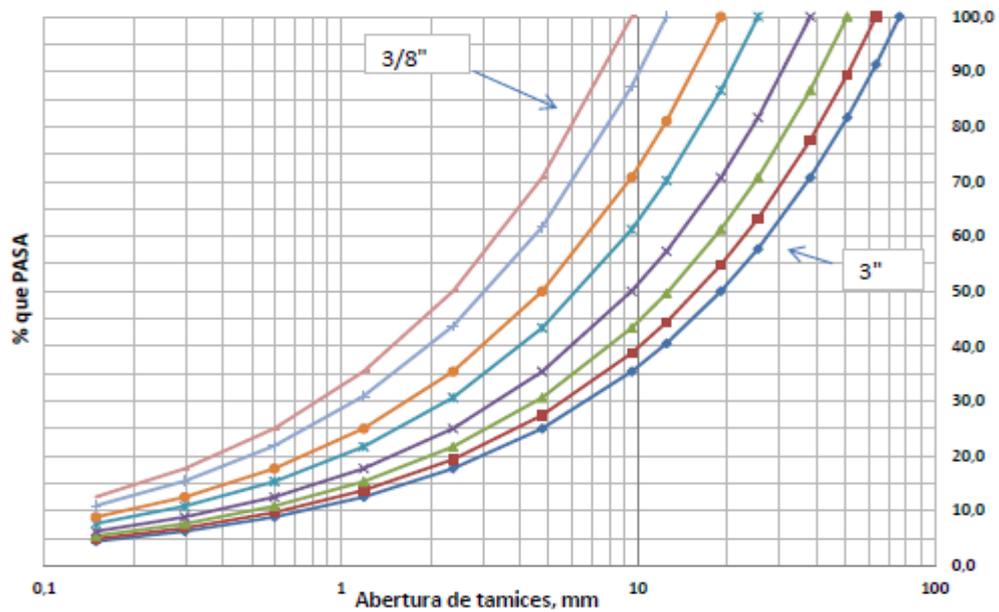
HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS



CURVA DE FULLER

T A M I Z		%PASA	%PASA	%PASA	%PASA	%PASA	%PASA	%PASA	%PASA
pugadas	milímetros	TMA - 3"	TMA - 2 1/2"	TMA - 2"	TMA - 1 1/2"	TMA - 1"	TMA - 3/4"	TMA - 1/2"	TMA - 3/8"
3"	76,200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2 1/2"	63,500	91,29	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,800	81,65	89,44	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,100	70,71	77,46	86,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,400	57,74	63,25	70,71	81,65	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,050	50,00	54,77	61,24	70,71	86,60	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,500	40,50	44,37	49,60	57,28	70,15	81,00	100,00	100,00
3/8"	9,530	35,36	38,74	43,31	50,01	61,25	70,73	87,32	100,00
Nº 4	4,760	24,99	27,38	30,61	35,35	43,29	49,99	61,71	70,67
Nº 8	2,380	17,67	19,36	21,64	24,99	30,61	35,35	43,63	49,97
Nº 16	1,190	12,50	13,69	15,31	17,67	21,64	24,99	30,85	35,34
Nº 30	0,595	8,84	9,68	10,89	12,50	15,31	17,67	21,82	24,99
Nº 50	0,297	6,24	6,84	7,65	8,83	10,81	12,49	15,41	17,65
Nº 100	0,149	4,42	4,84	5,42	6,25	7,66	8,84	10,92	12,50
Nº 200	0,075	3,14	3,44	3,84	4,44	5,43	6,27	7,75	8,87

CURVA GRANULOMETRICA - FULLER -



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC					
PESO ESPECIFICO, ABSORCION Y PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO					
ASTM C-127, AASHTO T-85; ASTM C-29, ASTM E-30					
PROYECTO:	Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.				
PROCEDENCIA:	Peñas	MUESTRA:	Acopio		
OPERADOR:	Univ. Gonzalo Garcia Torrez	FECHA DE ENSAYO:	14/09/2016		
MUESTRA Nº		1	2	3	4
Peso muestra saturada superficialmente seca (gr.)	A	5039	5158	5009	5110
Peso muestra + canastillo sumergido (gr.)	B	4842	4835	4695	4910
Peso canastillo sumergido (gr.)	C	1679	1679	1679	1679
peso muestra sumergida (gr.)	D = B - C	3163	3156	3016	3231
Peso igual al Volumen de agua (gr.)	E = A - D	1876	2002	1993	1879
Peso especifico	F = A / E	2,686	2,576	2,513	2,720
PESO ESPECIFICO PROMEDIO	G sss =	2,624			
Peso muestra seca al horno (gr.)	H	4996	5105	4957	5066
Peso agua absorbida (gr.)	I = A - H	43	53	52	44
Absorción en porcentaje (%)	(I/H)*100	0,86	1,04	1,05	0,87
ABSORCION PROMEDIO	%	0,95			
PESO UNITARIO					
Peso del recipiente (gr.)	A	4454	4454	4454	4454
Volumen del recipiente (cm3.)	B	9804	9804	9804	9804
Peso recipiente + muestra suelta (gr.)	C	18503	18540	18526	18523
Peso muestra suelta (gr.)	D = C - A	14049	14086	14072	14069
Peso unitario suelto (gr/cm3)	P _{us} = D/B	1433,0	1436,8	1435,3	1435,0
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO	Kg/m3	1435,0			
Peso recipiente + muestra compactada (gr.)	F	20028	20050	20042	20064
Peso muestra compactada (gr.)	G = F - A	15574	15596	15588	15610
Peso unitario compactado (gr.)	P _{uc} = G/B	1588,5	1590,8	1590,0	1592,2
PESO UNITARIO COMPACTADO PROMEDIO	Kg/m3	1590,4			
PORCENTAJE DE HUECOS DEL AGREGADO GRUESO					
Peso especifico promedio	G sss =	2,624			
Peso unitario del agua	gr/cm3	0,99946	a Temperatura: 13 °C.		
Peso unitario promedio	Kg/m3	1590,37			
PORCENTAJE DE HUECOS	% H	39,39			

Observaciones:

* No registra



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC					
PESO ESPECIFICO, ABSORCION Y PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO					
ASTM C-128, AASHTO T-84; ASTM C-29, ASTM E-30					
PROYECTO:	Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.				
PROCEDENCIA:	Peñas	MUESTRA:		Acopio	
OPERADOR:	Univ. Gonzalo Garcia Torrez	FECHA DE ENSAYO:		14/09/2016	
MUESTRA N°		1	2	3	4
Peso del frasco volumétrico vacío (gr.)	A	251,3	251,3	251,3	251,3
Peso del frasco lleno de agua (gr.)	B	749,5	749,5	749,5	749,5
Peso muestra saturada superficialmente seca (gr.)	C	513,8	512,5	513,5	513,7
peso frasco + agua + muestra (gr.)	D	1071,0	1070,8	1070,4	1070,7
Peso del agua añadida (gr.)	E = D-A-C	305,90	307,00	305,60	305,70
Capacidad del frasco	F = B - A	498,20	498,20	498,20	498,20
Peso del agua desplazada	G = F - E	192,30	191,20	192,60	192,50
Peso Especifico	H = C/G	2,672	2,680	2,666	2,669
PESO ESPECIFICO PROMEDIO	G sss =	2,672			
Peso muestra seca al horno (gr.)	I	506,2	505,6	505,4	505,6
Peso agua absorbida (gr.)	J = C - I	7,60	6,90	8,10	8,10
Absorción en porcentaje (%)	(J/I)*100	1,50	1,36	1,60	1,60
ABSORCION PROMEDIO	%	1,52			
PESO UNITARIO					
Peso del recipiente (gr.)	A	4454	4454	4454	4454
Volumen del recipiente (cm3.)	B	2853	2853	2853	2853
Peso recipiente + muestra suelta (gr.)	C	9121	9198	9154	9173
Peso muestra suelta (gr.)	D = C - A	4667	4744	4700	4719
Peso unitario suelto (gr/cm3)	Pus = D/B	1635,8	1662,8	1647,4	1654,0
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO	Kg/m3	1650,0			
Peso recipiente + muestra compactada (gr.)	F	9775	9784	9785	9780
Peso muestra compactada (gr.)	G = F - A	5321	5330	5331	5326
Peso unitario compactado (gr.)	Puc = G/B	1865,1	1868,2	1868,6	1866,8
PESO UNITARIO COMPACTADO PROMEDIO	Kg/m3	1867,2			
PORCENTAJE DE HUECOS DEL AGREGADO FINO					
Peso específico promedio	G sss =	2,672			
Densidad del agua	gr/cm3	0,99946	a Temperatura: 13 °C.		
Peso unitario promedio	Kg/m3	1867,16			
PORCENTAJE DE HUECOS	% H	30,11			

Observaciones:

* No registra



9.9 ANEXOS DE ENSAYOS ADICIONALES.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC					
PESO ESPECIFICO DE LAS FIBRAS DE ACERO					
ENSAYO SEGÚN NORMA ASTM C-127, AASHTO T-85					
PROYECTO:	Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.				
PROCEDENCIA:	Boliviana	MUESTRA:	fibras de acero onduladas, D= 0,49 mm		
OPERADOR:	Univ. Gonzalo Garcia Torrez	FECHA DE ENSAYO:	14/09/2016		
MUESTRA N°		1	2	3	4
Peso muestra saturada superficialmente seca (gr.)	A	5,5	5,7	6,8	6,3
peso muestra sumergida (gr.)	B	0,7	0,7	0,9	0,8
Peso igual al Volumen de agua (gr.)	C = A - B	4,8	5	5,9	5,5
Peso especifico	F = A / C	1,146	1,140	1,153	1,145
PESO ESPECIFICO PROMEDIO	G sss =	1,146	gr/cm3		
Peso unitario del agua	gr/cm3	0,99946	a Temperatura: 13 °C.		

Observaciones:

* Las fibras de acero tienen un diámetro de 0,49 mm y un largo de 50 mm aproximadamente.

** Este ensayo fue realizado bajo el principio de Arquimedes y normativa ASTM C-127, AASHTO T-85.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC						
DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES						
ASTM C-131 ; AASHTO T-96						
PROYECTO:		Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.				
PROCEDENCIA:		Peñas	MUESTRA:		Acopio	
OPERADOR:		Univ. Gonzalo Garcia Torrez	FECHA DE ENSAYO:		13/09/2016	
METODO A APLICAR			A	B	C	D
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO		=	1 1/2"	3/4"	3/8"	Nº 4
(mm)	(Pulg)					
37,5 - 25,0	1 1/2" - 1"	(gr)	1250 ± 25			
25,0 - 19,0	1" - 3/4"	(gr)	1250 ± 25			
19,0 - 12,5	3/4" - 1/2"	(gr)	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5 - 9,5	1/2" - 3/8"	(gr)	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5 - 6,3	3/8" - 1/4"	(gr)			2500 ± 10	
6,3 - 4,75	1/4" - Nº 4	(gr)			2500 ± 10	
4,75 - 2,36	Nº 4 - Nº 8	(gr)				5000 ± 10
Masa inicial de muestra		(gr)	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
ESFERAS			12	11	8	6
Peso de las esferas		(gr)	5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 25	2500 ± 15
DATOS DEL ENSAYO						
19,0 - 12,5	3/4" - 1/2"			2503		
12,5 - 9,5	1/2" - 3/8"			2501		
TOTAL		(gr)		5004		
ESFERAS				11		
Peso de las esferas		(gr)		4593		
Peso de la muestra final		(gr)		4161		
Peso de la muestra seca Ret. Tamiz Nº 12		(gr)		4145		
DESGASTE		%	17,17			

Observaciones:
* No registra



9.10 ANEXOS DE DOSIFICACIÓN Y PLANILLAS DE ROTURA.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC			
DOSIFICACIÓN DE HORMIGON (A.C.I. - 318) y (A.C.I. - 211,1-91)			
PROYECTO:	Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.		
PROCEDENCIA:	Peñas	MUESTRA:	Acopio
OPERADOR:	Univ. Gonzalo Garcia Torrez	FECHA:	17/09/2016
Datos:			
Peso Espec. CEMENTO:	2,963	gr/cm ³	
	ARENA	GRAVA	Unidades
Peso Especifico (S.S.S.):	2,672	2,624	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto (PUS):	1630	1435	Kg/m ³
Peso Unit. Compact. (PUC):	1867	1590	Kg/m ³
Absorción:	1,32	0,95	%
Humedad:	1,48	0,37	%
Granulometría	Gruesos:	0,04	98,97 %
	Finos:	99,96	1,03 %
	T.M.A.:	Nº 4	3/4"
	M.F.:	3,02	6,71
"Fck" de Diseño:	210		Kg/cm ²
Asentamiento "S":	5		cm.
DATOS ADICIONALES:			
* Se realizara una mezcla patrón para lo cual se ira añadiendo fibras de acero en porcentajes que va de 3%, 7%, 11% y 16%, para lo cual se realizara una comparación de todos los elementos ensayados según el tiempo lo requiera.			
Resistencia Característica Media:			
	"Fck"	"fcm"	
	210 Kg/cm ²	294 Kg/cm ²	
Calculo de la cantidad de agua:			
Adoptamos:			
	190,00 Lts/M ³	Aire atrapado:	2,00 %
Relación Agua - Cemento:			
A/C =	0,56	Cantidad de cemento:	Cantidad de grava:
		Cemento: 341 Kg/M ³	Grava: 951 Kg/M ³
Cantidad de arena:			
Arena:	835 Kg/M ³		
Corrección Granulométrica:			
Total del agregado:			
	1786 Kg/M ³		
Corrección Granulométrica por la COMBINACIÓN DE FULLER:			
	% Grava = 48,42	Cantidades reales:	Grava = 865 Kg/M ³
	% Arena = 51,58		Arena = 921 Kg/M ³
CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE PRUEBA			
RESUMEN: CANTIDADES OBTENIDAS PATRONES, (Estado S.S.S.)			
Para : 1 M ³ de H ²			
Cemento	=	341 Kg.	
Arena	=	921 Kg.	
Grava	=	865 Kg.	
Agua	=	190 Lts.	
Σ	=	2317	= CUMPLE : 2200 - 2400 Kg/m ³
RESUMEN: Cantidades corregidos por Humedad y Absorción en la muestra patrón de prueba.			
Para : 1 M ³ de H ² condiciones SSS	Para : 14 Lts.	Agua retenida	
Cemento = 341 Kg.	= 4,774 Kg.	0,200 Lts.	
Arena = 935 Kg.	= 13,089 Kg.		
Grava = 868 Kg.	= 12,152 Kg.	Agua adicional	
Agua = 195 Lts.	= 2,734 Lts.	0,000 Lts.	
Σ = 2339 Kg.			
2 Cilindros normalizados de Prueba.			
Peso Unitario del Hormigón fresco:			
Peso H ² + Recip. :	11261 gr.	Peso Unitario del H ² :	2386 Kg/m ³
Peso Recip. :	4454 gr.		Rango : 2200 - 2400 Kg/m ³
Vol. Del Recip. :	2853 cm ³		
Rendimiento: R :	0,01364220		

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TÉCNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC			
CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE DISEÑO			
NUEVAS CANTIDADES CORREGIDAS			
Cantidades corregidas para : 1 M3 de H'		Para : 108 Lts.	
Cemento	= 350 Kg.	= 37,79 Kg.	
Arena	= 959 Kg.	= 103,62 Kg.	
Grava	= 891 Kg.	= 96,20 Kg.	
Agua	= 186 Lts.	= 20,06 Lts.	
Volumen calculado para:	8 Cilindros normalizados de Diseño. 4 Vigas normalizadas de Diseño.		
CANTIDADES corregidos por Humedad y Absorción			
Para : 1 M3		Para : 51 Lts.	
Cemento	= 350 Kg.	= 17,847 Kg.	
Arena	= 976 Kg.	= 49,774 Kg.	
Grava	= 895 Kg.	= 45,660 Kg.	
Agua	= 188 Lts.	= 9,575 Lts.	
Volumen calculado para:	4 Vigas normalizadas con el 3% de fibras de acero. Porcentaje al peso del Cemento = 535 gr.		
CANTIDADES corregidos por Humedad y Absorción			
Para : 1 M3		Para : 51 Lts.	
Cemento	= 350 Kg.	= 17,847 Kg.	
Arena	= 978 Kg.	= 49,892 Kg.	
Grava	= 897 Kg.	= 45,764 Kg.	
Agua	= 183 Lts.	= 9,354 Lts.	
Volumen calculado para:	4 Vigas normalizadas con el 7% de fibras de acero. Peso de fibras de acero = 1249 gr.		
CANTIDADES corregidos por Humedad y Absorción			
Para : 1 M3		Para : 51 Lts.	
Cemento	= 350 Kg.	= 17,847 Kg.	
Arena	= 979 Kg.	= 49,941 Kg.	
Grava	= 898 Kg.	= 45,787 Kg.	
Agua	= 182 Lts.	= 9,282 Lts.	
Volumen calculado para:	4 Vigas normalizadas con el 11% de fibras de acero. Peso de fibras de acero = 1963 gr.		
CANTIDADES corregidos por Humedad y Absorción			
Para : 1 M3		Para : 51 Lts.	
Cemento	= 350 Kg.	= 17,847 Kg.	
Arena	= 980 Kg.	= 49,980 Kg.	
Grava	= 898 Kg.	= 45,791 Kg.	
Agua	= 181 Lts.	= 9,238 Lts.	
Volumen calculado para:	4 Vigas normalizadas con el 16% de fibras de acero. Peso de fibras de acero = 2856 gr.		
CANTIDADES corregidos por Humedad y Absorción			
Para : 1 M3		Para : 26 Lts.	
Cemento	= 350 Kg.	= 9,099 Kg.	
Arena	= 1002 Kg.	= 26,026 Kg.	
Grava	= 897 Kg.	= 23,331 Kg.	
Agua	= 160 Lts.	= 4,147 Lts.	
Volumen calculado para:	2 Vigas normalizadas con el 20,5% de fibras de acero. Peso de fibras de acero = 1865 gr.		

HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TÉCNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC														
PLANILLA DE ROTURA DE PROBETAS CILINDRICAS														
ASTM C-39 ; AASHTO T 22														
PROYECTO:		Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.												
PROCEDENCIA:		Muestras elaboradas en LABOTECC.					MUESTRA: 10 Cilindros, 8 de Diseño y 2 de prueba (hormigón patrón).							
OPERADOR:		Univ. Gonzalo García Torrez												
Nº	Muestra	Fecha Vaciado	Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones (cm)		Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso Específico (gr/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)
			Fecha	Hrs.			P (centímetros)	H (alturas)						
1	A	21-09-16	24-09-16	15:00:00	3	13050	48,0	30,0	183,35	5500,39	2,373	23080	125,9	121,3
2	B	21-09-16	24-09-16	15:00:00	3	13084	48,1	30,0	184,11	5523,34	2,369	21490	116,7	
3	C	21-09-16	28-09-16	17:00:00	7	13065	48,2	29,9	184,88	5527,84	2,363	31880	172,4	
4	D	21-09-16	28-09-16	17:00:00	7	13120	48,1	30,0	184,11	5523,34	2,375	30900	167,8	170,1
5	E	21-09-16	05-10-16	17:00:00	14	13176	48,2	30,0	184,88	5546,33	2,376	40630	219,8	
6	F	21-09-16	05-10-16	17:00:00	14	13241	48,0	30,3	183,35	5555,40	2,383	34400	187,5	203,7
7	G	21-09-16	19-10-16	16:30:00	28	13760	48,1	30,4	184,11	5596,98	2,458	45560	247,5	
8	H	21-09-16	19-10-16	16:30:00	28	13608	48,0	30,0	183,35	5500,39	2,474	43160	235,4	241,4
9	prueba 1	20-09-16	18-10-16	16:30:00	28	13316	48,2	30,0	184,88	5546,33	2,401	42020	227,3	
10	prueba 2	20-09-16	18-10-16	16:30:00	28	13180	48,2	30,0	184,88	5546,33	2,376	43900	237,5	232,4

Curvas Resultantes

OBSERVACIONES:

- * La resistencia probable de 210 Kg/cm², es referencial al Código Boliviano del Hormigón (CBH-87).
- * Los especímenes fueron curados sumergidos en agua, en cámara húmeda a 23 °C de temperatura y humedad superior a 60% como indica la norma ASTM 192 ; AASHTO T 126




HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TECNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC																
PLANILLA DE ROTURA DE VIGAS PRISMATICAS																
ASTM C-78 ; AASHTO T 97																
PROYECTO:		Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.														
PROCEDENCIA:		Muestras elaboradas en LABOTECC						MUESTRA: 4 Vigas de Diseño (hormigón patrón).								
OPERADOR:		Univ. Gonzalo García Torrez														
Nº	Muestra	Fecha Vaciado		Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso Especifico (gr/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (Kg/cm ²)	
		Fecha	Hrs.	Fecha	Hrs.			A (mm)	H (mm)	L (mm)						
1	A	21-09-16		28-09-16	18:00:00	7	29585	15,2	14,9	53,1	12026	2,377	1477	19,7	27,9	
2	B	21-09-16		28-09-16	18:00:00	7	29802	15,0	15,5	53,4	12416	2,400	1527	19,1		
3	C	21-09-16		19-10-16	17:00:00	28	29683	15,5	15,2	53,50	12805	2,355	2217	27,9		
4	D	21-09-16		19-10-16	17:00:00	28	29551	15,1	15,4	53,50	12441	2,375	2227	28,0		
								L E (área de influencia)		45,0		Tipo de Rotura =		Terco central		

Curva Resultante

—●— Datos del Ensayo —■— Resistencia probable (CBH-87)

Edad (días)	Resistencia (Kg/cm ²) - Datos del Ensayo	Resistencia (Kg/cm ²) - Resistencia probable (CBH-87)
0	0	0
1	10	10
2	15	15
3	18	18
4	20	20
5	21	21
6	22	22
7	23	22
8	24	23
9	25	24
10	26	25
11	27	26
12	28	27
13	29	28
14	30	29
15	31	30
16	32	31
17	33	32
18	34	33
19	35	34
20	36	35
21	37	36
22	38	37
23	39	38
24	40	39
25	41	40
26	42	41
27	43	42
28	44	43
29	45	44
30	46	45

OBSERVACIONES:

- * Los especímenes fueron curados sumergidos en agua, en cámara húmeda a 23 °C de temperatura y humedad superior a 60% como indica la norma ASTM 192 ; AASHTO T 126
- ** La resistencia probable de rotura a flexión es reflejo del 10% a 15% según el Reglamento: ACI 318S y comentarios, apartado 10.2.5 y R10.2.5
- *** El porcentaje probable de resistencia esta basada en la normativa. CBH-87, Tabla: 3.4.c




HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

LABORATORIO TÉCNICO DE CONSTRUCCIONES CIVILES - LABOTECC																
PLANILLA DE ROTURA DE VIGAS PRISMÁTICAS																
ASTM C-78 ; AASHTO T 97																
PROYECTO:		Diseño de hormigón normal con fibras de acero recicladas.														
PROCEDENCIA:		Muestras elaboradas en LABOTECC						MUESTRA: 18 Vigas de Diseño.								
OPERADOR:		Univ. Gonzalo Garcia Torres														
Rotura de Vigas prismáticas con el 3% de fibras de acero.																
NF	Muestra	Fecha Vaciado		Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso Específico (kg/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	
		Fecha	Hrs.	Fecha	Hrs.			A (anchura)	H (altura)	L (longitud)						
1	E	23-09-18		30-09-18	17:45:00	7	29560	14,7	16,4	63,4	12080	2,445	1917	24,7	24,8	
2	F	23-09-18		30-09-18	17:45:00	7	28248	16,0	16,0	63,1	11948	2,368	1827	24,4		
3	G	23-09-18		21-10-18	18:00:00	28	30298	16,2	16,0	63,30	12152	2,411	2737	36,0		
4	H	23-09-18		21-10-18	18:00:00	28	29384	16,0	16,1	63,40	12005	2,428	2627	34,8		
								L E (línea de influencia) =			45,0	Tipo de Rotura =		Tercio central		
Rotura de Vigas prismáticas con el 7% de fibras de acero.																
NF	Muestra	Fecha Vaciado		Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso Específico (kg/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	
		Fecha	Hrs.	Fecha	Hrs.			A (anchura)	H (altura)	L (longitud)						
1	I	24-09-18		01-10-18	11:30:00	7	28932	16,3	16,1	63,1	12288	2,368	2177	28,1	28,7	
2	J	24-09-18		01-10-18	11:30:00	7	29095	16,3	16,2	63,3	12305	2,420	2257	29,2		
3	K	24-09-18		22-10-18	10:30:00	28	30048	16,2	16,4	63,3	12476	2,408	3327	40,3		
4	L	24-09-18		22-10-18	10:30:00	28	30185	16,4	16,4	63,4	12664	2,383	3127	38,5		
								L E (línea de influencia) =			45,0	Tipo de Rotura =		Tercio central		
Rotura de Vigas prismáticas con el 11% de fibras de acero.																
NF	Muestra	Fecha Vaciado		Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso Específico (kg/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	
		Fecha	Hrs.	Fecha	Hrs.			A (anchura)	H (altura)	L (longitud)						
1	M	26-09-18		03-10-18	17:00:00	7	30020	16,3	16,4	63,4	12582	2,388	2457	30,8	31,2	
2	N	26-09-18		03-10-18	17:00:00	7	29398	16,3	16,0	63,1	12188	2,412	2427	31,7		
3	O	26-09-18		24-10-18	17:30:00	28	30144	16,2	16,4	63,4	12500	2,412	3217	40,2		
4	P	26-09-18		24-10-18	17:30:00	28	30360	16,2	16,2	63,4	12338	2,484	3367	43,1		
								L E (línea de influencia) =			45,0	Tipo de Rotura =		Tercio central		
Rotura de Vigas prismáticas de diseño con el 16% de fibras de acero.																
NF	Muestra	Fecha Vaciado		Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso Específico (kg/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	
		Fecha	Hrs.	Fecha	Hrs.			A (anchura)	H (altura)	L (longitud)						
1	Q	27-09-18		04-10-18	17:30:00	7	30230	16,3	16,4	63,4	12582	2,408	2437	32,7	32,8	
2	R	27-09-18		04-10-18	17:30:00	7	30332	16,4	16,2	63,3	12476	2,431	2507	33,0		
3	S	27-09-18		26-10-18	18:10:00	28	29522	16,0	16,3	63,1	12188	2,431	3357	43,0		
4	T	27-09-18		25-10-18	18:10:00	28	30408	16,2	16,2	63,4	12338	2,486	3327	42,6		
								L E (línea de influencia) =			45,0	Tipo de Rotura =		Tercio central		
Rotura de Vigas prismáticas de diseño con el 20,5% de fibras de acero.																
NF	Muestra	Fecha Vaciado		Fecha Ensayo		Edad en Días	Peso (gr)	Dimensiones			Volumen (cm ³)	Peso Específico (kg/cm ³)	Carga de Rotura (Kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	
		Fecha	Hrs.	Fecha	Hrs.			A (anchura)	H (altura)	L (longitud)						
1	U	08-05-18		05-05-18	18:30:00	28	28664	16,2	16,2	63,2	12291	2,382	2367	38,3	38,8	
2	V	08-05-18		05-05-18	18:30:00	28	28813	16,2	16,3	63,4	12419	2,320	3277	41,4		
								L E (línea de influencia) =			45,0	Tipo de Rotura =		Tercio central		

Curvas Comparativas, Vigas

El gráfico muestra la evolución de la resistencia a compresión de las vigas a lo largo de 30 días. La muestra patrón (línea negra) alcanza una resistencia de aproximadamente 28 kg/cm² a los 7 días. Las vigas con 3% de fibras (línea azul) alcanzan unos 38 kg/cm² a los 28 días. Las vigas con 7% de fibras (línea verde) alcanzan unos 40 kg/cm². Las vigas con 11% de fibras (línea roja) alcanzan unos 42 kg/cm². Las vigas con 16% de fibras (línea morada) alcanzan unos 43 kg/cm². Las vigas con 20,5% de fibras (línea naranja) alcanzan unos 44 kg/cm². Todas las curvas muestran un comportamiento típico de hormigón, con un aumento rápido de resistencia en los primeros días que se estabiliza después de 7 días.

OBSERVACIONES:
 * Los especímenes fueron curados sumergidos en agua, en cámara húmeda a 23 °C de temperatura y humedad superior a 90% como indica la norma ASTM 192 ; AASHTO T 126

9.11 ANEXOS DE IMÁGENES DE LOS ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS ADICIONALES.



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

1. Acopio de los agregados en el banco de origen, (Fuente: Elaboración propia).



2. Proceso de cuarteo manual de la grava, (Fuente: Elaboración propia).



3. Cuarteo mecánico del agregado grueso, (Fuente: Elaboración propia).



4. Serie gruesa de tamices y ensayo de granulometría, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

5. Cuarteo mecánico del agregado fino, (Fuente: Elaboración Propia).



6. Serie fina de tamices y ensayo de granulometría, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

7. Saturación de muestras de grava para el Ensayo de peso Específico y Absorción, (Fuente: Elaboración Propia).



8. Máquina de los Ángeles y proceso del ensayo de desgaste por abrasión, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS



9. Procedimiento del ensayo del Peso Específico y Absorción de la arena, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS



10. Calibración de los recipientes para el ensayo de Peso Unitario de los agregados, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

11. proceso del ensayo de Peso Unitario Suelto de la arena, (Fuente: Elaboración Propia).



12. Proceso del ensayo de Peso Unitario Compactado de la arena, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

13. Proceso del ensayo de Peso Unitario Suelto y Compactado de la grava, (Fuente: Elaboración Propia).



14. Proceso del ensayo de la Densidad del Cemento, (Fuente: Elaboración Propia).





15. Determinación del Peso Específico de las fibras de acero por el principio de Arquímedes, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

16. Proceso de mezclado de los ingredientes y ensayos de Asentamiento y Peso Unitario del hormigón fresco, (Fuente: Elaboración Propia).





17. Elaboración de probetas, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

18. Adición de fibras de acero al hormigón y elaboración de Vigas, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

19. Rotura de cilindros a compresión y vigas a flexo-tracción de hormigón normal, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

20. Ensayo de vigas a flexo-tracción con adición de fibras de acero en el hormigón, (Fuente: Elaboración Propia).



21. Detalle de vigas ensayadas a flexo-tracción de hormigón con adición de fibras de acero recicladas, (Fuente: Elaboración Propia).



HORMIGÓN NORMAL CON FIBRAS DE ACERO RECICLADAS

