

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA FIBRA DE ACERO  
EN EL ESFUERZO A FLEXIÓN DEL CONCRETO  
PARA UN "f'c=280 kg/cm<sup>2</sup>"**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**SEGUNDO LUIS ORTIZ BARBOZA**

**ASESOR:**

**M. en Ing. HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2015**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, a mis padres, a mis hermanos y a la Universidad de Nacional de Cajamarca y Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por mi formación académica.*

*De manera muy especial hago llegar mi agradecimiento al asesor de esta tesis M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza, por su apoyo en el presente trabajo.*

*A mis jurados que hicieron posible la culminación de este trabajo:*

- *Presidente* : *Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón*
- *Vocal* : *Ing. José Lázaro Lezama Leiva*
- *Secretario* : *Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno*

## **DEDICATORIA**

### **A MI MADRE**

*Felicita Barboza Gil, por darme la vida, su inmenso amor, fuerza, ternura y apoyo en el camino de la vida.*

### **A MI PADRE**

*Luis Ortiz Mejía, por amarme, por creer siempre en mí y encaminarme hacia un mejor futuro.*

*A MIS HERMANOS: José Walter, Norvil Luis, Doris, Sadith, Luis Alberto, Juan Eugenio, José Weyder y Jhimmy Set.*

*Por ser los compañeros incondicionales en el camino de la superación y por compartir siempre mis alegrías, logros y tristezas.*

*A Yadira, por su apoyo emocional y estar siempre a mi lado en la etapa de universitarios y en el momento.*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema de investigación.....	2
1.2 Formulación del problema:.....	3
1.3 Justificación de la investigación:.....	3
1.3.1 Delimitación del problema.....	3
1.4 Alcances de la investigación:.....	3
1.4.1 Tipo de enfoque a utilizar en la investigación.....	4
1.5 Objetivos:.....	4
1.5.1 Objetivo General:.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos:.....	4
1.6 Hipótesis de la investigación:.....	5
1.6.1 Hipótesis General:.....	5
1.6.2 Variables de la investigación.....	5
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes teóricos.....	7
2.1.1 Antecedentes.....	7
2.1.2 Primeras experiencias.....	7
2.1.3 Consolidación y situación actual.....	8
2.1.4 Concreto normal.....	9
2.1.5 Componentes del concreto.....	9
2.1.6 Revisión histórica del concreto reforzado con fibras.....	10
2.1.7 Antecedentes internacionales.....	10
2.1.8 Antecedentes nacionales.....	13

2.1.9	Antecedentes locales.....	16
2.2	Bases teóricas.....	16
2.2.1	Concreto reforzado con fibras de acero (CRFA).....	16
2.2.2	Componentes del CRFA.....	17
2.2.3	Fibras de acero.....	29
2.2.4	Comportamiento mecánico del CRFA.....	32
2.2.5	Definición de términos básicos.....	40
3	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
3.1	Ubicación geográfica.....	44
3.2	Procedimiento.....	44
3.2.1	Muestra.....	44
3.2.2	Unidad de análisis.....	45
3.2.3	Procedimiento y técnicas de recolección de datos.....	46
3.3	Materiales, equipos y herramientas.....	47
3.3.1	Materiales utilizados en la investigación.....	47
3.3.2	Equipos y herramientas utilizados en la investigación.....	47
3.4	Propiedades físico mecánicas del agregado.....	48
3.4.1	Estudio de las características físicas y mecánicas de los agregados.....	48
3.5	Fibra de acero.....	55
3.6	Cemento.....	55
3.7	Agua.....	56
3.8	Sikament 290N.....	56
3.9	Procedimiento para el diseño de mezclas.....	56
3.10	Elección del porcentaje óptimo de Sikament 290N.....	59
3.11	Proceso de diseño de mezcla de prueba mediante el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.....	60
3.11.1	Proceso de ajuste de mezcla.....	61
3.11.2	Adición de fibra de acero en el diseño de mezcla.....	63
3.11.3	Elaboración de especímenes de concreto.....	65
3.11.4	Curado de los especímenes de concreto.....	66

3.12	Ensayo del concreto fresco.....	67
3.12.1	Asentamiento o Slump.....	67
3.12.2	Contenido de Aire – Método Gravimétrico.....	68
3.12.3	Ensayos de Concreto Endurecido:.....	68
4	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>75</b>
4.1	Elección del porcentaje óptimo de Sikament 290N.....	75
4.2	Análisis de peso unitario del concreto.....	76
4.3	Análisis de la resistencia a compresión.....	80
4.4	Análisis de la resistencia a flexión.....	82
4.5	Análisis del módulo de elasticidad.....	87
4.6	Análisis de la ductilidad.....	90
4.7	Análisis del tipo de falla de especímenes a compresión:.....	90
4.8	Análisis del modo de falla de especímenes a compresión y flexión.....	91
5	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>93</b>
5.1	<b>Conclusiones.....</b>	<b>93</b>
5.2	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>94</b>
6	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>96</b>
6.1	Libros.....	96
6.2	Investigaciones:.....	96
6.3	Normas:.....	97
7	<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>
7.1	Anexo I tablas para propiedades físico mecánicas de agregados.....	100
7.2	Anexo II propiedades físico mecánicas de agregados.....	105
7.3	Anexo III Certificado del laboratorio de materiales.....	115
7.4	Anexo IV hoja técnica de la fibra de acero utilizada en el estudio.....	116
7.5	Anexo V hoja técnica del Sikament 290N.....	118
7.6	Anexo VI ficha técnica del Cemento Pacasmayo tipo ICo utilizado en los ensayos.....	120
7.7	Anexo VII tablas para el diseño de mezclas.....	121
7.8	Anexo VIII diseño de mezclas de concreto.....	124

7.8.1	Diseño Mezcla de prueba.....	124
7.8.2	Corrección mediante la ley de POWERS.....	128
7.8.3	Diseño de mezclas corregido.....	129
7.8.4	Diseño de mezclas para el concreto adicionado con 30kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	133
7.8.5	Diseño de mezclas para el concreto adicionado con 50kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	137
7.8.6	Diseño de mezclas para el concreto adicionado con 70kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	141
7.9	Anexo IX resultados de los ensayos en laboratorio.....	145
7.10	Anexo X gráficos de esfuerzo vs deformación de los especímenes de concreto ensayados.....	148
7.10.1	Ensayo a compresión para la muestra sin fibra de acero.....	148
7.10.2	Ensayo a compresión usando 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	149
7.10.3	Ensayo a compresión usando 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	150
7.10.4	Ensayo a compresión usando 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	151
7.10.5	Ensayo a flexión para la muestra sin fibra de acero.....	152
7.10.6	Ensayo a flexión usando 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	153
7.10.7	Ensayo a flexión usando 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	154
7.10.8	Ensayo a flexión usando 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra de acero.....	155
7.11	Anexo XII panel fotográfico.....	156
7.11.1	Ensayos de los agregados.....	156
7.11.2	Preparación, curado y roturas de los testigos realizados en laboratorio.....	160
7.11.3	Ensayos en estado fresco.....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.	Proporciones típicas en volumen absoluto de componentes del concreto.....	9
Figura 1.	Diagrama flexión-deformación.....	11
Figura 2.	Diagrama Carga vs. Flecha en un ensayo a flexión para un CRFA.....	11

Figura 3. Resistencias a compresión y a flexión a 28 días de edad.....	14
Figura 4. Valores de las resistencias residuales. ....	15
Figura 6. Secciones de las fibras más comunes.....	30
Figura 7. Formas geométricas de las fibras. ....	30
Figura 8. Relación carga-desplazamiento para rotura de fibras (tracción).....	32
Figura 9. Relación carga- desplazamiento para deslizamiento de fibras (Compresión). .....	33
Figura 10. Diagrama esfuerzo de compresión vs. Deformación.....	34
Figura 11. Diagrama esfuerzo de flexión vs deformación.....	35
Figura 14. Equipo de ensayo para slump: Cono de Abrams. ....	37
Figura 13. Diagrama del circuito experimental para la evaluación del concreto fibroreforzado. ....	46
Figura 15. Proceso de medida para Slump.....	67
Figura 16. Esquema de los patrones de tipos de fractura. ....	70
Figura 17. . Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro.....	71
Figura 18. Variación del peso unitario para diferentes dosificaciones.....	76
Figura 19. Variación porcentual del peso unitario del concreto fresco para cada porcentaje de fibra respecto al concreto sin fibra.....	77
Figura 20. Peso Unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra de acero.....	78
Figura 21. Variación porcentual del peso unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra respecto al concreto patrón...79	
Figura 22. Resistencia promedio a la compresión de los diferentes especímenes de concreto evaluados.....	80
Figura 23. Variación porcentual de la resistencia a compresión debido al efecto de la fibra de acero, respecto al concreto sin fibra. ....	81
Figura 24. Resistencia promedio a la flexión de los diferentes concretos en estudio. .82	
Figura 25. Variación porcentual de la resistencia a flexión de los especímenes de concreto con fibra respecto al concreto patrón a primera fisura.....	83

Figura 26. Variación porcentual a rotura de la resistencia a la flexión de las diferentes muestras de concreto respecto al concreto sin fibra de acero. ....	84
Figura 27. Diferencia entre la Resistencia a Compresión y a Flexión del concreto con fibra de acero. ....	85
Figura 28. Resistencia a Flexión como porcentaje de la resistencia a compresión. ....	86
Figura 29. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según gráficas esfuerzo Vs. deformación. ....	87
Figura 30. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según norma E.060. ....	88
Figura 31. Módulo de elasticidad a flexión "Ec" (kg/cm <sup>2</sup> ) con diferentes Dosificaciones. ....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Variación de las propiedades mecánicas de dos tipos de fibra con 2 proporciones. ....</i>	<i>13</i>
Tabla 2. Desviación típica y coeficiente de variación de los resultados. ....	14
Tabla 3. Compuestos Principales del Cemento Portland. ....	19
Tabla 4. Características de las fibras. ....	28
Tabla 5. Consistencias Para concreto normales. ....	37
Tabla 6. Matriz experimental de diseño y niveles de variable de estudio. ....	45
Tabla 7. Capacidad de los recipientes para ensayo de densidad de masa. ....	51
Tabla 8. Muestra requerida para el ensayo de abrasión. ....	54
Tabla 9. Asentamiento de las diferentes tandas de concreto, debido al porcentaje de aditivo plastificante. ....	60
Tabla 10. Materiales de diseño finales corregidos para un metro cúbico de concreto. ....	64
Tabla 11. Elección del Porcentaje de Aditivo. ....	75
Tabla 12. Variación del peso unitario para diferentes dosificaciones. ....	76
Tabla 13. Variación porcentual del peso unitario del concreto fresco con diferentes porcentajes de adición de fibra respecto al concreto sin fibra. ....	77

Tabla 14. Peso Unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra de acero.....	78
Tabla 15. Variación porcentual del Peso Unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra respecto al concreto patrón.....	79
Tabla 16. Resistencia promedio a la compresión de los diferentes especímenes evaluados.....	80
Tabla 17. Variación porcentual de la resistencia a compresión debido al efecto de la fibra de acero, respecto al concreto sin fibra. ....	81
Tabla 18. Resistencia promedio a la flexión de los diferentes concretos en estudio. ...	82
Tabla 19. Variación porcentual a primera fisura de la resistencia a la flexión de las diferentes muestras de concreto respecto al concreto patrón.....	83
Tabla 20. Variación porcentual a rotura de la resistencia a la flexión de las diferentes muestras de concreto respecto al concreto patrón. ....	84
Tabla 21. Diferencia entre la Resistencia a Compresión y a Flexión. ....	85
Tabla 22. Resistencia a Flexión como porcentaje de la resistencia a compresión. ....	86
Tabla 23. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según gráficas esfuerzo Vs. deformación. ....	87
Tabla 24. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según norma E.060.....	88
Tabla 25. Módulo de elasticidad a flexión "Ec" (kg/cm <sup>2</sup> ) con diferentes proporciones. .89	
Tabla 26. Ancho de fisuras. ....	90
Tabla 27. Tipos de falla de las probetas cilíndricas. ....	90
<i>Tabla 28. Modo de falla a compresión.....</i>	<i>91</i>
Tabla 29. Modo de falla a flexión. ....	91
Tabla 30. Husos granulométricos del agregado fino.....	100
Tabla 31. Husos granulométricos del agregado grueso.....	101
Tabla 32. Tipo de gradación según peso retenido de la muestra de ensayo.....	102
Tabla 33. Carga abrasiva según tipo de gradación del material.....	102
Tabla 34. Número de capas de compactación requeridas por espécimen.....	103

<b>Tabla 35. Diámetro de vanilla y número de vanillados a ser usados al moldearse especímenes de prueba. ....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 36. Capacidad de los recipientes de medición.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 37. Tolerancias en los tiempos de prueba de los especímenes de concreto... </b>	<b>104</b>
<b>Tabla 38. Granulometría de agregado fino – Ensayo N° 01 .....</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 39. Granulometría de agregado fino – Ensayo N° 02.....</b>	<b>106</b>
<b>Tabla 40. Granulometría de agregado fino – Ensayo N° 03.....</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 41. Granulometría de agregado grueso – Ensayo N° 01.....</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 42. Granulometría de agregado grueso – Ensayo N° 02.....</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 43. Granulometría de agregado grueso – Ensayo N° 03.....</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 44. Resultado de densidad relativa y absorción de agregado fino .....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 45. Resultado de densidad relativa y absorción de agregado grueso.....</b>	<b>111</b>
<b>Tabla 46. Resultados de contenido de humedad del agregado fino.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 47. Resultados de contenido de humedad del agregado grueso. ....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 48. Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino.....</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 49. Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 50. Peso Unitario Seco Compactado del Agregado fino.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 51. Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso.....</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 52. Ensayo de partículas menores al tamiz N° 200 del agregado fino.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 53. Resultado del porcentaje de desgaste del agregado grueso. ....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 54. Resistencia a la compresión promedio.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 55. Consistencia, Asentamiento y Trabajabilidad del concreto. ....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 56. Contenido de Aire Atrapado .....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 57. Requerimientos de agua en l/m<sup>3</sup> y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada. .....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 58. Módulo de finura de la combinación de agregados .....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 59. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado.....</b>	<b>123</b>

## RESUMEN

En el Perú y particularmente en Cajamarca, el uso de concreto reforzado con fibra es muy limitado, debido a que la información necesaria no es suficiente de igual forma requerimientos normativos no son conocidos, sin embargo en la actualidad se están desarrollando temas de investigación como el presente para subsanar lo antes mencionado. Y lograr que el uso del concreto fibroreforzado sea frecuente ya que tiene un incremento en la resistencia a tracción y flexión, lo que hace de un concreto de alta performance.- este trabajo tiene por finalidad estudiar la influencia de la adición de tres proporciones de fibra de acero "Sika Fiber CHO 65/35 NB", en su capacidad resistente y elástica a flexión fundamentalmente, utilizando a la vez en el diseño de mezcla cemento Pacasmayo tipo Ico, agregados de la cantera Tartar Chico, un plastificante como Sikament 290N, y agua potable del Campus Universitario. se an realizándose ensayos físicos y mecánicos y un análisis comparativos de dichas propiedades entre concreto patrón (sin fibra de acero), y el concreto fibroreforzado con adición de  $30 \text{ kg / m}^3$ ,  $50 \text{ kg / m}^3$  y  $70 \text{ kg/m}^3$  de fibra, Teniendo como constante el uso de Sikament 290N en la proporción de 0.8% del peso del Cemento. Se elaboraron 135 especímenes de concreto, de los cuales 35 fueron cilíndricos y 100 prismáticos, para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , ensayados a los 28 días tanto a compresión como a flexión. Las propiedades físicas del concreto en estado fresco como consistencia, apariencia, exudación y segregación así como su peso unitario. y en estado endurecido, resistencia a la compresión y flexión, según la normativa vigente. Los resultados experimentales mostraron una disminución de la consistencia cuando se usó fibra y por ende también una disminución de la trabajabilidad a medida que se incrementa la cantidad de fibra de acero; en cuanto al peso unitario, tanto en estado fresco y endurecido se incrementa moderadamente con la adición de fibras, sin embargo manteniéndose dentro del rango normal. En cuanto a la resistencia a la compresión se determinó que el concreto adicionado con fibra de acero tiene una ligera tendencia de aumento de 5.0%, 6%, y 13.5%. Respecto a la resistencia a flexión el concreto fibroreforzado experimenta un incrementó de 47,61%, 87,86% y 118,07% respectivamente para las cantidades correspondientes adicionadas de fibra.

Se concluye también recomendar el uso de este tipo de concreto para el diseño de elementos sometidos a flexión y tracción ya que con ellos se puede disminuir la sección de los elementos.

**Palabras claves:** Concreto, fibra de acero, comportamiento mecánico, flexión, tenacidad, trabajabilidad, erizos.

## ABSTRACT

In Peru, specifically in Cajamarca, the use of fiber-reinforced concrete is very limited, because there is insufficient experimental evidence, and regulatory requirements in this regard, but its strong performance offset the low tensile strength and flex conventional concrete, which has a common plastic shrinkage cracking and poor performance in wet conditions. Against this, the present work aims to study the influence of the addition of three steel fiber proportions "Sika Fiber CHO 65/35 NB" in the worst mechanical properties of concrete that is bending, using cement type Pacasmayo Ico, area aggregates, Sikament 290N, water and the University Campus. Performing comparative tests between concrete pattern, concrete with addition of 30 kg / m<sup>3</sup>, 50 kg / m<sup>3</sup> and 70 kg / m<sup>3</sup> steel fiber in the three cases with Sikament 290N as a plasticizer, has developed concrete specimens 135, 100 35 cylindrical and prismatic for a  $f'_c = 280 \text{ kg / cm}^2$ , tested at 28 days both compression and bending. Concrete properties were evaluated consistency, unit weight of fresh and hardened concrete, compressive strength, and bending. The experimental results showed a decreased consistency and hence the workability of fresh concrete as the amount of steel fibers is increased, regarding the unit weight in both fresh and hardened moderately increases with the addition of fiber steel, but maintained in the range of normal concrete. As for the compressive strength it was determined that the concrete added with steel fiber has a slight tendency to increase. But regarding the bending strength concrete added with steel fiber provides increments until 47.61% 87.86% and 118.07% respectively higher than the concrete without fiber.

**Keywords:** Concrete, steel fiber, mechanical behavior, bending, toughness, workability, hedgehogs.

# *CAPITULO I*

## *INTRODUCCIÓN*

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema de investigación.

El concreto es uno de los materiales más usados y versátiles de la construcción, esto permite su utilización en diversas formas estructurales, así también en climas variados, es por ello que siempre se busca la mejora de sus propiedades tanto físicas como mecánicas.

Desde el año 1990 se comienza a usar en gran escala el concreto fibroreforzado en países desarrollados. El concreto hecho con la adición de estos elementos que son filamentos de acero y de diferentes formas y diámetros en la actualidad son de uso comercial así como para trabajo de investigación, siendo también de otra naturaleza como: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas, y fibras naturales. Sin embargo todas ellas se usan para lograr el mismo fin: aumento de la resistencia a flexión y tracción así como anular el proceso de fisuramiento por contracción e incrementar la resistencia al impacto y a la fatiga, también mejora el comportamiento a la contracción y flujo plástico y la durabilidad.- las principales aplicaciones del concreto fibroreforzado son: la construcción de losas, en concreto lanzado, soportes subterráneos, estabilización de taludes y en túneles.

En diferentes partes del mundo se viene investigando acerca de lo beneficios del uso de fibra en el concreto por los buenos resultados que se obtiene. En el caso de la fibra de acero algunos investigadores afirman que ésta en ciertos casos puede llegar a permitir sustituir por completo el armado tradicional del concreto a base de varillas de acero corrugado, lógicamente dependiendo del tipo de fibra, la proporción y el tipo de estructura para la cual se la esté usando.

En el Perú, la fibra de acero, es un material poco estudiado, a pesar de que es una buena alternativa estructural y económica en las diferentes estructuras que se construyen (Ana Blanco Álvarez, 2008)

## 1.2 Formulación del problema:

Como consecuencia de los argumentos presentados anteriormente, el problema de la investigación queda planteado con la siguiente interrogante:

¿De que manera influye la fibra de acero en el esfuerzo a flexión del concreto para un  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ?

## 1.3 Justificación de la investigación:

El uso de las diversas fibras en la obtención de concreto es una técnica en estudio, hacia la búsqueda de la optimización de los materiales que lo componen así como del concreto fibroreforzado mismo, en el caso de la fibra de acero puede ser una alternativa en la dosificación de todos los materiales constitutivos del concreto para lograr de este modo mejores propiedades como la flexión del mismo.

La finalidad de la presente investigación es evaluar de qué manera la utilización de fibra de acero como elemento adicionado contribuye al mejoramiento de su comportamiento a la flexión y tracción; en la perspectiva de obtener un concreto mejorado, con agregados de la zona y cemento comercial en Cajamarca.

### 1.3.1 Delimitación del problema.

Tiene una delimitación temática, a cuatro dosificaciones de mezcla de concreto; tres con adición de fibra de  $30 \text{ kg/m}^3$ ,  $50 \text{ kg/m}^3$  y  $70 \text{ kg/m}^3$  y otra muestra sin fibra de acero, sometidas a esfuerzo a flexión según ASTM C 1609.

Así mismo, tiene una delimitación temporal, pues se efectuó tomando como base de estudio, el periodo comprendido entre los años 2014- 2015.

## 1.4 Alcances de la investigación:

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, con agregados de la zona, con aditivo plastificante y fibra de acero normalizados.

Este trabajo de investigación permitió realizar una comparación acerca de las ventajas del comportamiento mecánico a flexión del concreto con fibra de acero y el concreto convencional en la ciudad de Cajamarca. Así mismo se determinó como influye la fibra de acero en la elaboración de concretos.

Para cumplir con los objetivos de la investigación se planteó el diseño de mezclas de concreto sin fibra de acero y concreto con fibra de acero en remplazo volumétrico de parte de los agregados.

Esta investigación servirá como fuente bibliográfica para estudiantes y profesionales de ingeniería Civil como también servirá de fuente para futuros trabajos de naturaleza similar.

#### 1.4.1 Tipo de enfoque a utilizar en la investigación.

La presente tesis utilizó el enfoque cuantitativo, Debido a que se basa en investigaciones previas, se utiliza para consolidar algunos resultados y establecer con exactitud patrones de comportamiento del material estudiado.

El alcance es correlacional, asocia conceptos o variables, permiten predicciones y cuantifican relaciones entre conceptos o variables mediante un patrón predecible para un grupo o población.

#### 1.5 Objetivos:

##### 1.5.1 Objetivo General:

Determinar la influencia de la fibra de acero en el esfuerzo a flexión del concreto, para un " $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ ".

##### 1.5.2 Objetivos Específicos:

Determinar el esfuerzo a flexión del concreto para un  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ , con la adición de  $30 \text{ kg/m}^3$ ,  $50 \text{ kg/m}^3$  y  $70 \text{ kg/m}^3$  de fibra de acero.

## 1.6 Hipótesis de la investigación:

### 1.6.1 Hipótesis General:

La adición de fibra de acero al concreto para un  $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ , aumenta el esfuerzo a flexión.

### 1.6.2 Variables de la investigación.

- Variable independiente: Adición de fibra de acero.
- Variable dependiente: Resistencia mecánica a flexión del concreto.

# *CAPITULO II*

*MARCO TEÓRICO*

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes teóricos.

#### 2.1.1 Antecedentes

Las fibras no son un material nuevo o reciente. Se sabe que hace 4000 años ya se empleaban fibras como adición a un material para mejorar sus propiedades. Hay numerosos ejemplos a lo largo de la historia del uso de las fibras: en la baja **Mesopotamia los adobes de barro cocidos al sol se armaban con paja** y hasta hace unos años se utilizaban los pelos de cabra o caballo para armar el yeso. Este tipo de fibras naturales se utilizaron hasta el año 1935 aproximadamente. La razón de su caída en desuso fue la invención de las fibras sintéticas.

La aparición de este nuevo tipo de fibras es debida a Chardonnet quien a finales del S.XIX inventó la seda artificial, Sin embargo, fue a partir de 1935 con la producción de la primera fibra de nilón cuando surge una nueva etapa en el uso de fibras. Durante esos años hay un gran interés por el desarrollo de fibras sintéticas que tratan de copiar a las fibras naturales y cuya aplicación principal es la fabricación de tejidos.

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

#### 2.1.2 Primeras experiencias.

Las primeras experiencias de adición de fibras a materiales destinados a la construcción corresponden a fibras metálicas.

La primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos se realizó en California en 1874 por A. Berard (Fernández Cánovas, M., 2003). Consistía en una piedra artificial que utilizaba acero granular procedente de desechos para el refuerzo del concreto. A partir de ese momento han aparecido numerosas patentes. Cabe destacar la patente de G. Martin en 1927, en California también, que describe la adición de alambres de acero rizados en el concreto empleado en tuberías.

Con el paso de los años, la forma de las fibras se va perfeccionando y en las patentes se emplean parámetros muy similares a los actuales para fibras de acero. Ejemplo de ello es la patente de G. Constantinesco (1954, Estados Unidos) que se refería al uso de fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia a la fisuración y la absorción de energía en el concreto.

A partir de los años 50 se realizan numerosos trabajos de investigación sobre concretos reforzados con fibras de acero (las fibras metálicas son fundamentalmente de acero en sus variantes de bajo o medio contenido en carbono, acero inoxidable y de acero galvanizado). Entre los estudios realizados cabe destacar los de Romualdi, Batson y Mandel en 1963 (Fernández Cánovas, M, 2003).

### 2.1.3 Consolidación y situación actual

En la década de los 70 se comenzaron a utilizar en España concretos reforzados con fibras en diversos ámbitos: pavimentación de tableros de puentes, pavimentos industriales, contenedores de puertos, revestimientos de túneles, prefabricados, etc.

Desde la década de 1990 se viene haciendo, entre estas aplicaciones, la de construcción de pavimentos y revestimientos de túneles con concreto reforzado con fibras de acero han tenido gran éxito. También cabe destacar su aplicación en el ámbito militar, utilizándose en pavimentación de carros de combate, hangares y recintos protegidos frente al impacto de metralla o proyectiles.

En lo referente a las fibras sintéticas, éstas presentan grandes prestaciones desde el punto de vista tecnológico: elevado módulo de elasticidad, alta resistencia a tracción, poco peso, etc. La principal aplicación de las fibras sintéticas en el campo de los materiales de construcción es el de control de la fisuración en concretos y morteros. En algunos casos también se han empleado con el objetivo de reforzar concretos frente a la acción de los impactos.

#### 2.1.4 Concreto normal.

El concreto es el material de construcción de mayor uso en nuestro país. Si bien la calidad final del concreto depende en forma muy importante del conocimiento del material y de la calidad profesional del ingeniero, el concreto es, en general, desconocido en muchos de sus siete grandes aspectos: naturaleza, materiales, propiedades, selección de las proporciones, proceso de puesta en obra, control de calidad e inspección, y mantenimiento de los elementos estructurales.

Por ello la selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto debe permitir obtener un concreto con facilidad de colocación, densidad, resistencia, durabilidad u otras propiedades que se consideran necesarias para el caso particular para el cual la mezcla está siendo diseñada. (Riva López, E. 2007).

#### 2.1.5 Componentes del concreto

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Mediante un proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable.

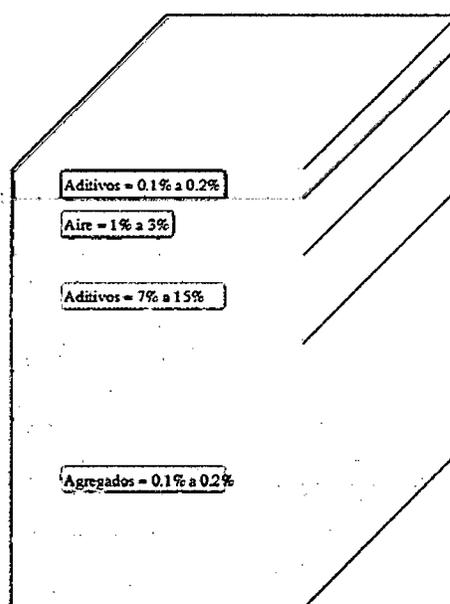


Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de componentes del concreto.

Fuente: Ing. Enrique Pasquel C. (2011).

### 2.1.6 Revisión histórica del concreto reforzado con fibras.

El concreto ha experimentado una profunda evolución como material de construcción durante el S.XX a todos los niveles: de diseño, de cálculo, tecnológico y propiamente como material; buscando siempre mejoras en sus propiedades y comportamiento.

Un ejemplo de ello es la aparición del concreto armado (o reforzado) en la segunda mitad del S.XIX. Su descubrimiento fue atribuido a Lamblot por la presentación en la exposición Universal de París de 1855 un barco de carcasa metálica recubierto por concreto de cal hidráulica. Sin embargo fue Monet, un jardinero de Versalles, quien en 1868 patentó el sistema para la realización de macetas y macetones, depósitos y losas. Desde entonces, numerosas han sido las investigaciones y estudios llevados a cabo con el objetivo de mejorar el comportamiento del concreto.

Durante el S.XX se han desarrollado tecnologías como la del concreto pretensado y el concreto proyectado, y han aparecido concretos llamados "especiales": concretos de alta resistencia, concretos ligeros, concretos pesados, concretos porosos, concretos autocompactables, concretos reciclados y, también, el concreto reforzado con fibras.

### 2.1.7 Antecedentes internacionales.

En países como España, México y países latinoamericanos como Brasil y Colombia, se está incrementando el uso de la fibra de acero como material económico y estructuralmente sismo resistente con características favorables para la construcción, en esta sección se muestra algunos estudios realizados que servirán de base en la presente investigación.

La adición de fibras de acero en un elemento estructural sometido a flexión es más efectiva que en uno sometido a tracción. La causa de esta efectividad es que en la flexión se aprovecha la capacidad de redistribución del concreto reforzado con fibras. En la Figura N°1. Se muestra el aumento de la resistencia a flexión según el porcentaje de fibras de acero (Ana Blanco Álvarez, 2008)

## Diagrama flexión-deformación

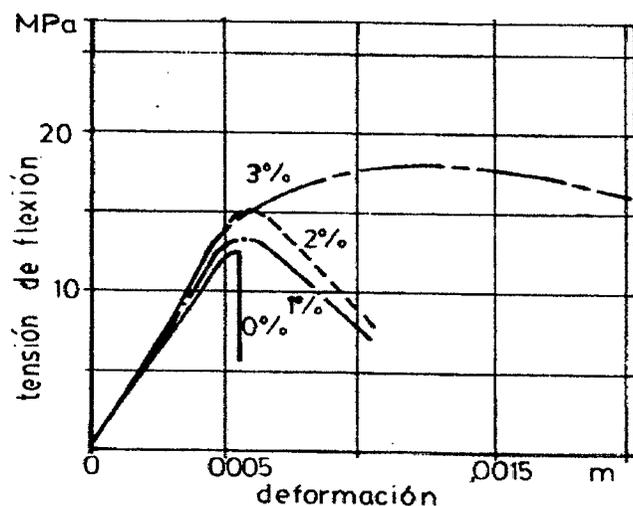


Figura 2. Diagrama flexión-deformación

Fuente: (Rodríguez López et al., 1984 "Losas de Concreto Reforzado con Fibras de Acero" España)

El incremento de la resistencia a flexión al adicionar fibras de acero al concreto es considerablemente mayor que el de la resistencia a la compresión y a tracción. Esto se debe al comportamiento dúctil del CRFA en la zona fisurada por tracción, desarrollando resistencias residuales. (Mármol Salazar Patricia, 2010).

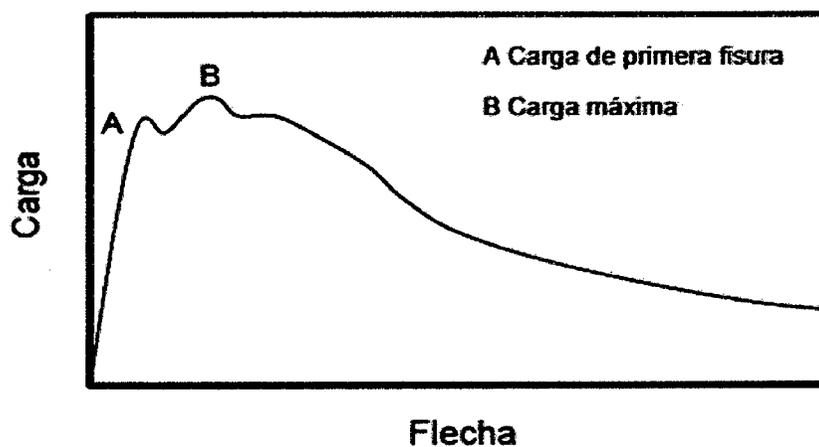


Figura 3. Diagrama Carga vs. Flecha en un ensayo a flexión para un CRFA

Fuente: (ACHE, 2001)

Los ensayos de flexión en CRFA se realizan principalmente sobre probetas prismáticas. Normalmente, se determina la resistencia a primera fisura, la resistencia a rotura por flexión y la resistencia residual a flexión.

El incremento de la resistencia a primera fisura contenido con la adición de fibras de acero es mínimo, lo cual indica que esta propiedad depende básicamente de la matriz y muy poco del contenido de fibras, del tamaño y de la forma de éstas, por lo que resulta más rentable mejorar las características de la matriz con el uso de por ejemplo: aditivos, humo de sílice, entre otros.

La resistencia a rotura depende principalmente del volumen de fibras y de la esbeltez de éstas, logrando incrementos de hasta el 100% respecto de la resistencia de la matriz, si se utiliza fibras de extremos conformados.

El empleo de mayores volúmenes de fibras, ensayos con sistemas de carga en el centro de la luz, probetas de menores dimensiones, fibras de mayores longitudes con orientación preferencial (cuando el ancho y/o altura es menor que tres veces la longitud de las fibras) en la dirección longitudinal el elemento, da lugar a mayores incrementos en la resistencia, llegando hasta valores del 150%.

El porcentaje óptimo de fibra para el CRFA, de acuerdo al parámetro de tenacidad, durabilidad (pruebas de corrosión) y al comportamiento del concreto en estado fresco, es de 30 kilogramos de fibras de acero por metro cúbico de concreto ( $30 \text{ kg/m}^3$ ). Por otra parte, las fibras deformadas con ganchos en los extremos, han dado buenos resultados en otras investigaciones con un contenido de fibras de 30 a  $60 \text{ kg/m}^3$  (PERUMALSAMY N. BALAGURU, 1999)

A los  $15 \text{ kg/m}^3$  se obtienen buenos resultados prácticos (Mármol Salazar Patricia, 2010)

La principal ventaja de los CRFA es su alta capacidad de absorción de energía y su elevada resistencia. Debido a la alta ductilidad que poseen. (ACHE. 2001)

(Aperador William, Carrillo Julián, Gonzales Giovanni, 2012). Concluyen:

La manejabilidad del concreto disminuye significativamente a medida que incrementó la cantidad de fibras en el concreto, especialmente cuando se utilizan fibras tipo con longitud igual a 60mm

El peso específico en estado endurecido no varía significativamente al aumentar el contenido de fibras, pues la disminución de agregado grueso se equilibra con la adición de fibras de

La resistencia al agrietamiento de tensión por flexión o módulo **de ruptura y la** deformación unitaria asociada, no varían significativamente al **incrementar el** contenido de fibras de acero, pues a partir de ese esfuerzo inicia la contribución de las fibras al concreto y la resistencia máxima a tensión por flexión y su deformación unitaria asociada, así como la tenacidad, las resistencias residuales, si aumentan proporcionalmente con el contenido de fibras de acero.

### 2.1.8 Antecedentes nacionales.

Ana Blanco Álvarez, 2008 en la investigación “Durabilidad del concreto con fibras de acero”, obtuvo resultados representativos de resistencia a compresión y flexotracción los cuales se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2, Figura 1 y Figura 2.

*Tabla 1. Variación de las propiedades mecánicas de dos tipos de fibra con 2 proporciones.*

Tipo de fibra	Kg/m <sup>3</sup>	Cubos		Probetas prismáticas		
		Res. compresión a 28 días (N/mm <sup>2</sup> )	Res. compresión a fecha de ensayo de las losas (N/mm <sup>2</sup> )	fL (N/mm <sup>2</sup> )	fR1 (N/mm <sup>2</sup> )	fR4 (N/mm <sup>2</sup> )
Sin fibras	-	22,0	18,5	2,51	0,56	0,00
RC-65/35-BN	20	36,5	38,0	3,84	2,55	1,99
RC-65/35-BN	40	30,5	32,0	3,62	4,10	3,49
RC-80/60-BN	20	29,0	30,0	3,35	2,96	3,10
RC-80/60-BN	40	26,0	25,5	3,12	3,93	4,62

Fuente: Laboratorio de Bekaert y el Laboratorio de Tecnología de Estructuras de la

UPC.

Tabla 2. Desviación típica y coeficiente de variación de los resultados.

Tipo de fibra	Kg/m <sup>3</sup>	Desviación típica			Coeficiente de variación		
		fL	fR1	fR4	fL	fR1	fR4
Sin fibras	-	0,07	0,08	0,01	2,69	13,54	17,61
RC-65/35-BN	20	0,33	0,89	0,71	8,48	34,94	35,91
RC-65/35-BN	40	0,45	0,89	0,84	12,33	21,75	24,10
RC-80/60-BN	20	0,17	0,67	0,82	5,19	22,50	26,56
RC-80/60-BN	40	0,37	0,69	0,93	11,91	17,56	20,07

Fuente: laboratorio de Bekaert y el Laboratorio de Tecnología de estructuras de la UPC.

Observando la tabla 2. Se aprecia que la dispersión de resultados obtenidos en los ensayos es considerable en el caso de las probetas de concreto con fibras, siendo mucho menor en el caso de las de concreto sin fibras.

Con los resultados concluye que:

La resistencia es mayor en el caso de las dosificaciones menores de (20 kg/m<sup>3</sup>), particularmente en el caso de las fibras RC-65/35-BN. En cualquier caso, la adición de fibras supone una resistencia a compresión y flexotracción superior a la del caso sin fibras.

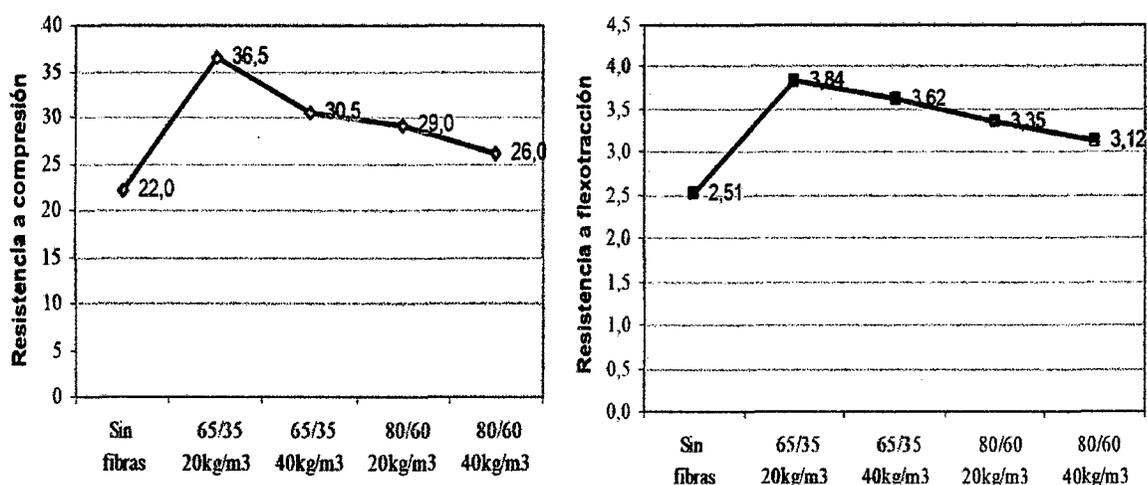


Figura 4. Resistencias a compresión y a flexión a 28 días de edad.

Fuente: Laboratorio de Bekaert y el Laboratorio de Tecnología de Estructuras de la UPC.

Además, los valores de resistencia obtenidos de los ensayos son bajos. En el caso de la resistencia a flexión, estos valores tan bajos indican una escasa adherencia del sistema concreto - acero.

Si durante el proceso de fabricación se lleva a cabo una buena compactación, la adherencia será mayor y por tanto se observará un mejor comportamiento de los especímenes ante los ensayos.

En la figura 4. Se muestran los valores de las resistencias residuales a flexión. En ella se observa la aportación que supone la adición de fibras en la resistencia residual. En las losas de control, el valor de resistencia residual  $fR1$  es menor que en el caso de las losas con fibras, disminuyendo hasta cero en el caso de  $fR4$  (Ana Blanco Álvarez, 2008).

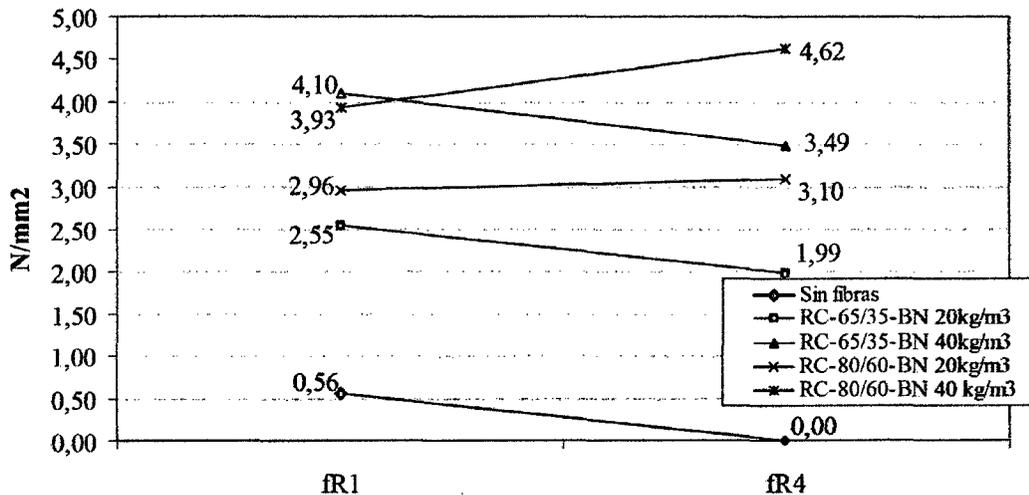


Figura 5. Valores de las resistencias residuales.

Fuente: Laboratorio de Bekaert y el Laboratorio de Tecnología de Estructuras de la UPC.

También se aprecia como para el tipo de fibra RC-65/35-BN en ambas dosificaciones ( $20 \text{ kg/m}^3$  y  $40 \text{ kg/m}^3$ ) la resistencia residual  $fR4$  es menor que  $fR1$ .

### 2.1.9 Antecedentes locales.

(IVAN VÁSQUEZ GONZALES; 2015) en la tesis: "COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO PARA UNA RESISTENCIA DE 500 Kg/cm<sup>2</sup>" llegó a las siguientes conclusiones:

- La adición de fibra de acero, incrementa la resistencia a flexión en 157.20%, 180.50%, y 171.52%, para 20, 30 y 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero respectivamente, comparados con el concreto patrón.
- Para el caso de la tracción indirecta el incremento es de el: 153.96%, 165.62%, 163.43%, para los casos con 20, 30 y 40 kg/m<sup>3</sup> de fibra respectivamente, comparados con el concreto patrón.

## 2.2 Bases teóricas.

### 2.2.1 Concreto reforzado con fibras de acero (CRFA)

El concreto reforzado con fibras, según la definición del ACI-American Concrete Institute, no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo áridos finos, o finos y gruesos, agua y fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los concretos.

Esta incorporación se realiza para mejorar ciertas propiedades específicas del concreto, ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido. Las fibras se pueden añadir a concretos en masa, armados o pretensados, es decir, que las fibras pueden estar presentes tanto con armaduras pasivas como activas, en función de la cantidad de fibras que se van a adicionar a la mezcla y de la geometría de éstas, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones. Éstas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo del árido, mayor demanda de finos, inclusión de aditivos reductores de agua, entre otros, es por ello que en el presente trabajo se ha considerado incluir aditivo reductor de agua (SIKAMENT 290N), para mejorar las características y comportamiento mecánico del concreto.

## 2.2.2 Componentes del CRFA

Los CRFA están constituidos esencialmente por los mismos componentes que un concreto tradicional y adicionalmente fibras de acero. En función de la cantidad de fibras que se van a adicionar al concreto y de la geometría de éstas, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de un concreto tradicional. Estas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo del árido, menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros.

Los componentes del HRFA deben cumplir con la ASTM C-33, Áridos para concreto y Normativa vigente, prestando especial atención al contenido de cloruros de los componentes para evitar la corrosión de las fibras. Es decir, los cementos, el agua de amasado y los áridos pueden ser los mismos que en el caso del concreto convencional de acuerdo con las normativas correspondientes.

Sin embargo, para los HRFA es preferible el uso de áridos rodados, especialmente las arenas puesto que, para una relación agua/cemento dada, aportan una mayor docilidad que los áridos machacados.

Por esta razón, es habitual incorporar más cantidad de finos en los HRFA que en los concretos convencionales, con el objetivo de contrarrestar la reducción de docilidad provocada por la adición de fibras.

Otro aspecto a tener en cuenta en los HRFA es la relación entre el tamaño máximo de árido y la longitud de las fibras, pues influye en las resistencias a tracción, flexotracción y tenacidad. Además, para asegurar la eficacia de las fibras, éstas deben envolver al árido.

Para obtener los mejores resultados conviene que el tamaño máximo del árido grueso sea la mitad de la longitud de la fibra, siendo preferible que no supere el menor de los siguientes valores:

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

Por lo general, el tamaño máximo de árido utilizado en HRFA es de 20mm.

En relación a los aditivos, en los HRFA se utilizan aditivos reductores de agua, sobre todo superplastificantes, para compensar la ya mencionada reducción de docilidad que provocan las fibras. En ningún caso debe compensarse mediante un incremento del agua de amasado.

El empleo de adiciones mejora la impermeabilidad de los HRFA y en consecuencia su durabilidad. También aportan una mayor cohesión del material y adherencia entre fibra y matriz, minimizando la posibilidad de segregación. Adicionalmente, se produce un aumento de las resistencias mecánicas. Las adiciones utilizadas en el HRFA son materiales puzolánicos compuestos por sustancias naturales o industriales, silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas. Son ejemplo de ello: las puzolanas naturales, las cenizas volantes y el humo de sílice.

#### 2.2.2.1 Cemento

El cemento es un componente decisivo en la docilidad del material en estado fresco y, posteriormente, en las características mecánicas del concreto endurecido. Se puede emplear cualquier cemento que cumpla con los requisitos establecidos para un concreto tradicional, siempre que sea capaz de proporcionar al concreto las características que exige el proyecto.

##### 2.2.2.1.1 Cemento portland

El cemento es un producto artificial obtenido por la calcinación de mezcla adecuadamente molida de caliza, arcilla y minerales de hierro, formándose así un compuesto llamado Clinker, luego se pulveriza el Clinker de cemento portland y se adiciona Yeso (sulfato cálcico di hidratado), lo cual permite a la mezcla fraguar y endurecer. El cemento combinado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada concreto (Norma: NTP 334.001)

No existen requisitos en cuanto al tipo de cemento, los criterios de elección para un concreto fibroreforzado son similares a los empleados en un concreto convencional.

### 2.2.2.1.2 Componentes principales del cemento portland:

Los óxidos principales (C= CaO, S= SiO<sub>2</sub>, A= Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F= FeO<sub>3</sub>) constituyen prácticamente más del 90% en peso del Clinker. De los cuatro óxidos principales la cal es de carácter básico y los otros tres son de carácter ácido, de ellos la sílice y la cal son componentes activos, y la alúmina y el hierro actúan como fundentes.

Tabla 3. Compuestos Principales del Cemento Portland

Nombre	Composición	Formula Abreviada	Nombre del Mineral	Porcentajes Límites
Silicato Tricálcico	3CaO SiO <sub>2</sub>	C3S	Alita	30% a 60%
Silicato Bicálcico	2CaO SiO <sub>2</sub>	C2S	Belita	15% a 37%
Aluminato Tricálcico	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C3A	-----	07% a 15%
Ferrito Aluminato Tetracálcico	4CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO <sub>3</sub>	C4AF	Celita Clara o Ferrito	07% a 10%

Fuente: Tecnología del Concreto UNI

Los compuestos secundarios proceden de las impurezas de la materia prima; son la parte indeseable del cemento, siempre que no sobrepasen los límites establecidos. Estos compuestos pueden agruparse en:

- Óxido de cal libre.
- Óxido de magnesia.
- Óxido de sodio y potasio.
- Cantidades pequeñas de otros óxidos.

### 2.2.2.1.3 Tipos de cemento portland

#### a) Cemento Portland (ASTM C-150)

- Tipo I : Normal para uso general
- Tipo II: Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo III: Rápida resistencia inicial
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos

**b) Cemento portland adicionado (ASTM C - 1157)**

- Tipo GU: Para construcciones en general
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo HE: Rápida resistencia inicial
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación

**c) Cemento portland adicionado ASTM C-595 o NTP - 334.090**

Los cementos Portland adicionados son normalizados en los siguientes tipos según su performance:

- Tipo IS: Cemento portland escoria de alto horno
- Tipo IP y P: Cemento portland puzolánico
- Tipo S: Cemento portland de escoria
- Tipo I (PM): Cemento Portland puzolánico modificado.
- Tipo I (SM): Cemento Portland de escoria modificado
- Tipo ICo: Cemento Portland compuesto, para ser utilizado en obras generales de construcción hasta 30% filler calizo, menor calor de hidratación.

La resistencia moderada a sulfatos, moderado calor de hidratación o alguna combinación puede ser especificado por adición de los sufijos (MS), o (MH).

#### **2.2.2.2 Agregados**

Se define como agregado al conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP. Se les llama también áridos (Norma NTP 400.011).

El concreto reforzado con fibras emplea los mismos agregados que un concreto convencional, pues no requiere ninguna especificación físico-química particular aunque se debe prestar una especial atención a la calidad y distribución de los tamaños máximos de los mismos, porque influirá su comportamiento en estado fresco como el caso de la trabajabilidad y la distribución.

#### 2.2.2.2.1 Clasificación.

##### a) Agregado fino

El agregado fino es aquel que pasa el tamiz 3/8" (9.51mm) y es retenido en el N° 200 (0.074mm), además debe cumplir con los milites establecidos en la norma NTP (Norma ASTM C 33, NTP 400.037).

No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza del agregado fino, se debe emplear arenas continuas sin cortes en la granulometría y preferiblemente naturales. Es preferible un cierto aporte de finos de las arenas para reducir la demanda de adicción y cemento.

El agregado fino debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe ser arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes.
- Limpio de cantidades perjudiciales de polvo, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otros.
- Cumplir con el huso granulométrico.
- Las partículas dañinas no deben exceder como máximo: partículas deleznable: 3%; material más fino que la malla N° 200: 5%

##### b) Agregado grueso

El agregado grueso es el retenido en el tamiz normalizado N° 4 (4.75mm) proviene de la desagregación natural o artificial de la roca (Norma ASTM C 33, NTP 400.037).

#### 2.2.2.3 Agua.

El agua es un componente esencial en la mezcla de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido; por ello es importante que el cemento y el agua sean usados en las proporciones adecuadas para obtener buenos resultados (NTP 339.088).

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de impurezas o sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas, sedimentos y materias orgánicas pues pueden interferir en la hidratación del cemento, modificar en el tiempo de fraguado, reducir la

resistencia mecánica, causar manchas en la superficie del concreto y aumentar la corrosión de las armaduras.

#### 2.2.2.3.1 Agua de mezclado.

Cantidad de agua que requiere el concreto por unidad de volumen para que se hidraten las partículas del cemento y para proporcionar las condiciones de manejabilidad adecuada que permitan la aplicación y el acabado del mismo en el lugar de la colocación en el estado fresco (Norma: NTP 339.088-RNE E 060).

Funciones:

- Contribuir a la trabajabilidad de la mezcla actuando como lubricante.
- Reaccionar con el cemento produciendo su calor de hidratación.
- Asegura el espacio de la pasta para el desarrollo de los productos.

#### 2.2.2.3.2 Agua de curado.

Es la cantidad de agua adicional que requiere el concreto una vez endurecido a fin de que alcance los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado. Este proceso adicional es muy importante en vista de que, una vez colocado, el concreto pierde agua por diversas situaciones como: altas temperaturas por estar expuesto al sol o por el calor reinante en los alrededores, alta absorción donde se encuentra colocado el concreto, fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación (Norma; NTP 339.088-RNE 060).

#### 2.2.2.3.3 Relación agua / material cementante.

La relación agua material cementante forman el gel de cemento cuya reacción química va a ligar los componentes gruesos y finos durante el endurecimiento del concreto hasta que todas las partículas de cemento se hidraten o bien hasta que ya no haya agua para hidratarlas. Por ello la resistencia depende de la relación agua cemento cualquiera sea el tipo y cantidad de agregados.

A menor agua en relación al cemento, mayor su resistencia a la compresión, menor fluidez o trabajabilidad y mayor durabilidad, pues al poseer menos agua tiene también menor cantidad de poros y vasos capilares que se forman durante su evaporación, y que se constituyen los poros por donde pueden penetrar los agentes agresivos cuando el concreto no está protegido de los factores climáticos, y atacar a las armaduras.

Por ello en condiciones extremas deben utilizarse relaciones agua cemento bajas, y en condiciones moderadas estas relaciones pueden incrementarse.

Según Enrique Pasquel C. (2011), afirma que:

- Para  $A/C > 0.42$  sobra agua de hidratación y todo el cemento se hidrata.
- Para  $A/C = 0.42$  no sobra agua de hidratación
- Para  $A/C < 0.42$  queda cemento sin hidratar

#### 2.2.2.4 Aditivo

Un aditivo es definido, tanto por el American Concrete Institute, como por la Norma ASTM C 125, como: "Un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado".

Los aditivos son productos que, introducidos en pequeña porción en el concreto, modifican algunas de sus propiedades originales, se presentan en forma de polvo, líquido o pasta y la dosis varía según el producto y el efecto deseado.

Los aditivos más usados en la fabricación del concreto reforzado con fibras son los superplastificantes o aditivos reductores de agua de alto rango con el objeto de dotar de trabajabilidad sin tener que variar la proporción de agua.

El uso de aditivos está condicionado por:

- Que se obtenga el resultado deseado sin tener que variar sustancialmente la dosificación básica.
- Que el producto no tenga efectos negativos en otras propiedades del concreto.
- Que un análisis de costo justifique su empleo.

#### 2.2.2.4.1 Clasificación de los aditivos

La norma ASTM C 494 "Chemical Admixtures for Concrete", distingue siete tipos:

- TIPO A: Reductor de Agua
- TIPO B: Retardador de Fraguado
- TIPO C: Acelerador de Fraguado
- TIPO D: Reductor de agua y Retardador.
- TIPO E: Reductor de Agua y Acelerador.
- TIPO F: Reductor de Agua de Alto Efecto.
- TIPO G: Reductor de Agua de Alto Efecto y Retardador

Los aditivos incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C260 "Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete".

#### 2.2.2.4.2 Razones de Empleo

Sánchez, D. (2001) indica que para modificar las propiedades del concreto no endurecido o fresco se puede mencionar:

- Reducción en el contenido de agua de la mezcla.
- Incremento en la trabajabilidad sin modificación del contenido de agua; o disminución del contenido de agua sin modificación de la trabajabilidad.
- Reducción, incremento o control del asentamiento.
- Aceleración o retardo del tiempo de fraguado inicial.
- Modificación de la velocidad y/o magnitud de la exudación.
- Reducción o prevención de la segregación; o desarrollo de una ligera expansión.
- Mejora en la facilidad de colocación y/o bombeo de las mezclas.

Para modificar las propiedades de los concretos endurecidos se pueden mencionar.

- Retardo en el desarrollo del calor de hidratación o reducción en la magnitud de éste durante el endurecimiento inicial.
- Aceleración en la velocidad de desarrollo de la resistencia inicial y/o final del concreto y en el incremento de la misma.

- Incremento en la durabilidad (resistencia a condiciones severas de exposición).
- Disminución de la permeabilidad del concreto.
- Control de la expansión debida a la reacción álcali-agregados;
- Incremento en las adherencias acero-concreto; y concreto antiguo-concreto fresco.
- Incremento en las resistencias al impacto y/o la abrasión
- Control de la corrosión de los demonios metálicos embebidos en el concreto
- Producción de concretos o morteros celulares.

#### 2.2.2.5 Fibras

Las fibras, en el sentido más amplio, son los filamentos de cuerpo plástico, flexible y resistente. Asimismo, poseen una gran finura con un cuerpo macroscópicamente homogéneo y una relación largo-ancho bastante alta con una pequeña sección transversal (Mármol Salazar Patricia, 2010).

##### 2.2.2.5.1 Tipos de fibras

Las fibras utilizadas en el HRF son de corta longitud y pequeña sección. Se pueden clasificar según su naturaleza en los siguientes tipos:

###### a) Vidrio

La fibra de vidrio es resistente a los álcalis se usa en la fabricación de productos de cemento reforzado con vidrio (GRC: glassreinforced concrete), los cuales tienen un amplio rango de aplicaciones. Se utilizan longitudes de fibra de hasta 35 mm en aplicaciones de rociado y las longitudes de 25 mm en aplicaciones de premezclado (Mármol Salazar Patricia, 2010).

###### b) Fibras de acero

El uso de fibras derechas y lisas casi ha desaparecido y las modernas tienen, ya sea superficies ásperas, extremos en gancho, o son rizadas u onduladas a través de su longitud. Típicamente las fibras de acero tienen diámetros equivalentes

(con base en el área de la sección transversal) de 0.15 a 2 mm y longitudes de 7 a 75 mm. Las relaciones de aspecto generalmente varían de 20 a 100 (Mármol Salazar Patricia, 2010).

c) Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son artificiales; resultan de la investigación y desarrollo en las industrias petroquímica y textil. Existen dos formas físicas diferentes de fibras: la de monofilamentos, y las producidas de cintas de fibrilla. La mayoría de las aplicaciones de las fibras sintéticas están en el nivel de 0.1% por volumen. A ese nivel, se considera que la resistencia del concreto no se ve afectada y se buscan las características de control de las grietas (Fernández Cánovas- 2003)

d) Acrílico

Las fibras acrílicas han sido usadas para reemplazar la fibra de asbesto en muchos productos de concreto reforzado con fibras. También se han agregado fibras acrílicas al concreto convencional a bajos volúmenes para reducir los efectos del agrietamiento por contracción plástica (Mármol Salazar Patricia, 2010).

e) Aramida

Las fibras de aramida son dos veces y media más resistentes que las de vidrio y cinco veces más que las de acero, por unidad de masa. Debido al costo relativamente alto de estas fibras, el concreto reforzado con fibras de aramida se ha usado principalmente como un reemplazo del asbesto en ciertas aplicaciones de alta resistencia (Mármol Salazar Patricia, 2010).

f) Carbón

Las fibras de carbón son sustancialmente más costosas que los otros tipos de fibras. Por esta razón su uso comercial ha sido limitado. Tienen alta resistencia a tensión y alto módulo de elasticidad y una característica quebradiza bajo esfuerzo-deformación. Se requiere de investigación adicional para determinar la viabilidad del concreto con fibra de carbón en una base económica. Las propiedades de resistencia al fuego de los compuestos de fibras de carbón necesitan ser evaluadas, pero ignorando el aspecto económico, las aplicaciones estructurales parecen ser prometedoras (Mármol Salazar Patricia, 2010).

**g) Nylon**

Es el nombre genérico que identifica una familia de polímeros. Las propiedades de las fibras de nylon son impartidas por el tipo a base de polímeros, la adición de diferentes niveles de aditivos, las condiciones de fabricación y las dimensiones de las fibras. Actualmente sólo dos tipos de fibras de nylon se comercializan para el concreto. Es particularmente efectivo para impartir resistencia al impacto y tenacidad a flexión y para sostener e incrementar la capacidad para soportar cargas del concreto después de la primera grieta (Fernández Cánovas- 2003).

**h) Poliéster**

Están disponibles en forma de monofilamentos y pertenecen al grupo de poliéster termoplástico. Son sensibles a la temperatura y a temperaturas por encima del servicio normal sus propiedades pueden ser alteradas. Las fibras de poliéster son algo hidrófobas. Se han usado a bajos contenidos (0.1% por volumen) para controlar el agrietamiento por contracción plástica en el concreto (Fernández Cánovas- 2003).

**i) Polietileno**

Ha sido producido para el concreto en forma de monofilamentos con deformaciones superficiales parecidas a verrugas. El polietileno en forma de pulpa puede ser una alternativa a las fibras de asbesto. El concreto reforzado con fibras de polietileno a contenidos de entre 2 y 4% por volumen exhibe un comportamiento de flexión lineal bajo cargas de flexión hasta la primera grieta, seguido por una transferencia de carga aparente a las fibras, permitiendo un incremento en la carga hasta que las fibras se rompen (Fernández Cánovas- 2003).

**j) Polipropileno**

El polipropileno es un polímero de hidrocarburo sintético cuya fibra está hecha usando procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel. Las fibras de polipropileno son hidrófobas y por lo tanto tienen como desventajas el tener pobres características de adherencia con la matriz del cemento, un bajo punto de fusión, alta combustibilidad y un módulo de

elasticidad relativamente bajo. Las fibras de polipropileno son tenaces, pero tienen baja resistencia a tensión y bajo módulo de elasticidad; tienen una característica plástica de esfuerzo-deformación. Se asegura que se han usado exitosamente contenidos de fibras de hasta 12% por volumen, con técnicas de fabricación de empaquetado manual, pero se ha reportado que volúmenes de 0.1% de fibras de 50 mm en el concreto han causado una pérdida de revenimiento de 75 mm (Mármol Salazar Patricia, 2010).

A continuación se muestra en la tabla 4. Algunas características de las fibras utilizadas con mortero y concretos.

Tabla 4. Características de las fibras

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

Fuente: Fernández Cánovas- 2003

Observando la tabla 4. Se aprecian las diferencias entre las propiedades de cada tipo de fibra y las del concreto, especialmente significativas la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad. Para que las fibras sean efectivas se recomienda que tengan un módulo de elasticidad al menos 3 veces superior al del concreto (Naaman, A.E., 2003)

### 2.2.3 Fibras de acero.

Las fibras de acero utilizadas en el refuerzo del concreto son elementos de corta longitud y pequeña sección que se adicionan al concreto con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas, con las características necesarias para dispersarse aleatoriamente en una mezcla de concreto en estado fresco empleando metodologías de mezclado tradicionales (Mármol Salazar Patricia, 2010).

La efectividad del refuerzo matriz - fibras, exige a las fibras las siguientes propiedades:

- Una resistencia a tracción significativamente mayor que la del concreto.
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a tracción de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del concreto.

Las fibras suponen una mejora ante determinadas propiedades como el control de la fisuración por retracción, incremento en la resistencia al fuego, abrasión e impacto, entre otras. Las especificaciones estándar, clasificación y definiciones relativas a las fibras de acero, se encuentran normalizadas en ASTM A820 / A820M-04.

Las convenciones empleadas para describir las fibras geoméricamente son:

- $l_f$ : longitud de la fibra (mm).
- $d$ : diámetro o diámetro equivalente de la fibra (mm).
- $\lambda$ : esbeltez o relación de aspecto de la fibra ( $l/d$ ).
- $A_f$ : área de la sección transversal de la fibra (mm<sup>2</sup>).

Además de las características geométricas, también se especifica:

- $R_m$ : Resistencia a tracción de la fibra (N/mm<sup>2</sup>).
- Previsiones de espacio (espesor, recubrimiento y espacio entre barras de armado en el elemento, si es el caso).
- Forma de suministro: sueltas o en peines.

Las fibras deben cumplir con algunos requerimientos mecánicos de resistencia a tracción, doblado y condiciones de superficie. Los ensayos para evaluar estos factores y los criterios de aceptación o rechazo se encuentran en la norma ASTM A820.

En función del material base utilizado para la producción de las fibras de acero, se clasifican en los siguientes grupos según la ASTM A820 / A820M -04:

- Tipo I: alambres estriados en frío (cold - drawn wire).
- Tipo II: laminas cortadas (cut sheet).
- Tipo III: extractos fundidos (Melt – extracted).
- Tipo IV: conformados en frío (mill cut).
- Tipo V: aserrados de bloques de acero (milled from Steel blocks)

Las fibras de acero pueden tener formas muy variadas, pudiendo ser rectas, onduladas corrugadas, con extremos formados, dentadas, etc. Así, las secciones también pueden ser circulares, cuadradas, rectangulares y planas.

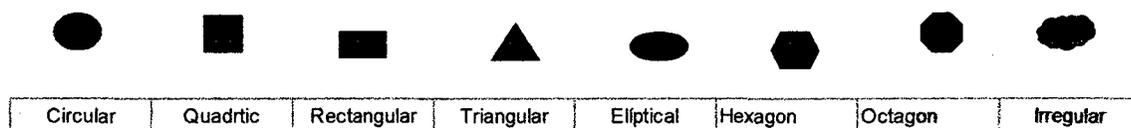


Figura 6. Secciones de las fibras más comunes.

Fuente: Patricia Cristina. Madrid 2010.

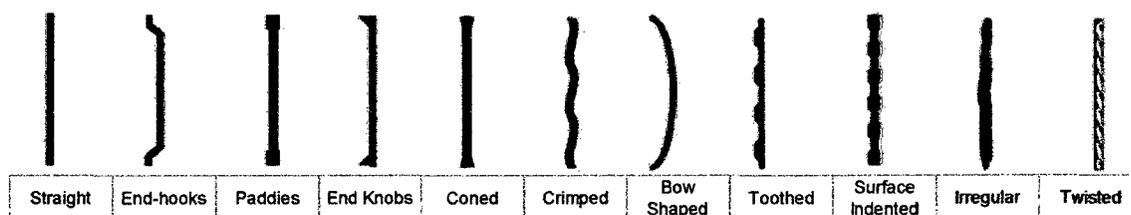


Figura 7. Formas geométricas de las fibras.

Fuente: Patricia Cristina. Madrid 2010.

El método de obtención no es único, aunque el más habitual es el del corte de alambres trefilados de acero de bajo contenido de carbono. Otros métodos son el corte de láminas de acero y el arrancamiento en caliente, consiguiendo fibras de sección cuadrada y fibras con forma de viruta respectivamente (Patricia Cristina. Madrid 2010).

En la caracterización de las fibras de acero se emplean tres parámetros básicos.

- Esbeltez o aspecto: este parámetro se define como la relación entre la longitud de la fibra y su diámetro ( $l_f/d_f$ ). A mayor esbeltez, menor será la dosificación de fibras a utilizar.
- Resistencia a tracción del acero: la resistencia a tracción de las fibras depende de la calidad del acero. Para un contenido bajo o medio de carbono, la resistencia a tracción oscila entre 400 y 1500 MPa.
- Incrementando el contenido de carbono se pueden alcanzar resistencias de 2000 MPa, siendo este tipo de fibras especialmente adecuadas para concretos de alta resistencia.
- Forma: Se obtienen mejores resultados con fibras trefiladas de sección circular y con extremos conformados.

En función de la aplicación que se le va a dar a las fibras, éstas pueden ser galvanizadas, con una mejor resistencia a la corrosión en obras marítimas, o de acero inoxidable, impidiendo la corrosión en atmósferas calientes y con gases agresivos como es el caso de los concretos en el revestimiento de hornos, en industria petroquímica, etc.

Una de las principales ventajas que aportan las fibras de acero es la mejora significativa de la ductilidad del concreto. A continuación se resumen los efectos positivos que la presencia de fibras de acero induce en el comportamiento del concreto: (Patricia Cristina. Madrid 2010).

- Mejora de la resistencia a flexión
- Aumento significativo de la resistencia a tracción
- Reducción de la deformación bajo cargas permanentes
- Aumento de la tenacidad
- Incremento significativo de la resistencia al impacto y choque
- Gran resistencia a la fatiga dinámica
- Control de la fisuración
- Aumento de la durabilidad del concreto

#### 2.2.4 Comportamiento mecánico del CRFA

El concreto reforzado con fibras de acero puede ser considerado una variante del principio de refuerzo con barras de acero. En este caso, el refuerzo se realiza con un gran número de pequeñas fibras, distribuidas de forma aleatoria en la mezcla. Las fibras de acero son las que tienen la función de soportar las tracciones tras la fisuración del concreto. Sin embargo, es necesario precisar que la manera de trabajar de las fibras es diferente a la del armado convencional (Rodríguez López et al., 1984).

En el caso del armado convencional, las barras están ancladas de forma que se alcanza el límite elástico del acero y su capacidad última se desarrolla cuando tiene lugar la rotura del acero. A diferencia de las barras, las fibras de acero se diseñan para que no alcancen el límite elástico del acero, antes de alcanzarlo deben deslizarse para desarrollar su máxima eficiencia. La razón es que todas las fibras que cosen una fisura tienen diferente longitud de anclaje y orientación. Esto significa que las deformaciones en las diversas fibras durante la apertura de la fisura son muy distintas, existiendo la posibilidad de que algunas de ellas rompan mientras que otras aún están sometidas a tracciones bajas (ver figura 8.) No obstante, si las fibras deslizan en lugar de romperse, su resistencia total a tracción será muy importante, consiguiendo además una gran ductilidad (ver figura 9.). De esto se deduce que la longitud de anclaje debe ser suficientemente grande para garantizar la adherencia y suficientemente pequeña para permitir el deslizamiento de las fibras.

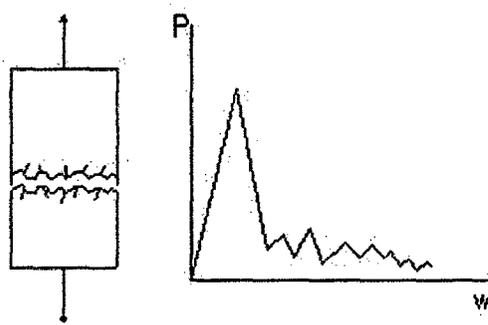


Figura 8. Relación carga-desplazamiento para rotura de fibras (tracción)

Fuente: (Rodríguez López et al., 1984).

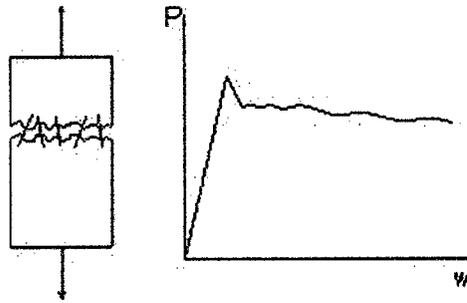


Figura 9. Relación carga- desplazamiento para deslizamiento de fibras (Compresión).

Fuente: (Rodríguez López et al., 1984).

A continuación se procede a un análisis más detallado del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de acero (HRFA) frente a diversos esfuerzos estáticos.

#### 2.2.4.1 Comportamiento frente a esfuerzos estáticos

##### 2.2.4.1.1 Comportamiento a compresión

La resistencia a compresión del concreto no se ve afectada de manera significativa por el contenido de fibras (ver figura 10), y el agotamiento por compresión se anuncia por la formación de fisuras en la dirección de la tensión de compresión, como en el concreto convencional.

La presencia de fibras no varía el patrón de fisuración del concreto, por esta razón la pequeña variación de resistencia a compresión es ignorada (Rodríguez López et al., 1984).

Sin embargo, una vez alcanzada la tensión de rotura, la ductilidad se ve influenciada significativamente por la adición de fibras.

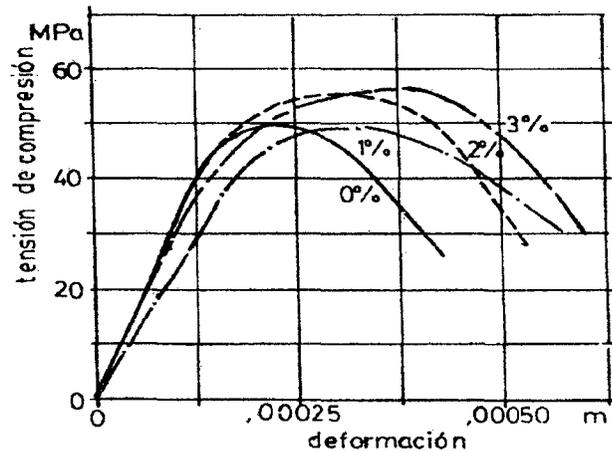


Figura 10. Diagrama esfuerzo de compresión vs. Deformación.

Fuente: (Rodríguez López et al., 1984).

La figura 10. Corresponde a ensayos efectuados sobre probetas cilíndricas de 0,76mm de diámetro y 152 mm de longitud, de acuerdo con la especificación C 39-72 de las normas ASTM y a una temperatura de 75°F. Las fibras utilizadas son de 0,40 mm de diámetro y 30 mm de longitud, con anclajes en los extremos. (Fernández Cánovas, M. 2003)

#### 2.2.4.1.2 Comportamiento a flexión

La adición de fibras de acero en un elemento estructural sometido a flexión es más efectiva que en uno sometido a tracción. La causa de esta efectividad es que en la flexión se aprovecha la capacidad de redistribución del concreto reforzado con fibras (Fernández Cánovas, M. 2003).

En la figura 11 se muestra el aumento de la resistencia a flexión según el porcentaje de fibras de acero.

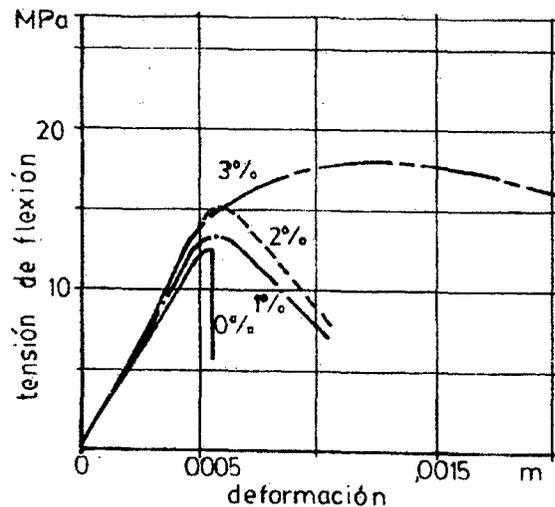


Figura 11. Diagrama esfuerzo de flexión vs deformación.

Fuente: (Rodríguez López et al., 1984).

#### 2.2.4.2 Propiedades físicas del CRF.

Dentro de estas propiedades se puede mencionar la trabajabilidad del concreto, que de acuerdo con el (ACI 116, 1990), es aquella propiedad del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado. La homogeneidad y uniformidad, la consistencia, la estabilidad y la compacidad en conjunto se complementan para ofrecer una perspectiva global de su trabajabilidad.

##### a) Trabajabilidad del concreto fresco.

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

##### - Asentamiento o Slump.

El método de determinación empleado, es el ensayo del "Cono de Abrams" o "Slump" (Norma NTP 339.035 ó ASTM C143) que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o centímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definidas y sección tronco cónica. Por consiguiente, se puede definir el asentamiento, como la medida de la diferencia de altura entre el molde

metálico estándar y la masa de concreto después que ha sido retirado el molde que la recubría. Es una prueba sencilla que se usa tanto en el campo como en el laboratorio.

El ensayo de consistencia, llamado también de revenimiento o "SLUMP TEST", es utilizada para caracterizar el comportamiento del concreto fresco. Esta prueba, desarrollada por Duft Abrams, fue adoptada en 1921 por el ASTM y revisada finalmente en 1978 (Flavio Abanto: Tecnología del Concreto).

El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asentamiento de la mezcla luego de desmoldeado.

El comportamiento del concreto en la prueba indica su "consistencia" o sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos.

La consistencia se modifica fundamentalmente por variaciones del contenido de agua de mezcla.

#### a) Equipo

El equipo necesario consiste en un tronco de cono. Los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm.

El molde se construye con plancha de acero galvanizado, de espesor mínimo de 1.5mm. Se sueldan al molde asas y aletas de pie para facilitar la operación.

Para compactar el concreto se utiliza una barra de acero liso de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud y una punta semiesférica.

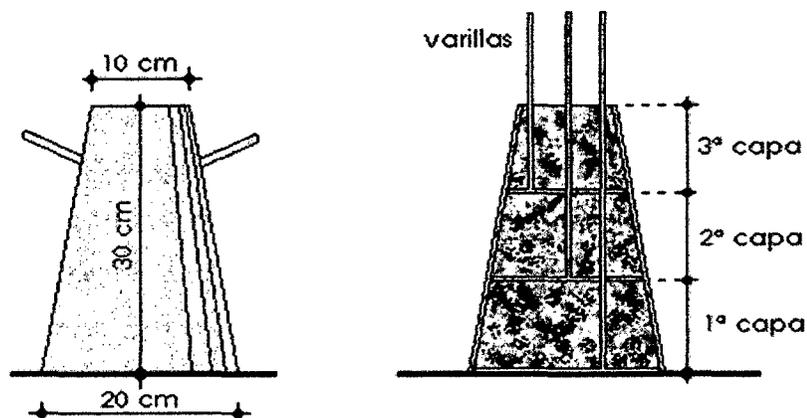


Figura 12. Equipo de ensayo para slump: Cono de Abrams.

Fuente: Flavio Abanto

b) Clases de mezclas según su asentamiento

Tabla 5. Consistencias Para concreto normales.

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	METODO DE COMPACTACION
SECA	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
PLASTICA			
FLUIDA	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Flavio Abanto

b) Peso Unitario del Concreto.

El ensayo se desarrolló de acuerdo a lo establecido en la NTP 339.046 – Revisada el 2013 – ASTM C 138.

c) Contenido de Aire – Método Gravimétrico.

El contenido de aire se calculó en base a los resultados obtenidos del ensayo del peso unitario del concreto fresco (Método Gravimétrico) y se calcula de la siguiente manera:

$$A = \left[ \frac{(T-D)}{T} \right] \times 100 \dots\dots\dots(29)$$

**Dónde:**

**A** = Contenido de aire (%)

**T** = Masa de colada (kg)

**D** = Densidad de masa (peso unitario) del concreto (kg/m<sup>3</sup>)

d) Consistencia (cohesión y viscosidad)

Partiendo de que la presencia de las fibras restringe la fluidez de la matriz, es importante evaluar la consistencia de los CRFA con métodos dinámicos como el Cono Invertido, el Consistómetro VeBe y el Manejabilímetro.

El ACI 116 (Terminología para Cemento y Concreto, 1990) identifica la consistencia del concreto recién mezclado con su relativa movilidad para fluir, y admite que la manera más usual para evaluarla es por medio de la prueba del revenimiento o Slump. La prueba de revenimiento, es un ensayo prácticamente estático en el que la muestra de concreto se deforma exclusivamente por efecto de la reducida energía potencial de la propia muestra. Por tal motivo no se espera su uso en mezclas de concreto duras, y sólo resulta aplicable en mezclas que requieren poco esfuerzo para deformarse y comenzar a fluir, tales como las de consistencia semi plástica en adelante.

La prueba estándar de revenimiento o Slump (ASTM C 143) utiliza un molde troncocónico, cuyo volumen es de aproximadamente 6 litros. La prueba consiste en llenar el molde en 3 capas con concreto, cada capa consolidada por 25 golpes con una varilla de 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud y de punta hemisférica; y retirar el molde verticalmente a fin de permitir que la masa de concreto se asiente, siendo la magnitud de este asentamiento la medida de la consistencia de la mezcla.

e) Segregación del concreto (NTP 339.047 – 2006)

El fenómeno de segregación representa el estado opuesto de la homogeneidad y suele reservarse para el caso en que una parte de la grava se separe ostensiblemente de la masa de concreto originalmente homogénea.

El tamaño máximo de la grava juega un papel muy importante en la tendencia a la segregación de las mezclas de concreto, pues el riesgo de que las gravas segreguen se incrementa considerablemente al aumentar su tamaño y su correspondiente masa, lo cual es aún más crítico cuando el peso específico de la grava es alto.

f) Exudación (NTP 339.047 – 2006).

El sangrado del concreto es un hecho natural y se considera que un sangrado moderado no resulta perjudicial al concreto si se manifiesta en forma normal. Un sangrado puede ser de cierta utilidad en estructuras con gran superficie expuesta, pues evita el resecamiento superficial del concreto y su posible agrietamiento por contracción plástica, antes de que se realicen las operaciones de acabado y de curado.

g) Compacidad

El ACI 116 (Terminología para Cemento y Concreto, 1990), define la compactación como el proceso según el cual un volumen de concreto recién colado se reduce al espacio mínimo, por medio de vibración, centrifugación, apisonamiento, o una combinación de estas acciones, para moldearlo dentro de las cimbras y alrededor del acero de refuerzo y de otras partes embebidas, y para eliminar las burbujas del aire atrapado pero no las del aire incluido intencionalmente.

Una alta compacidad, conduce a un alto peso unitario del concreto. Éste, depende en buena medida de la calidad y cantidad de los materiales que integran el concreto, lo cual depende a su vez de la densidad del material.

Para que un concreto sea compacto, denso, homogéneo, resistente y durable, se requerirá:

- El empleo de un cementante de buena calidad y la aplicación de bajas relaciones Agua/cemento.
- El uso de agregados densos, poco porosos y bien gradados.
- Usar un bajo contenido de agua de mezclado, lo que se logra empleando aditivos reductores de agua.
- Un adecuado manejo, colocación y compactación del concreto dentro de la cimbra o acero de refuerzo.
- Una aplicación correcta y continua del curado después del fraguado final.

#### 2.2.5 Definición de términos básicos

- **Aditivo:** Un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto. [ASTM C - 494]
- **Aditivo plastificante:** También llamados plastificadores son aditivos que suavizan los materiales de las mezclas de concreto. [ASTM C - 494]
- **Aditivo Sikament 290N:** es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada. Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo. Como plastificante cumple con la Norma ASTM C-494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C-494, tipo G. [ASTM C - 494]
- **Agregado:** Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.011.

- **Agregado fino:** Agregado extraído de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.
- **Agregado grueso:** Agregado grueso retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037,
- **Cemento Portland:** Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda. [NTP 400.017- 2011]
- **Compactación:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de una mezcla de mortero o de concreto (concreto) fresco. [NTP 339.047-2006]
- **Curado:** Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero u concreto. [NTP 339.047-2006]
- **Ensayo de asentamiento:** Medida de la consistencia del mortero u concreto fresco expresada por el descenso de una masa plástica representativa del pasión, al quedar libre del soporte metálico en que fue moldeado. [NTP 339.047-2006]
- **Fibras:** Filamentos delgados discontinuos, provenientes de un proceso industrial, como acero, vidrio, carbón y polímero o de carácter natural como asbesto, celulosa y otros. Se incorporan a la pasta, mortero o concreto para reforzar la matriz de cemento, retardando la formación de grietas e incrementando la resistencia a la tracción. [NTP 339.047-2006]
- **Fibra de Acero:** Filamentos de acero cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto y mortero.
- **Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución

mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. [NTP 400.011-2008 - Revisada el 2013]

- **Módulo de elasticidad:** Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material. También conocido como módulo de Young o módulo Young de elasticidad, designado por el símbolo E. [NTP 339.047-2006]
- **Módulo de Finura de la Combinación de Agregados:** Método de diseño de mezcla empleado para determinar las proporciones de los componentes del concreto.
- **Peso específico:** Se define como la relación entre la masa de un volumen unitario del material y la masa de igual volumen de agua destilada, libre de gas, a una temperatura especificada. [NTP 339.047 - 2006]
- **Relación agua-cemento (a/c):** Relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el concreto. [NTP 339.047-2006]
- **Rendimiento:** Volumen por amasada (bachada, pastón) de concreto que se expresa en metros cúbicos (pies cúbicos). [NTP 339.047-2006]
- **Resistencia a compresión:** Resistencia máxima que una probeta de concreto o mortero puede resistir cuando es cargada axialmente en compresión en una máquina de ensayo a una velocidad especificada. [NTP 339.034-2008 - Revisada el 2013]

# *CAPITULO III*

*MATERIALES Y METODOS*

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación geográfica

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, Ubicada en la Av. Atahualpa N°1050, entre los meses de Agosto de 2014 a Enero de 2015.

#### 3.2 Procedimiento.

Se elaboraron probetas de concreto simple y reforzado con fibra de acero Sika® Fiber CHO 65/35 NB, que cumplan con la norma ASTM A 820 tipo I en 3 dosis para evaluar la resistencia mecánica a la flexión en estado endurecido a los 28 días de edad, de modo que los resultados sean representativos y el aditivo superplastificante Sikament 290 N con el fin de reducir el agua de mezcla y darle mayor trabajabilidad que por el uso de fibras disminuye. Se hicieron 30 especímenes por cada dosificación de concreto con fibra y al final se compararon con una muestra patrón de 10 unidades sin fibras.

##### 3.2.1 Muestra

El número total de pruebas = Variable independiente Resistencia a Flexión) X Número de dosificaciones X Número de réplicas =  $1 \times 3 \times 30 = 90$  ensayos de resistencia a flexión del concreto fibroreforzado,  $1 \times 1 \times 10 = 10$  ensayos de resistencia a flexión del concreto simple y  $(1 \times 3 \times 10) + (1 \times 1 \times 5) = 35$  ensayos de resistencia a compresión del concreto fibroreforzado y simple respectivamente, Los cuales darían un total de 100 especímenes prismáticos y 35 especímenes cilíndricos los cuales serán sometidos a ensayos de flexión y compresión axial respectivamente, (Marcelo Rojas Cairampoma, 2011)

### 3.2.2 Unidad de análisis

Las probetas prismáticas y cilíndricas, de concreto simple y reforzadas con fibras, todas con aditivo Sikament 290 N.

Tabla 6. Matriz experimental de diseño y niveles de variable de estudio.

RESULTADOS		FACTORES DE ANÁLISIS			
		C° sin fibra	C° reforzado con fibra CRFA		
Dosificación		Sin fibra	30 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>	70 kg/m <sup>3</sup>
		0 kg/m <sup>3</sup>			
Resistencia a la compresión y a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	28 días	T02-P01	T01-P01	T04-P01	T06-P01
		T02-P02	T01-P02	T04-P02	T06-P02
		T02-P03	T01-P03	T04-P03	T06-P03
		T02-P04	T01-P04	T04-P04	T06-P04
		T02-P05	T01-P05	T04-P05	T06-P05
		T02-P06	T01-P06	T04-P06	T06-P06
		T02-P07	T01-P07	T04-P07	T06-P07
		T02-P08	T01-P08	T04-P08	T06-P08
		T02-P09	T01-P09	T04-P09	T06-P09
		T02-P10	T01-P10	T04-P10	T06-P10
			T01-P11	T04-P11	T06-P11
			T01-P12	T04-P12	T06-P12
			T01-P13	T04-P13	T06-P13
			T01-P14	T04-P14	T06-P14
			T01-P15	T04-P15	T06-P15
			T03-P01	T05-P01	T07-P01
			T03-P02	T05-P02	T07-P02
			T03-P03	T05-P03	T07-P03
			T03-P04	T05-P04	T07-P04
			T03-P05	T05-P05	T07-P05
			T03-P06	T05-P06	T07-P06
			T03-P07	T05-P07	T07-P07
			T03-P08	T05-P08	T07-P08
			T03-P09	T05-P09	T07-P09
			T03-P10	T05-P10	T07-P10
			T03-P11	T05-P11	T07-P11
			T03-P12	T05-P12	T07-P12
			T03-P13	T05-P13	T07-P13
			T03-P14	T05-P14	T07-P14
			T03-P15	T05-P15	T07-P15

### 3.2.3 Procedimiento y técnicas de recolección de datos.

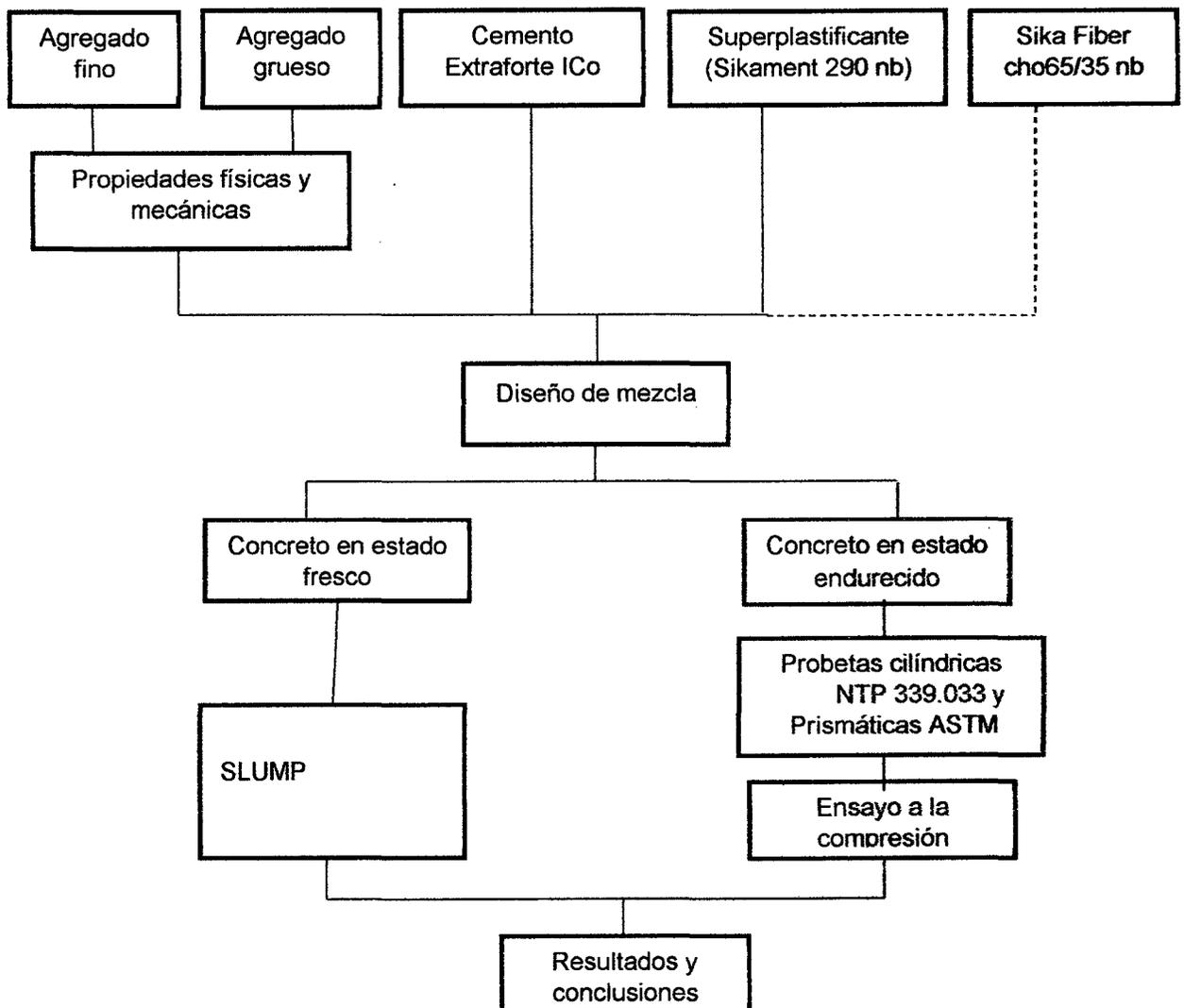


Figura 13. Diagrama del circuito experimental para la evaluación del concreto fibroreforzado.

### 3.3 Materiales, equipos y herramientas.

#### 3.3.1 Materiales utilizados en la investigación.

Cemento portland adicionado Tipo ICo con p.e = 2.96 gr/cm<sup>3</sup>, (Hoja técnica Cementos Pacasmayo, 2015) (Anexo VI), norma ASTM C-595 o NTP - 334.090

Agregados de la cantera Tartar Chico que está ubicada en el distrito de Baños del Inca – Caserío Tartar Chico - Río Chonta (cerca del Acueducto la unión carretera Baños del inca-Otuzco), denunciada y explotada por el Sr. Edilberto Aguilar Flores; ubicado a 9208957.00 m N 779906.00 m E, Altitud promedio **2681.00 m.s.n.m.**

**Agua potable, proveniente de la red pública de servicio de agua en Cajamarca.**

**Aditivo Sikament 290N, norma ASTM C-494, tipo G, con peso específico 1.18 gr/cm<sup>3</sup>.**

Fibra de acero tipo I, norma ASTM A 820.

#### 3.3.2 Equipos y herramientas utilizados en la investigación

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 °C.
- Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.
- Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Termómetro con aproximación de 0.5 °c.
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 5/8" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones **duras de trabajo.**
- **Máquina de los Ángeles con carga abrasiva consiste en esferas de acero, de aproximadamente 4.7 cm. diámetro y cada una con un peso entre 390 y 445 g.**

### 3.4 Propiedades físico mecánicas del agregado.

#### 3.4.1 Estudio de las características físicas y mecánicas de los agregados

##### 3.4.1.1 Elección de la cantera para el presente trabajo

La cantera Tartar Chico, fue elegida por su Accesibilidad, naturaleza y la forma de obtención de sus agregados los cuales son extraídos, lavados y seleccionados por tamaños requeridos por el cliente.

##### 3.4.1.2 Extracción y preparación de muestras para ensayos

Para la obtención del agregado fino y grueso de estudio se realizaron los procedimientos de muestreo descritos en la NTP 400.010-2011, en concordancia con la Norma ASTM D75.

##### 3.4.1.3 Análisis granulométrico.

Este análisis se realizó para determinar la distribución aproximada de las partículas de los agregados en porcentaje. Los procedimientos son descritos en la norma NTP 400.012, también en la ASTM C 136.

Se determinó el **módulo de finura**, con la siguiente expresión.

- Módulo de finura para el agregado fino.

$$M. F = \left( \Sigma \% Ret. \frac{acum(N^{\circ}100, N^{\circ}50, N^{\circ}30, N^{\circ}16, N^{\circ}8, N^{\circ}4)}{100} \right) \dots \dots \dots (1)$$

- Módulo de finura para el Agregado Grueso.

$$M. G = [\Sigma \% Ret. acum \left( , 1 \frac{1}{2} , \frac{3}{4} , \frac{3}{8} , N^{\circ}4 \right) + 500] / 100) \dots \dots \dots (2)$$

### 3.4.1.4 Tamaño máximo del agregado grueso

Según la NTP 400.037 el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

### 3.4.1.5 Densidad relativa y absorción

Para el agregado grueso se determinó Según las normas NTP 400.021 y ASTM C 127 y para el agregado fino según la norma NTP 400.022 y ASTM C 128.

- Para el agregado grueso.

Luego de un lavado completo para eliminar el polvo y otras impurezas superficiales de las partículas, se secó la muestra hasta peso constante a una temperatura de 110°C y luego se sumergió en agua durante 24 horas, se sacó la muestra del agua y se la hizo rodar sobre un paño absorbente.

- Para el agregado fino.

Se seleccionó por cuarteo, 1000g se colocó en un envase y se puso a secar en la estufa a una temperatura de 110°C, se retiró la muestra y se cubrió con agua y se dejó en reposo por 24 horas, se extendió en una superficie plana de aire tibio y se removió con frecuencia para garantizar un secado uniforme. Se continuó esta operación hasta que los granos de agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí, luego se colocó la muestra en el molde cónico, golpeando la superficie suavemente 25 veces con la varilla de metal y levantando verticalmente el molde, hasta que se derrumbe al quitar el molde, lo cual indica que el agregado fino alcanzó una condición de saturado con superficie seca.

Las fórmulas utilizadas son las siguientes.

- Para el agregado fino:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{W_o}{V-V_a} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Peso específico sss} = \frac{500}{V-V_a} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_o}{(V-V_a)-(500-W_o)} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Absorción} = \frac{500-W_o}{W_o} * 100 \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

Wo: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

V: Volumen del frasco (cm3)

Va: peso (gr) o volumen (cm3) del agua añadida al frasco.

- Para el agregado grueso.

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B-C} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{Peso específico sss} = \frac{B}{B-C} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A-C} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{Absorción} = \frac{B-A}{A} * 100 \quad \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

B: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)

C: peso en el agua de la muestra saturada (gr)

#### 3.4.1.6 Contenido de Humedad.

Según la norma NTP 339.185

Se colocó la muestra húmeda a ensayar en un depósito adecuado determinándose dicho peso (peso del recipiente + muestra húmeda), se llevó el recipiente con la muestra húmeda a una estufa, para secarla durante 24 horas a una temperatura de 110°C, se pesó el recipiente con la muestra seca (peso recipiente más muestra seca) y se determinó la cantidad de agua evaporada.

- Ww = peso del recipiente más muestra húmeda – peso del recipiente más la muestra seca.

Luego se determinó el peso de la muestra seca

- Ws = (peso del recipiente + muestra seca) – peso del recipiente.

El contenido de humedad se determinó con la siguiente fórmula.

$$W = \frac{(MH-MS)+100}{MS} \dots\dots\dots(11)$$

MH = peso de la muestra húmeda.

MS = peso de la muestra seca.

W = porcentaje de humedad.

### 3.4.1.6.1 Peso Unitario.

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.017 en correspondencia con la ASTM C 29.

El recipiente tendrá una altura aproximadamente igual al diámetro, pero en ningún caso tendrá una altura de menos del 80% ni más del 150% del diámetro. La capacidad del recipiente estará de conformidad con los límites del siguiente cuadro:

Tabla 7. Capacidad de los recipientes para ensayo de densidad de masa

Tamaño nominal máximo del agregado		Capacidad del recipiente	
mm	Pulg	m <sup>3</sup> (l)	p <sup>3</sup>
12.5	½	0.0028 (2.8)	1/10
25.0	1	0.0093 (9.3)	1/3
37.5	1 ½	0.0140 (14)	1/2
75	3	0.0280 (28)	1
100	4	0.0700 (70)	2 ½
125	5	0.1000 (100)	3 ½

Fuente: NTP 400.017-2011

Para la determinación del peso unitario la muestra deberá de estar completamente mezclada y seca a temperatura ambiente.

a) Procedimiento de ensayo.

1. Para el peso unitario suelto:

- Se llenó el recipiente hasta el reboce con un cucharón, descargando el agregado desde una altura aproximada de 50 mm encima del borde superior del mismo. Se Niveló la superficie del agregado con la varilla de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado aproximadamente equilibren los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
- Se determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío y se registraron los valores con exactitud de 0.05 kg.

2. Peso unitario compactado:

- Se llenó el recipiente a 1/3 de la altura y se niveló la superficie. Se apisonó la capa del agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Se llenó el recipiente a los 2/3 del total y se repitió el proceso anterior, finalmente se llenó el molde y se apisonó nuevamente. Se niveló la superficie del agregado con la varilla de manera que cualquier proyección leve de las partículas más grandes del agregado aproximadamente quedó equilibrada con los vacíos mayores en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
- En el apisonado de la primera capa, se procuró no golpear el fondo del recipiente con fuerza. En el apisonado de la segunda y tercera capas, se usó un esfuerzo vigoroso, pero no mayor del que pueda causar la penetración de la varilla a la capa previa del agregado.
- Se determinó la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío y se registraron los valores con exactitud de 0.05 kg.

b) Expresión de los resultados (Ver anexo II).

a. Densidad del agua: Calcular como sigue:

$$D = \frac{P_1 - P_2}{V} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

D = Densidad del agua para la temperatura trabajada, kg/m<sup>3</sup>

P<sub>1</sub> = Masa del picnómetro y agua, kg

P<sub>2</sub> = Masa del picnómetro, kg

V = Volumen del picnómetro hasta la línea de calibración, m<sup>3</sup>.

b. Volumen y Factor del recipiente: Calcular el volumen del recipiente como sigue:

$$V = \frac{(W-M)}{D} \dots\dots\dots(13)$$

$$F = \frac{D}{(W-M)} \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente, l/m<sup>3</sup>

W = Masa del agua, placa de vidrio y recipiente, kg

M = Masa de placa de vidrio y recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura trabajada, kg/m<sup>3</sup>

c. Densidad de masa: Calcular la densidad de masa por los procedimientos de apisonado o peso suelto como sigue.

$$PU = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots(15)$$

$$PU = (G - T) \times F \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

PU = Densidad de masa del agregado, kg/m<sup>3</sup>

G = Masa del recipiente y agregado, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente, l/m<sup>3</sup>

d. Contenido de vacíos: Calcular el contenido de vacíos en el agregado usando la densidad de masa determinada por cualquiera de los procedimientos descritos como sigue:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{\{(S \times W) - M\}}{(S \times V)} \times 100 \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m<sup>3</sup>

S = Gravedad específica de masa de conformidad con el método NTP 400.021 o NTP 400.022 como corresponda

W = Densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>

#### 3.4.1.7 Resistencia al desgaste o abrasión del agregado:

Este ensayo tiene por finalidad el cálculo del desgaste del agregado grueso, para ello y de acuerdo a la granulometría se empleará el método descrito en la NTP 400.019 o su equivalente la ASTM C 131.

**Tabla 8. Muestra requerida para el ensayo de abrasión**

Tamices		Peso de los tamaños indicados (gr.)			
Pasa	Retiene	A	B	C	D
1 ½"	1"	1250 ± 25	---	---	---
1"	¾"	1250 ± 25	---	---	---
¾"	½"	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
½"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
3/8"	¼"	---	---	2500 ± 10	---
¼"	N° 4	---	---	2500 ± 10	---
N° 4	N° 8	---	---	---	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: NTP 400.019-2002

La carga abrasiva consiste en esferas de acero, de aproximadamente 4.7cm de diámetro y cada uno con un peso entre 390 y 445gr.

#### a) Procedimiento de ensayo.

Se colocó la muestra de ensayo de acuerdo al peso establecido por la NTP 400.019 seleccionada de acuerdo a los pesos retenidos en las mallas como lo especifica la norma, haciendo un total de 5000g y la carga abrasiva para una gradación B, en la máquina de los ángeles que gira a una velocidad de 30 a 33 rpm durante 500 revoluciones. Cuando terminó las revoluciones se descargó el material y se lavó por el tamiz N°12, luego se secó este retenido lavado en el horno a una temperatura de 110 °C por un espacio de 24 horas. Secada la muestra se procedió a pesarla, obteniéndose así un valor que será remplazado en la fórmula para obtener el resultado de la abrasión.

b) Expresión de los resultados (Ver anexo II).

El porcentaje de desgaste, está dado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Abrasión} = \frac{(W_o - W_f) * 100}{W_o} \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

**W<sub>o</sub>**: Peso original de la muestra antes de ensayar (gr).

**W<sub>f</sub>**: Peso final de la muestra después del ensayo (gr)

Una vez concluida con la determinación de las propiedades físico mecánicas de los agregados, se procedió al diseño de mezclas.

### 3.5 Fibra de acero.

La fibra de acero que se empleó para elaborar las muestras en estudio fue Sika Fiber CHO35 /65 NB, que al ser incorporado a la masa del concreto le confiere una mejor resistencia a flexión y Cumple con la Norma ASTM A 820, Tipo 1.

En el ANEXO III se presenta la hoja técnica de la fibra de acero proporcionada por Sika Fiber.

### 3.6 Cemento.

El cemento que se empleó para elaborar las dosificaciones de estudio, fue Cemento portland adicionados tipo Ico de Cementos Pacasmayo S.A.A. destinado para uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales. Que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.090 y ASTM C 595.

En el ANEXO V se presenta la ficha técnica del Cemento portland adicionado tipo ICo de Cementos Pacasmayo S.A.A.

### 3.7 Agua.

El agua empleada en la preparación y curado de los especímenes cilíndricos de concreto, fue el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, esta agua es extraída de pozos subterráneos, cumple con los límites máximos y mínimos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según el DS N9 031-2010-SA; cumpliendo así los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088.

### 3.8 Sikament 290N

Con el fin de darle trabajabilidad a la mezcla de concreto se utilizó Sikament 290N el cual no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras. Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G. La hoja técnica de del presente aditivo se muestra en el ANEXO IV.

### 3.9 Procedimiento para el diseño de mezclas.

Para la realización del diseño de mezcla y de las proporciones del concreto se eligió el método del Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados.

Este método de diseño considera las tablas empleadas por el comité 211 del ACI para la selección de los materiales que intervienen en la pasta, sin embargo para la selección de las proporciones de los agregados se emplea un módulo denominado de combinación de los agregados, que no es más que la representación del índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado si éste fuese global.

Se realizó el diseño de mezclas, para un concreto de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , utilizando cemento Pacasmayo Tipo ICo, agregados de la cantera Tartar Chico - del Rio Chonta y agua potable de la ciudad universitaria (UNC) y aditivo Sikament 290N. En primer lugar se realizó el diseño de mezcla, posteriormente se confecciono una mezcla para el ajuste de las proporciones. Teniendo las proporciones de la mezcla ya corregidas se diseñó en primer lugar una mezcla Patrón (sin fibra), asimismo se realizó mezclas para diferentes porcentajes de aditivo superplastificante (Sikament 290N), para obtener el porcentaje óptimo de

aditivo con el fin de darle plasticidad y posteriormente realizar mezclas una (01) sin fibra de acero y tres (03) con diferentes cantidades de fibra de acero; 30 kg/m<sup>3</sup>, 50 kg/m<sup>3</sup>, y 70 kg/m<sup>3</sup>.

Los pasos para obtener el proporcionamiento de los componentes del concreto (Diseño) según el método antes mencionado es:

1° Selección de la resistencia promedio ( $f'_{cr}$ ) requerida para alcanzar la resistencia mínima especificada ( $f'_c$ ), debido a que se desconoce el valor de la desviación estándar y asumiendo un grado de control aceptable en obra se utilizó la tabla 55.

2° Selección del tamaño máximo nominal. Se escogió (TMN = 1/2"), debido a que se necesita mayor trabajabilidad para la manipulación del concreto con la fibra incluida, así como también es más recomendable la utilización de agregado de menor tamaño para concretos de medianas a altas resistencias.

3° Elección de la consistencia de la mezcla. Deseándose tener una buena trabajabilidad en la mezcla se eligió una consistencia plástica (Trabajable) tomando como referencia la tabla 56.

4° Determinación del volumen de agua de mezclado, se utilizó la tabla 57 ingresando con el asentamiento, el TMN y la presencia o no de aire incorporado (para éste caso será concreto sin aire incorporado).

5° Se determina el porcentaje de aire atrapado. Se utilizó la tabla 58. Ingresando a la tabla con el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado se obtiene el porcentaje de aire.

6° Seleccionar la relación Agua – Cemento (a/c) requerida para obtener la resistencia deseada teniendo en cuenta que es un concreto sin aire incorporado, el asentamiento y el TMN de la tabla 59 para no perjudicar la trabajabilidad del concreto con la adición de la fibra.

7° Determinación el factor cemento por unidad cúbica de concreto en función de la relación agua - cemento seleccionada y del volumen unitario de agua.

$$\text{Factor cemento} = \frac{\text{volumen unitario de agua}}{\text{relacion A/C}} \dots\dots\dots (19)$$

**8°** Determinación del volumen absoluto de cemento. El volumen absoluto está en función del factor cemento y del peso específico del cemento. El factor cemento se encontró de dividir el factor cemento por el peso específico del cemento.

**9°** Determinación del volumen de la pasta. El volumen de la pasta se encontró al sumar el volumen absoluto de cemento más el agua de mezclado más el volumen absoluto de Sikament 290N dividida entre sus pesos específicos más el porcentaje de aire atrapado.

**10°** Determinación del volumen absoluto de los agregados. El volumen absoluto de los agregados se encontró de restar de la unidad cúbica de concreto el volumen de las pasta.

**11°** Cálculo de la incidencia del agregado fino y grueso respecto del agregado global. En este paso es donde interviene el método del módulo de finura de la combinación de agregados, se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100 \quad \dots\dots\dots(20)$$

**Donde:**

**mg** : Módulo de finura del agregado grueso.

**mf** : Módulo de finura del agregado fino.

**mc** : Módulo de la combinación de agregados.

**rf** : Porcentaje de agregado fino con respecto al agregado global.

Para encontrar el valor de "mc", ingresamos a la tabla 59. Con el número de bolsas de cemento por metro cúbico y el tamaño máximo nominal del agregado (TMN). Luego se encontró el porcentaje del agregado grueso por diferencia y posteriormente los volúmenes de los agregados multiplicando el porcentaje respectivo por el volumen absoluto de los agregados.

**12°** Cálculo de los pesos secos de los agregados, se encontró multiplicando el volumen de cada uno de los agregados por su respectivo peso específico.

**13°** Corrección por humedad de los agregados de los valores de diseño. Se partió encontrando los pesos húmedos de los agregados, multiplicando su peso

por su respectivo contenido de humedad, luego se encontró la humedad superficial de los agregados sumando algebraicamente su contenido de humedad más su absorción, luego se determinó el aporte de humedad de los agregados multiplicando su peso seco por el porcentaje de humedad superficial de los agregados, se encontró el aporte total de los agregados sumando algebraicamente los aportes independientes de los mismos, finalmente se encontró el agua efectiva, para ello se toma en cuenta el aporte de los agregados, si es negativo significa que hay que sumarle agua de no ser así se hace lo contrario.

14° Proporción en peso de los materiales, ya corregidos por humedad del agregado, se determinó el peso de los demás componentes con respecto al peso de una bolsa de cemento (42.5 Kg).

### 3.10 Elección del porcentaje óptimo de Sikament 290N.

Se elaboraron 20 especímenes con adición de Sikament 290N, con 0.8%, 0.9%, 1.0%, 1.2% del peso del cemento respectivamente, con la finalidad de ensayarlos y obtener el porcentaje con el cual se obtenga el mejor resultado en laboratorio. Asimismo cabe resaltar que para todos los casos se disminuyó el 15 % del agua de mezclado, permitiendo volverse trabajable a la mezcla.

Los resultados de la prueba son los siguientes:

Tabla 9. Asentamiento de las diferentes tandas de concreto, debido al porcentaje de aditivo plastificante.

TANDA	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO - MÉTODO DEL CONO DE ABRAMS "Pulg"			
%DEL PESO DE CEMENTO	CONCRETO	ADICIÓN DE	ADICIÓN DE	ADICIÓN DE
	SIN FIBRA	30 Kg /m <sup>3</sup> DE FIBRA	50 Kg /m <sup>3</sup> DE FIBRA	70 Kg /m <sup>3</sup> DE FIBRA
0.80%	2.95''	2.76''	2.44''	1.77''
0.90%	3.70''	3.39''	3.07''	2.44''
1.00%	3.82''	3.46''	3.11''	2.48''
1.10%	4.02''	3.70''	3.35''	2.91''
1.20%	4.84''	4.21''	3.66''	3.43''

Se determinó como porcentaje óptimo de Sikament 290N el 0.9 % del peso de cemento para las dosificaciones del concreto sin fibra, Con adición de 30kg, 50kg/m<sup>3</sup>, resultando que para el concreto adicionado de 70 kg/m<sup>3</sup> la dosificación óptima fue de 1.2% del peso del cemento.

### 3.11 Proceso de diseño de mezcla de prueba mediante el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.

Para la mezcla de prueba se consideró la elaboración de tres (03) especímenes cilíndricos de concreto sin fibra para ser probados a compresión, ya que este parámetro es el que define la resistencia especificada (280 Kg/m<sup>2</sup>).

Los pesos de los materiales húmedos por metro cúbico de concreto considerados para la mezcla de prueba, según el diseño fueron los siguientes:

- Cemento : 367.49 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua Efectiva : 154.53 Lts/m<sup>3</sup>
- Agregado fino : 939.27 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso : 823.80 Kg/m<sup>3</sup>
- Sikament290N : 3.31 Kg/tanda

Con los pesos de los materiales húmedos, se procedió a determinar la cantidad de material en volumen a ser empleado para realizar la mezcla de prueba. Como se consideró realizar tres (03) especímenes cilíndricos de concreto, se tomara el volumen de un espécimen, de acuerdo al molde metálico usado para su elaboración; el cual tiene un diámetro aproximado de 15 cm, con una altura aproximada de 30 cm, del cual se desprende el volumen:

Para la elaboración de tres (03) especímenes cilíndricos:

$$\text{Vol.}_{\text{espec.cil.}} = 3 * \frac{\pi * 0.15^2}{4} * 0.30 \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\text{Vol.}_{\text{espec.cil.}} = 0.015904 \text{ m}^3$$

Considerando los desperdicios de mezclado y otros, la colada será:

$$\text{Vol.}_{\text{colada}} = 0.020 \text{ m}^3$$

Siendo los pesos de los materiales para los tres (03) especímenes cilíndricos de concreto (Vol. Tanda = 0.020 m<sup>3</sup>):

- Cemento : 7.35 Kg/tanda
- Agua Efectiva : 3.09 Lts/tanda
- Agregado fino : 18.79 Kg/tanda
- Agregado grueso : 16.48 Kg/tanda
- Sikament290N : 0.07 Kg/tanda

### 3.11.1 Proceso de ajuste de mezcla.

El diseño de mezcla que mencionamos sirve para calcular las proporciones de los diferentes materiales que componen el concreto, permiten conocer unas cantidades que teóricamente producen un concreto con las propiedades deseadas. Sin embargo, existen algunos factores de los materiales que no se detectan en los ensayos y que traen como consecuencia un concreto con propiedades algo diferentes a las esperadas.

Por esto es necesario comprobar las cantidades teóricas por medio de mezclas de prueba. A dicha mezcla se le verifica el peso unitario, cantidad de agua añadida, Slump o asentamiento, el rendimiento volumétrico del concreto, así como el contenido de aire y la resistencia a compresión de los especímenes de concreto a los 28 días. También se debe observar que el concreto tenga la trabajabilidad y el acabado adecuado y que no se presente exudación ni segregación. De acuerdo a ello, se puede llevar a cabo los ajustes pertinentes con las proporciones de las mezclas subsecuentes siguiendo el procedimiento sugerido que se indica a continuación:

- **Agua de mezclado:** La cantidad de agua de mezclado estimada para obtener el mismo asentamiento que las tandas de prueba, deberá ser igual al volumen neto del agua de mezclado empleado dividido entre el rendimiento de la mezcla de ensayo expresado en metros cúbicos.
- **Corrección por asentamiento:** La cantidad de agua de mezclado requerida por metro cúbico de concreto deberá ser incrementada en dos (02) litros por cada incremento de 1 cm de asentamiento hasta obtener el asentamiento deseado.
- **Corrección por contenido de aire:** Para ajustar la mezcla a fin de compensar los efectos de un contenido de aire incorrecto en una mezcla de prueba con aire incorporado, reducir o incrementar el contenido de agua de mezclado en 3 litros por metro cúbico por cada 1 % en el cual, el contenido de aire se incrementa o disminuye en relación con el de la mezcla de ensayo.
- **Corrección por apariencia de la mezcla:** cuando la mezcla tiene la apariencia sobregrosa el volumen del agregado grueso por metro cúbico deberá disminuirse en un 10 - 15 %, si tiene apariencia sobrearenosa se aumentara el 10 - 15 % del agregado grueso. Las proporciones de los agregados se calculara respecto al "*r<sub>f</sub>*"; porcentaje de agregado fino con respecto al agregado global.
- **Peso unitario:** la base del proporcionamiento de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto es el peso estimado por metro cúbico del concreto fresco, el peso unitario recalculado del concreto fresco a ser empleado para efectuar el ajuste de las mezclas de prueba, será igual al peso unitario medido en la tanda de ensayo, reducido o incrementado por el

porcentaje de incremento o disminución en el contenido de aire de la tanda ajustada de la primera mezcla de prueba.

- *Corrección por resistencia:* Como se obtuvieron especímenes cuya resistencia promedio ensayada a los 28 días por debajo o por encima del 100% de la resistencia especificada  $f_c$ , se reajustó la relación agua/cemento debido a la hidratación del cemento, utilizando la Ley de Powers (A.M. Neville y J.J. Brooks):

$$R = 2380 * X^3 \quad ; \quad X = \frac{(0.678*\alpha)}{(0.318h*\alpha+a/c)} \dots\dots\dots(23)$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm<sup>2</sup>).

X = Relación Gel / Espacio.

$\alpha$  = Grado de hidratación.

a/c = Relación agua/cemento.

La cantidad de materiales de diseño luego de realizar todas las correcciones (ajuste de mezcla) del concreto normal o patrón (sin adición de fibra) por metro cúbico, se muestran a continuación:

- Cemento : 376.79 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua Efectiva : 154.85 Lts/m<sup>3</sup>
- Agregado fino : 927.37 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso : 826.76 Kg/m<sup>3</sup>
- Sikament 290N : 3.39 Kg/m<sup>3</sup>

### 3.11.2 Adición de fibra de acero en el diseño de mezcla.

Luego de verificadas y obtenidas las condiciones anteriores, se realizó la adición de las distintas proporciones para las mezclas tomando en cuenta la recomendación de sika fiber. Simultáneamente, se realizaron algunas mezclas con el orden anteriormente descrito para observar si existe alguna relación en la mejora de las propiedades mecánicas. A fin de tener un parámetro de

comparación, se mantuvo como mezcla de control o patrón a la cual no se le fue adicionada la fibra, (concreto con sikament 290N)

Una vez determinadas las proporciones de los materiales del concreto, así como el porcentaje adecuado de sikament 290N, se procedió a establecer las proporciones y cantidades de fibra necesarios en remplazo volumetrico de los áridos.

Las proporciones y diseño de mezclas para los diferentes porcentajes de fibra se muestran en el ANEXO VII.

Finalmente, se le denominó a las mezclas de acuerdo a la cantidad por metro cúbico de fibra en dicha mezcla. Por ejemplo, se referirá como mezcla de 30 kg/m<sup>3</sup> a la mezcla que contiene 30 kg de fibra por metro cúbico de concreto con adición de superplastificante. La excepción será la mezcla denominada "Concreto Patrón" ya que está representada por la que posee 0 kg de fibra. De ésta misma manera se identificaron las probetas de ensayo. A continuación se muestra en la Tabla 9 con materiales finales para el diseño de las mezclas.

Tabla 10. Materiales de diseño finales corregidos para un metro cúbico de concreto

MEZCLA	C° SIN FIBRA	C° + 30Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	C° + 50Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	C° + 70Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA
CEMENTO	376.79 Kg	376.79 Kg	376.79 Kg	376.79 Kg
AGUA	154.85 Lts	155.02 Lts	155.13 Lts	155.28 Lts
SIKAMENT 290N	3.39 Lts	3.39 Lts	3.39 Lts	4.12 Lts
FIBRA DE ACERO	0 Kg	30 Kg	50 Kg	70 Kg
A. FINO	927.37 Kg	921.97 Kg	918.38 Kg	913.44 Kg
A. GRUESO	826.76 Kg	821.96 Kg	818.75 Kg	814.35 Kg

### 3.11.3 Elaboración de especímenes de concreto.

La elaboración de los especímenes de concreto se realizó según la NTP 339.183, para lo cual se elaboraron especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto para pruebas de compresión (probetas cilíndrica graduada de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto) y flexión (probeta prismáticas graduada de 15 cm de arista y 50 cm de largo), según el diseño de cada una de las dosificaciones de fibra descritas anteriormente.

El procedimiento detallado de la confección de los especímenes de concretos se describe a continuación:

- a) Pesar los agregados separadamente (agregado grueso y agregado fino) en estado húmedo.
- b) Homogenizar separadamente los dos agregados mediante una palana, para que así ellos presenten un estado de humedad uniforme.
- c) Tomar muestras de los agregados pesados y determinar su contenido de humedad en ese momento.
- d) Corregir por humedad el peso de los agregados y del agua.
- e) Pesar el cemento, agua total (corregida por humedad de los agregados) y la fibra.
- f) Preparar la mezcladora, humedeciéndola antes de cargar los materiales.
- g) Cargar el agregado grueso y el agregado fino en la mezcladora, agregando una fracción del agua total (un 25% aproximadamente).
- h) Revolver los agregados durante 30 segundos para humedecerlos completamente.
- i) Adicionar una fracción de fibra en la mezcladora (un 30 % aproximadamente) mediante una "lluvia continua" de los filamentos de fibra sobre el concreto y dejar mezclar durante unos 15 segundos.
- j) Cargar el cemento en la mezcladora.
- k) Adicionar otra fracción de fibra en la mezcladora (un 40 % más aproximadamente) y dejar mezclar durante unos 15 segundos más y agregar la fracción restante de fibra.

- l) Agregar un 25 % de agua mezclada con el aditivo (Sikament 290N), y al agua restante adicionar lentamente tomando en cuenta la consistencia de la mezcla.**
- m) Amasar los materiales durante 3 minutos.**
- n) Revolver manualmente la mezcla verificando su estado (asegurándose de que no quede material sin mezclar adherido al fondo y en las paredes de la mezcladora).**
- o) Amasar durante otros 2 minutos.**
- p) Descargar en carretillas, previamente humedecidas para evitar que estas consuman el agua de la mezcla.**
- q) Una vez amasados todos los concretos, medir la docilidad de cada uno de ellos mediante el cono de Abrams.**
- r) Determinar el peso unitario del concreto fresco.**
- s) Poner la tanda de concreto en las probetas (cilíndricas o prismáticas según sea el caso) correspondientes para los ensayos planificados del concreto.**

#### **3.11.4 Curado de los especímenes de concreto.**

El curado de los especímenes de concreto se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 339.183 – 2013.

##### **3.11.4.1 Curado inicial:**

Después del moldeado, transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron desmoldados y se procedió a realizar el traslado de manera tal que no sean alteradas las superficies y arista, para su posterior curado estándar.

##### **3.11.4.2 Tiempo de curado:**

Al terminar el curado inicial y entre los 30 minutos y 1 hora después de haber sacado los especímenes de los moldes, estos se almacenaron en una poza de curado de concreto cubiertos con agua, además se saturó el agua con cal viva para mantener la temperatura de está y evitar la pérdida de cal de los especímenes, así mismo se cubrió la poza con una manta plástica para evitar la contaminación del agua y proteger los especímenes del rocío y heladas de las madrugadas. Las probetas permanecieron 28 días en la poza de curado.

### 3.12 Ensayo del concreto fresco.

#### 3.12.1 Asentamiento o Slump.

El método de determinación empleado, es el ensayo del "Cono de Abrams" o "Slump" (Norma NTP 339.035 ó ASTM C143).

#### Procedimiento de ensayo.

- El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen. Se apisona con la varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.
- En seguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento a un tercio del volumen y consolidando, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior.
- La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical.
- El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina slump.
- Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de 5 segundos.

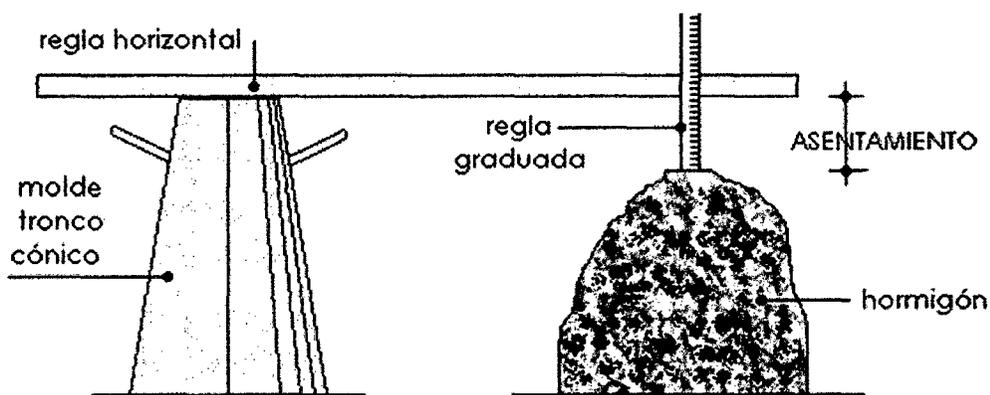


Figura 14. Proceso de medida para Slump.

Fuente: Flavio Abanto

### 3.12.1.1 Peso Unitario del Concreto.

El ensayo se ejecutó de acuerdo a lo establecido en la NTP 339.046 – Revisada el 2013 – ASTM C 138.

### 3.12.2 Contenido de Aire – Método Gravimétrico.

El contenido de aire se calculó en base a los resultados obtenidos del ensayo del peso unitario del concreto fresco (Método Gravimétrico) y se calcula de la siguiente manera:

$$A = \left[ \frac{(T-D)}{T} \right] \times 100 \quad \dots\dots\dots(29)$$

**Dónde:**

**A** = Contenido de aire (%)

**T** = Masa de colada (kg)

**D** = Densidad de masa (peso unitario) del concreto (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.12.3 Ensayos de Concreto Endurecido:

#### 3.12.3.1 Densidad de Masa o Peso Unitario del Concreto.

El ensayo se desarrolló de acuerdo a lo establecido en la **NTP 339.034 - Revisada el 2013**, la presente norma establece la fórmula para determinar la densidad de los especímenes de concreto con aproximación de 10 Kg/cm<sup>3</sup> como sigue:

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad \dots\dots\dots(30)$$

**Donde:**

**W** = Masa del espécimen (Kg).

**V** = Volumen del espécimen determinado del diámetro promedio y longitud promedio o del peso del cilindro en el aire y sumergido en el agua (m<sup>3</sup>).

### 3.12.3.2 Resistencia a Compresión.

El ensayo se ejecutó de acuerdo a lo establecido en las normas **NTP 339.034 - Revisada el 2013 – ASTM C 39**, la presente norma establece un procedimiento para determinar la resistencia del concreto sometido a compresión.

La resistencia a la compresión del concreto en la presente tesis se realizó a los 28 días para obtener el comportamiento del concreto tanto patrón como con las diferentes adiciones de fibra y su evolución en el tiempo. También se consiguió tener las tolerancias de una probeta de acuerdo a las edades de las muestras, para esto tenemos la recomendación de la norma NTP 339.034 – 3013.

Para la realización del ensayo se siguió los siguientes pasos:

#### a) Identificación de Probetas.

Para la identificación y colocación de la información de las probetas se colocó en la parte lateral de estas con un plumón indeleble la letra P, el número de espécimen (1, 2, 3, 4, 5 y 6), porcentaje de la adición de fibra de acero (Concreto Patrón, 30 kg/m<sup>3</sup>, 50kg/m<sup>3</sup>, 50kg/m<sup>3</sup>), la fecha de fabricación y los días a la cual está siendo ensayada el espécimen.

#### b) Ensayo del Especimen.

**Previo al ensayo, se debe observar que los cabezales de carga y caras de ensayo se encuentren absolutamente limpias, y que la probeta se encuentre correctamente centrada entre las placas y zona de carga.**

##### i. Aplicación de la carga

La carga se aplicó en forma continua y ascendente, a una velocidad de Mpa/s (2.5 kg/cm<sup>2</sup>). La velocidad de ensayo será mantenida constante en la medida de las posibilidades durante todo el ensayo.

Al aplicar la carga compresional ascendente, llega un instante en que el indicador de carga comienza a disminuir, momento en el cual el espécimen muestra un patrón de fractura bien definida, el cual debe ser observado, analizado, registrado así como debe también la carga máxima última "P" expresada en Toneladas así como también se debe registrar la deformación correspondiente con el deformímetro.

c) Análisis de tipo de fractura y apariencia del concreto:

Después de aplicar la carga y terminar el ensayo se procedió a registrar el tipo de falla de cada espécimen en fotografías, para luego poder clasificarla según el siguiente gráfico, en donde se indica los tipos de falla según la NTP 339.034, así mismo se registró el modo de falla, y si falló el agregado o la pasta durante el proceso.

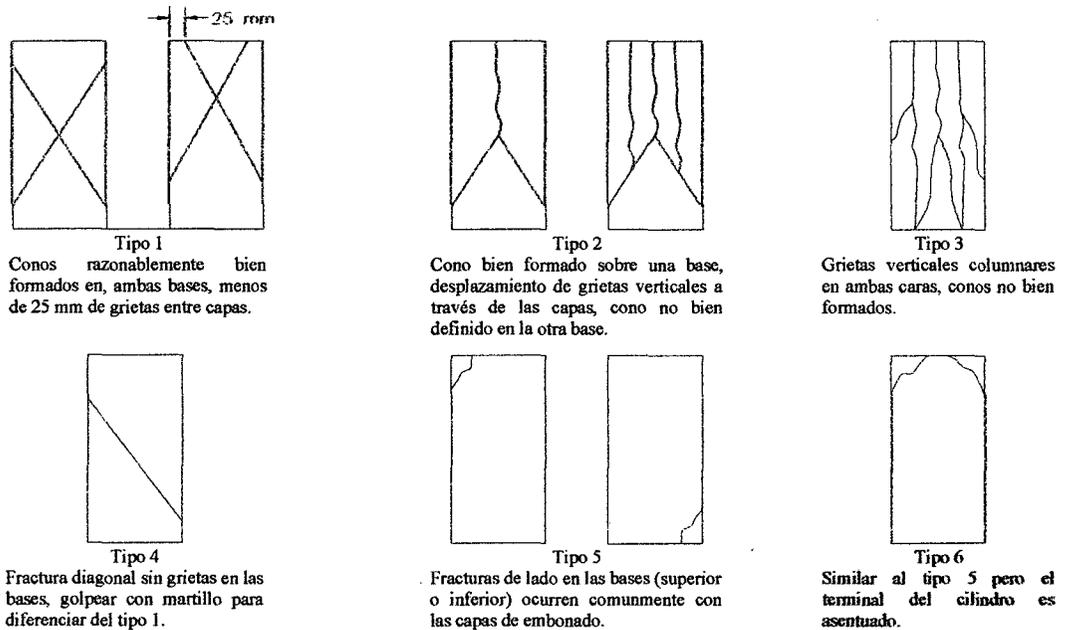


Figura 15. Esquema de los patrones de tipos de fractura.

Fuente: NTP 339.034 – 2013

d) Expresión de Resultados

Se calcula la resistencia a la compresión del concreto mediante la siguiente

fórmula:

$$R_c = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (31)$$

Donde:

$R_c$  = Resistencia a Compresión (Kg/cm<sup>2</sup>).

$S$  = Superficie de carga (cm<sup>2</sup>).

$P$  = Carga Máxima (Kg).

### 3.12.3.3 Resistencia a la Flexión.

Consiste en someter una vigueta de concreto a un ensayo de flexión mediante una o dos cargas concentradas (Módulo de Ruptura), según la NCh1038 Of 77, normas ASTM C-1609 y conforme a la norma Mexicana NMX-C-191-ONNCCE-2004.

La resistencia a la flexión se calcula con la expresión de Navier, usando el momento de flexión máximo, excepto si la fractura es fuera del tercio central, en cuyo caso se considera como brazo a la distancia desde la fractura hasta el apoyo más cercano. En los cálculos se considera la tensión máxima en la sección de rotura y no la tensión máxima sobre la vigueta.

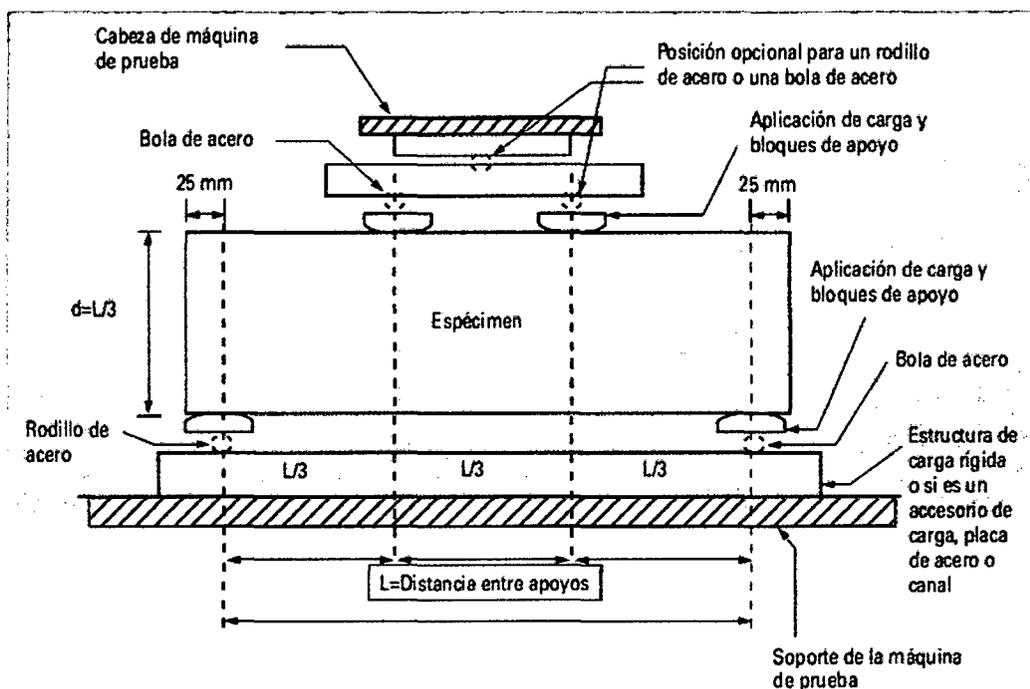


Figura 16. . Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro.

Fuente: ASTM C – 1609.

Cálculo y expresión de resultados: Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro el módulo de ruptura se calcula como sigue:

$$R = (P \times L) / (b \times d^2) \dots\dots\dots(32)$$

Donde:

R: Es el módulo de ruptura, en kPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

P: Es la carga máxima aplicada, en N (kg|f).

L: Es la distancia entre apoyos, en cm.

b : Es el ancho promedio del espécimen, en cm.

d : Es al peralte promedio del espécimen, en cm.

En el cálculo anterior, no se incluyen las masas del bloque de apoyo superior y del espécimen.

Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, se calcula el módulo de ruptura como sigue:

$$R = (3 P a) / (b d^2) \dots\dots\dots(33)$$

Donde:

a: Es la distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga en mm. Si la fractura ocurre fuera del tercio medio del claro en más del 5% se desecha el resultado de la prueba.

a) Ensayo

- Colocar la probeta en la prensa de ensayo, haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
- El contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga deberá ser total.
- Se aceptará una separación igual o menor a 0,05 mm.

b) Expresión de resultados

Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$R = \frac{(P * L)}{(b * h^2)} \dots\dots\dots(34)$$

Donde:

R = Tensión de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima aplicada (kg).

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

b = Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (cm).

h = Altura promedio de la probeta en la sección de rotura (cm).

### 3.12.3.4 Módulo de Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto se determinó de 3 diferentes formas:

a) Según la Norma E 0.60.

Para concretos de peso unitario  $w_c$  comprendido entre 1450 y 2500 kg/m<sup>3</sup>, el módulo de elasticidad,  $E_c$ , para el concreto puede tomarse como:

$$E_c = (w_c)^{1.5} * 0,043 * \sqrt{f'_c} \text{ (en MPa)} \dots\dots\dots(35)$$

Para concretos de peso unitario normal ( $w_c \approx 2300$  kg/m<sup>3</sup>),  $E_c$ , Puede tomarse como:

$$E_c = 4700 * \sqrt{f'_c} \text{ (en MPa)} \dots\dots\dots(36)$$

Se tomó esta ecuación por contar con un concreto de peso unitario normal.

b) Según la Gráfica Esfuerzo Vs Deformación.

Se tomó los valores obtenidos de la gráfica esfuerzo vs deformación originados por las lecturas del deformímetro en relación con su esfuerzo alcanzado, teniendo en cuenta la deformación máxima cuando se produce el máximo esfuerzo del espécimen de concreto ensayado a compresión.

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación}} \dots\dots\dots(37)$$

c) Según la fórmula para solidos expuestos a cargas en 2/3 de la luz entre apoyos.

Se tomó los valores en cada ensayo que se realizó en el laboratorio con el deformímetro, luego se calculó el momento de inercia de la sección. Teniendo en cuenta que las formulas y métodos para calcular el módulo de elasticidad de una probeta a flexión es diferente al utilizado para un espécimen cilíndrico ensayado a compresión.

$$E = \frac{1}{48} \left( \frac{P*L^3}{\Delta*I} \right) \dots\dots\dots(38)$$

**Dónde:**

**E** = Módulo de elasticidad, kg/cm<sup>2</sup>.

**P** = Carga máxima aplicada (kg)

**L** = Luz entre apoyos del espécimen (m)

**Δ** = Flecha (en el límite proporcional).

**I** = Momento de inercia de la sección.

# *CAPITULO IV*

## *ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS*

#### 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

##### 4.1 Elección del porcentaje óptimo de Sikament 290N.

Se elaboraron cuatro tandas de mezcla de concreto, con cinco porcentajes diferentes de Sikament 290N (0.8%, 0.90%, 1.00%, 1.2%, del peso de cemento), para determinar el asentamiento requerido así como el nivel de resistencia a la compresión. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 11. Elección del Porcentaje de Aditivo.

TANDA	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO - MÉTODO DEL CONO DE ABRAMS "Pulg"			
	CONCRETO	ADICIÓN DE	ADICIÓN DE	ADICIÓN DE
%DEL PESO DE CEMENTO	SIN FIBRA	30 Kg /m <sup>3</sup> DE FIBRA	50 Kg /m <sup>3</sup> DE FIBRA	70 Kg /m <sup>3</sup> DE FIBRA
0.80%	2.95''	2.76''	2.44''	1.77''
0.90%	3.70''	3.39''	3.17''	3.01''
1.00%	3.82''	3.46''	3.11''	2.48''
1.10%	4.02''	3.70''	3.35''	2.91''
1.20%	4.84''	4.21''	3.66''	3.43''

En la tabla anterior un óptimo porcentaje de Sikament 290N (0.9%) del peso del Cemento, para una consistencia plástica del concreto reforzado con fibra de acero.

## 4.2 Análisis de peso unitario del concreto.

### a) Peso unitario del concreto fresco.

Para evaluar el peso unitario del concreto fresco, se tomó el valor promedio de este parámetro correspondiente a las tandas elaboradas según lo mencionado anteriormente, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 12. Variación del peso unitario para diferentes dosificaciones.

PESO UNITARIO CONCRETO FRESCO				
	0 kg/m <sup>3</sup>	30 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>	70 kg/m <sup>3</sup>
Peso del Cilindro+concreto (kg)	13.132	13.243	13.347	13.425
Peso del Cilindro (kg)	0.285	0.285	0.285	0.285
Peso del concreto (kg)	12.847	12.958	13.062	13.140
Vol. del Cilindro (m <sup>3</sup> )	0.006	0.006	0.006	0.006
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2310.61	2330.58	2349.28	2363.31

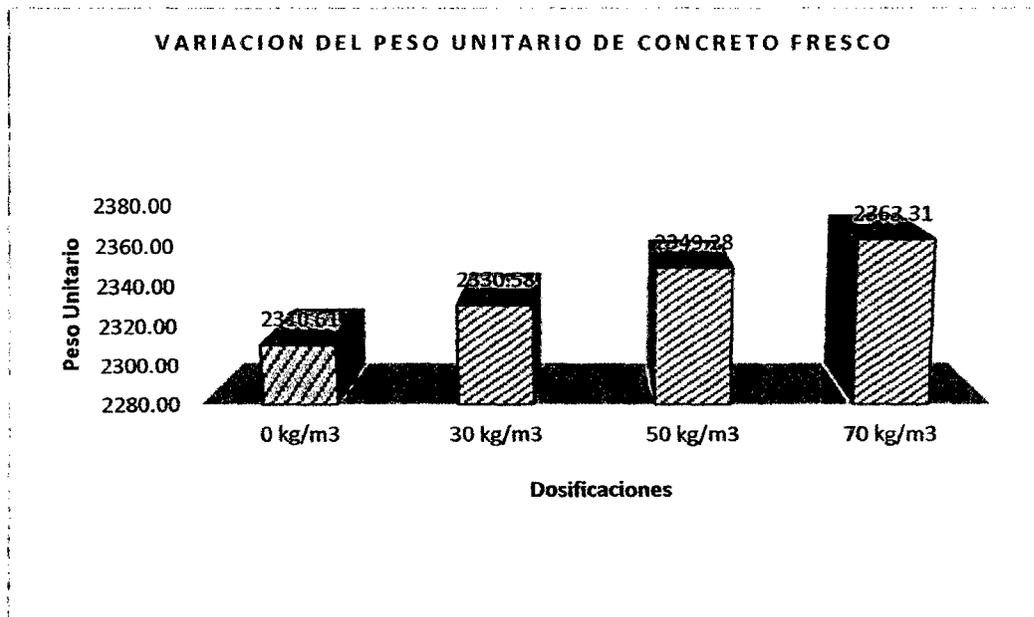


Figura 17. Variación del peso unitario para diferentes dosificaciones.

Se aprecia los promedios de los pesos unitarios del concreto fresco para cada tipo de concreto (con los diferentes porcentajes de adición de fibra), a medida que se le va incrementando el porcentaje de adición de fibra de acero, el peso unitario se incrementa, todo ello se realiza pero sin alterar la unidad cúbica de concreto.

Tabla 13. Variación porcentual del peso unitario del concreto fresco con diferentes porcentajes de adición de fibra respecto al concreto sin fibra.

TIPO DE CONCRETO	PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO. A 28 DÍAS (Kg/ m <sup>3</sup> )	VARIACIÓN DEL P.U C° FRESCO CON FIBRA RESPECTO AL CONCRETO SIN FIBRA
CONCRETO SIN FIBRA	2310.61	0.00%
ADICIÓN DE 30Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	2330.58	0.86%
ADICIÓN DE 50Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	2349.28	1.67%
ADICIÓN DE 70Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	2363.31	2.28%

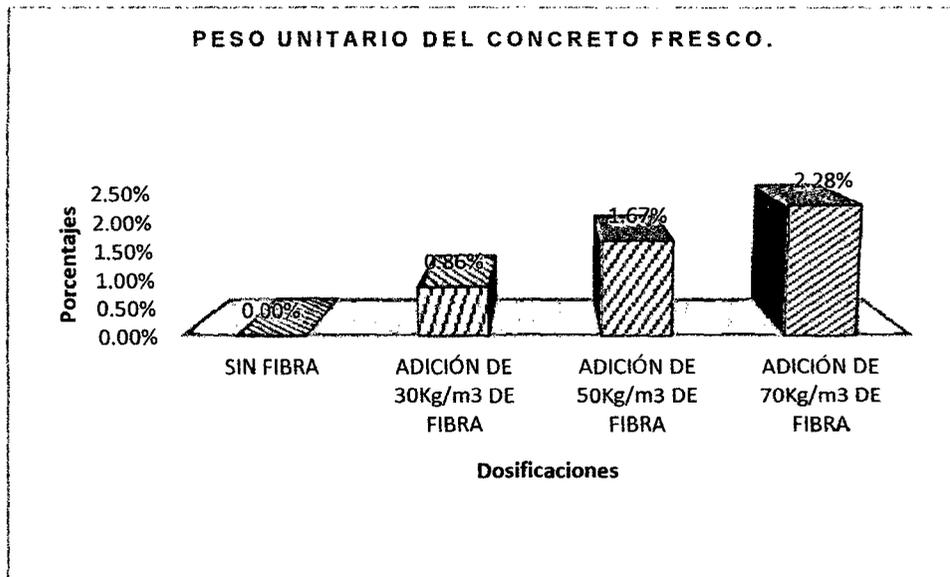


Figura 18. Variación porcentual del peso unitario del concreto fresco para cada porcentaje de fibra respecto al concreto sin fibra.

Se observa que el peso unitario del concreto fresco reforzado con fibra de acero supera al concreto sin fibra en todos los casos: para el concreto con adición de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra incrementa en 0.86 %, para el concreto con adición de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra en 1.67%, y para el caso del concreto con adición de 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra en 2.22%.

b) *Peso unitario del concreto endurecido.*

Para determinar el peso unitario del concreto endurecido, se tomó el promedio de los pesos unitarios de los especímenes de concreto realizados para todos los ensayos (compresión y a flexión) para cada adición de fibra, a los 28 días de su fabricación.

Tabla 14. Peso Unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra de acero.

PESO UNITARIO CONCRETO ENDURECIDO				
	0 kg/m <sup>3</sup>	30 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>	70 kg/m <sup>3</sup>
Peso del Cilindro+concreto (kg)	13.111	13.260	13.330	13.410
Peso del Cilindro (kg)	0.285	0.285	0.285	0.285
Peso del concreto (kg)	12.826	12.975	13.045	13.125
Vol. del Cilindro (m <sup>3</sup> )	0.006	0.006	0.006	0.006
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2306.83	2333.63	2346.22	2360.61

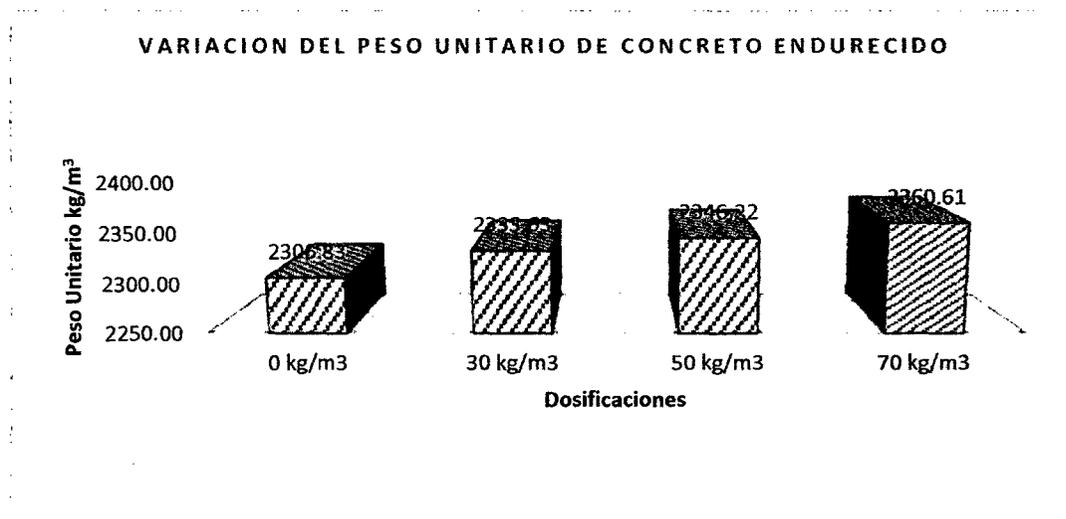


Figura 19. Peso Unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra de acero.

Se aprecia los pesos unitarios del concreto endurecido de los diferentes muestras de concreto elaboradas en laboratorio, todas a una edad de 28 días, obteniendo como resultados promedio, 2306.83 kg/m<sup>3</sup> para el concreto sin fibra de acero, 2333.63 kg/m<sup>3</sup> para el concreto con adición de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, 2346.22 kg/m<sup>3</sup> para el concreto con adición de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero y 2360.61 kg/m<sup>3</sup> para el concreto con adición de 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

Tabla 15. Variación porcentual del Peso Unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra respecto al concreto patrón.

TIPO DE CONCRETO	PESO UNITARIO DEL CONCRETO ENDU. A 28 DÍAS (Kg/ m <sup>3</sup> )	VARIACIÓN DEL P.U C° ENDU. CON RESPECTO AL CONCRETO PATRÓN
CONCRETO SIN FIBRA	2306.83	0.00%
ADICIÓN DE 30Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	2333.63	1.16%
ADICIÓN DE 50Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	2346.22	1.71%
ADICIÓN DE 70Kg/m <sup>3</sup> DE FIBRA	2360.61	2.33%

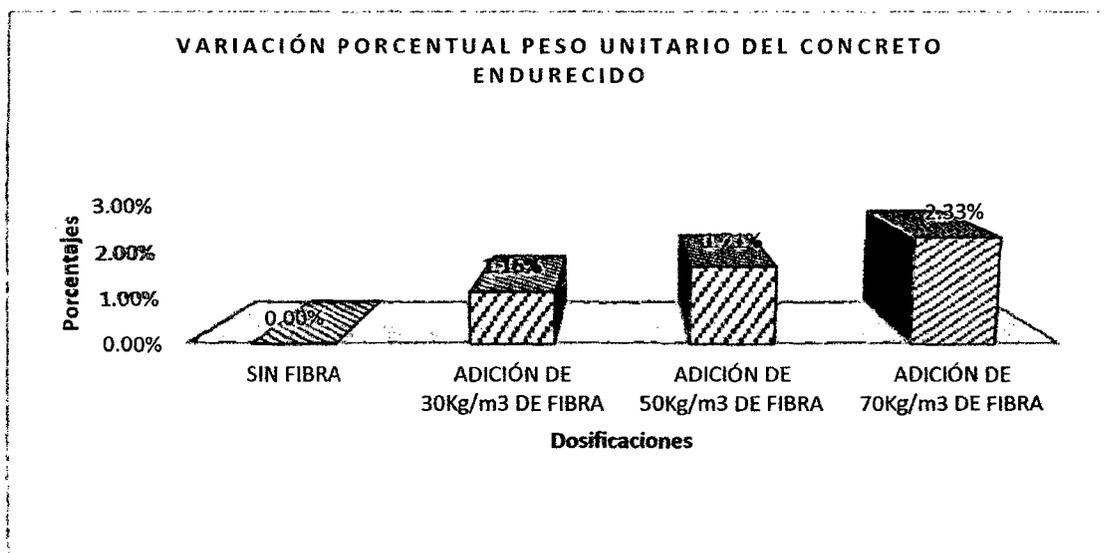


Figura 20. Variación porcentual del peso unitario del concreto endurecido a los 28 días para cada porcentaje de adición de fibra respecto al concreto patrón.

Para el caso de la variación porcentual de los pesos unitarios de concreto endurecido de las muestras elaboradas, todos respecto al concreto sin fibra tienen un incremento de 1.16% para en concreto con adición de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, 1.71% para concreto con adición de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero y 2.33% para el concreto con adición de 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

#### 4.3 Análisis de la resistencia a compresión.

Los ensayos a compresión de los especímenes de concreto fueron realizados a la edad de 28 días, para cada una de las dosificaciones 30 kg/m<sup>3</sup>, 50 kg/m<sup>3</sup> y 70kg/m<sup>3</sup>, se elaboraron 10 especímenes cilíndricos y para la muestra sin fibra 05 unidades, haciendo un total de 35 especímenes de concreto. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas y gráficos que a continuación se presentan:

Tabla 16. Resistencia promedio a la compresión de los diferentes especímenes evaluados.

TIPO DE CONCRETO	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm <sup>2</sup> )
Sin fibra	279.21
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	293.17
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	295.96
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	316.90

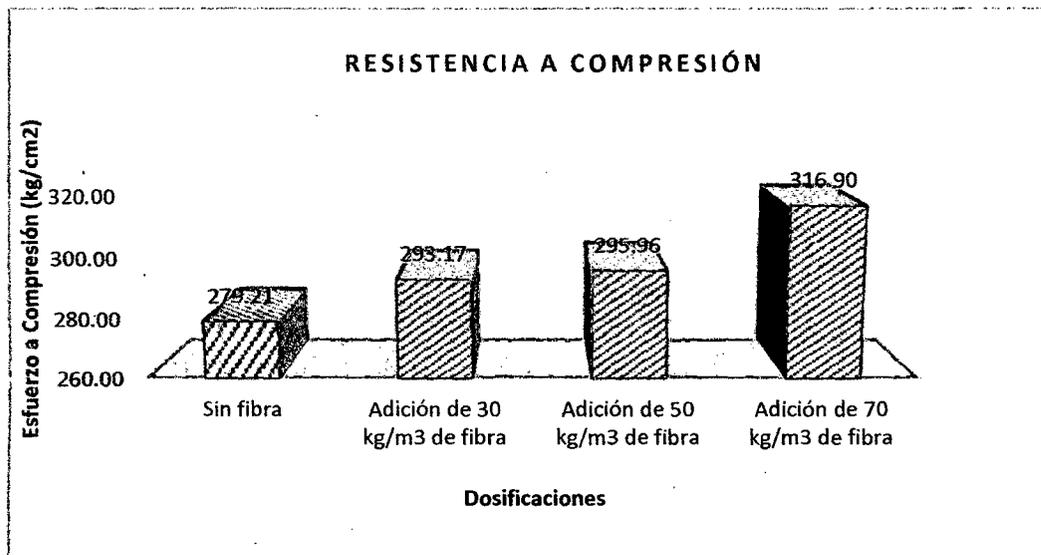


Figura 21. Resistencia promedio a la compresión de los diferentes especímenes de concreto evaluados.

Observamos en la figura que la adición de fibra de acero en la resistencia a compresión aumenta de manera poco significativa comparado con la resistencia a flexión.

Tabla 17. Variación porcentual de la resistencia a compresión debido al efecto de la fibra de acero, respecto al concreto sin fibra.

Dosificaciones	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Aumento en Porcentaje
Sin fibra	279.21	0.00%
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	293.17	5.00%
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	295.96	6.00%
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	316.90	13.50%

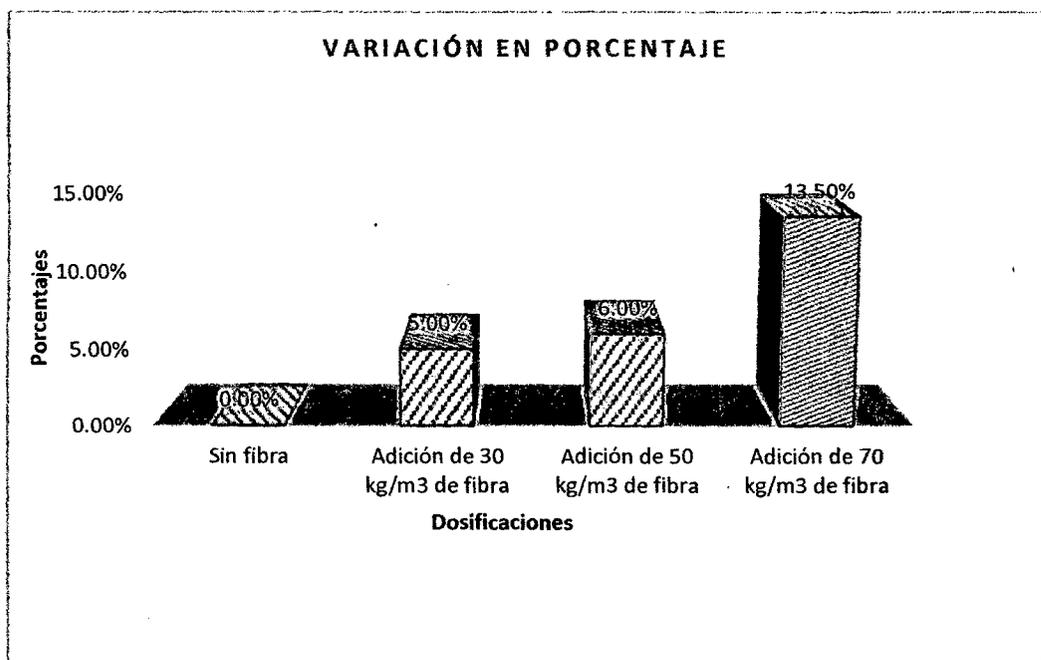


Figura 22. Variación porcentual de la resistencia a compresión debido al efecto de la fibra de acero, respecto al concreto sin fibra.

Como se aprecia en el gráfico y tabla anteriores, en cuanto a la resistencia a compresión del concreto existe una variación del 5% para concreto con adición de 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, del 6% para concreto con 50kg/m<sup>3</sup> y de 13.5% para concreto con 70kg/m<sup>3</sup>. Notando que con 50kg/m<sup>3</sup> no se alcanzó una proporción de aumento como en los otros casos debido a la disminución de la trabajabilidad, causada por la mala distribución de la fibra de acero.

#### 4.4 Análisis de la resistencia a flexión

El ensayo de flexión fue realizado a 04 tipos de concreto para la edad de 28 días, haciendo un total de 10 especímenes para el tipo de concreto sin fibra y de 30 especímenes para cada concreto con adición de 30 kg/m<sup>3</sup>, 50 kg/m<sup>3</sup> y 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, haciendo un total de 90 especímenes cilíndricos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla y grafico que se muestran a continuación.

Tabla 18. Resistencia promedio a la flexión de los diferentes concretos en estudio.

Dosificación	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	
	1ª fisura	rotura
Sin fibra	41.40	41.40
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	43.44	61.11
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	47.14	77.78
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	54.20	90.28

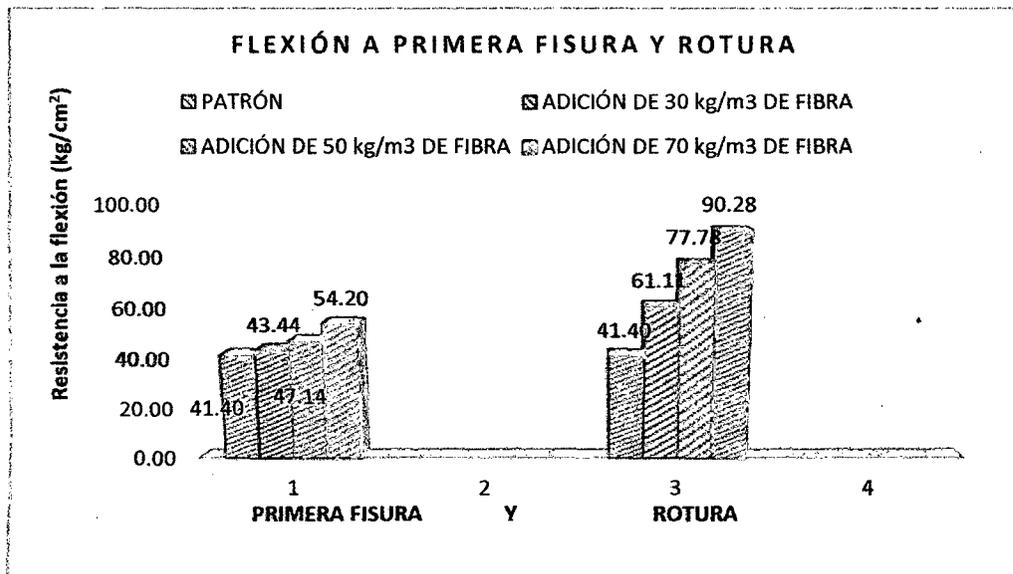


Figura 23. Resistencia promedio a la flexión de los diferentes concretos en estudio.

Tal como se observa en la tabla y gráfico anteriores, en lo concerniente a la resistencia a la flexión de las muestras elaboradas, los resultados obtenidos indican que a 28 días de edad, la mezcla con la que se obtuvo mejores resultados es la que contiene 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, con la cual se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de 90.28 kg/cm<sup>2</sup>, seguida de la mezcla con

adición de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero con una resistencia de 77.78 kg/cm<sup>2</sup>, los especímenes con 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero con una resistencia a la flexión de 61.11 kg/cm<sup>2</sup>, todos ellos superando ampliamente a los especímenes de concreto sin fibra de acero que se ha obtenido una resistencia a flexión de 41.40 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 19. Variación porcentual a primera fisura de la resistencia a la flexión de las diferentes muestras de concreto respecto al concreto patrón.

Dosificación	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )		Porcentaje de aumento
	1ª Fisura	Rotura	
Sin fibra	41.40	41.40	0.00
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	43.44	61.11	40.67
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	47.14	77.78	64.98
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	54.20	90.28	66.56

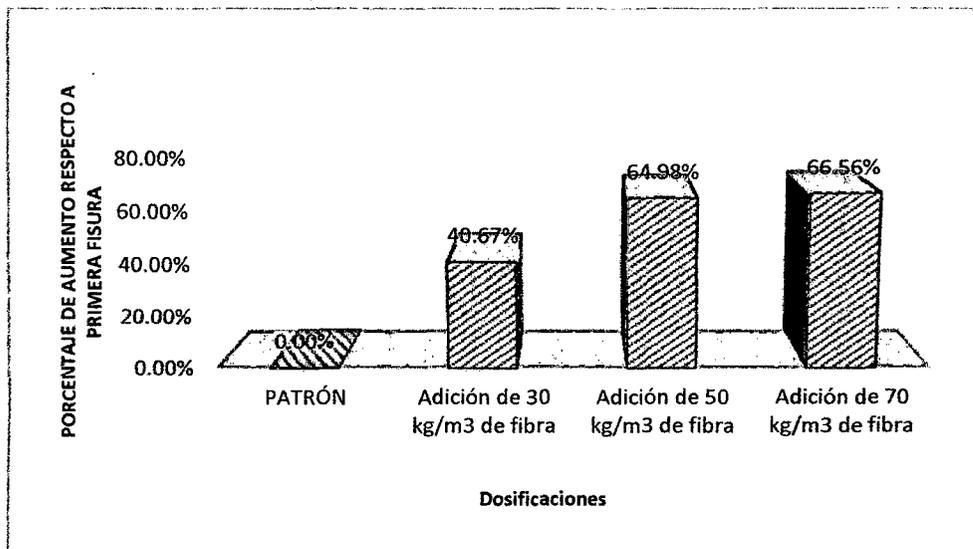


Figura 24. Variación porcentual de la resistencia a flexión de los especímenes de concreto con fibra respecto al concreto patrón a primera fisura.

Tabla 20. Variación porcentual a rotura de la resistencia a la flexión de las diferentes muestras de concreto respecto al concreto patrón.

Dosificación	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )		Porcentaje de aumento
	1ª Fisura	Rotura	
Sin fibra	41.40	41.40	0.00
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	43.44	61.11	47.61
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	47.14	77.78	87.86
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	54.20	90.28	118.07

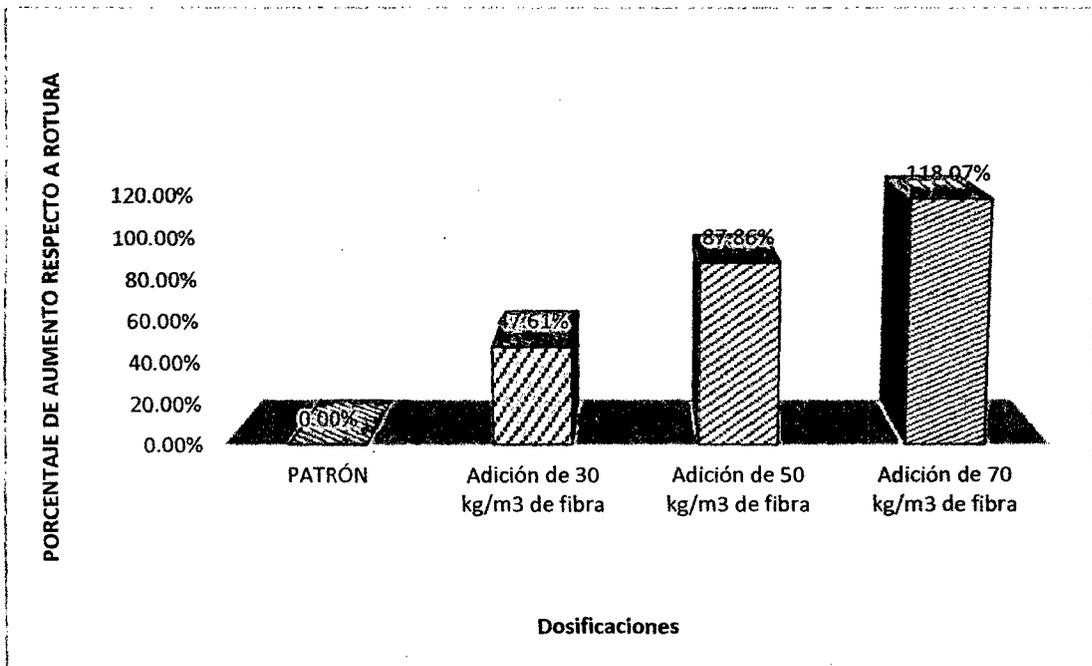


Figura 25. Variación porcentual a rotura de la resistencia a la flexión de las diferentes muestras de concreto respecto al concreto sin fibra de acero.

Se observa la resistencia a flexión del concreto, con la adición de 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero se duplica la resistencia a flexión respecto a la muestra sin fibra de acero.

Tabla 21. Diferencia entre la Resistencia a Compresión y a Flexión.

Dosificaciones	Diferencias entre Compresión y Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
Sin fibra	279.21	41.40
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	293.17	61.11
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	295.96	77.78
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	316.90	90.28

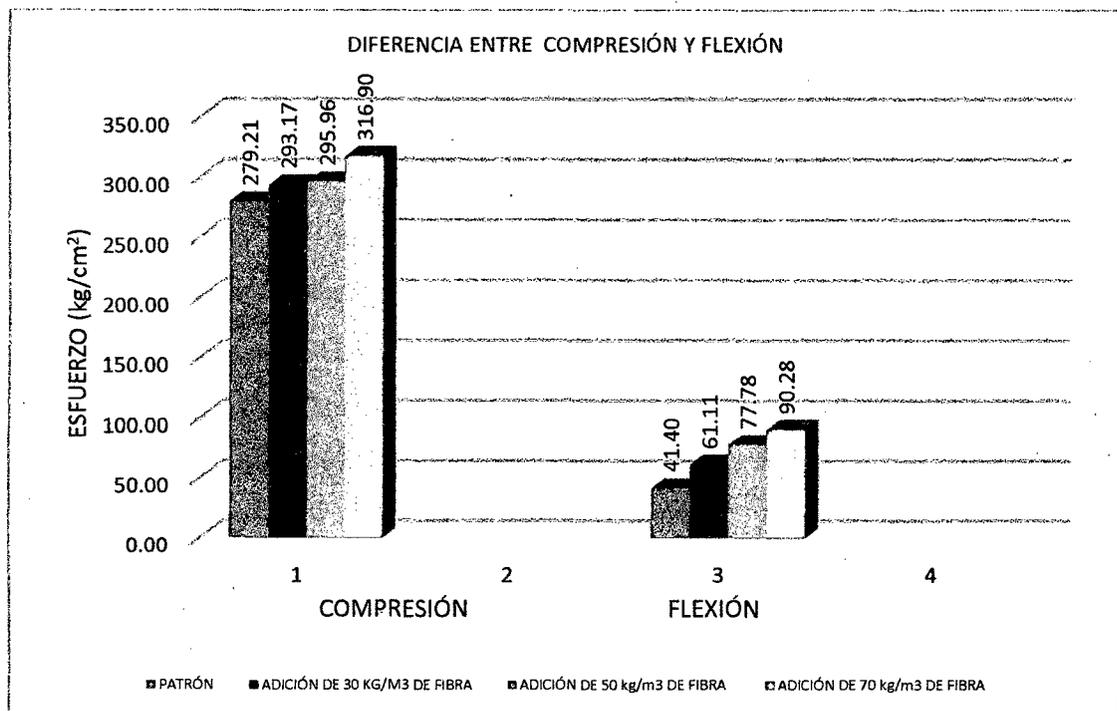


Figura 26. Diferencia entre la Resistencia a Compresión y a Flexión del concreto con fibra de acero.

Tabla 22. Resistencia a Flexión como porcentaje de la resistencia a compresión.

TIPO DE CONCRETO	Diferencias entre compresión y flexión (kg/cm <sup>2</sup> )		Flexión como porcentaje de la compresión
	Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	
Sin fibra	279.21	41.40	14.83%
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	293.17	61.11	20.85%
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	295.96	77.78	26.28%
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	316.90	90.28	28.49%

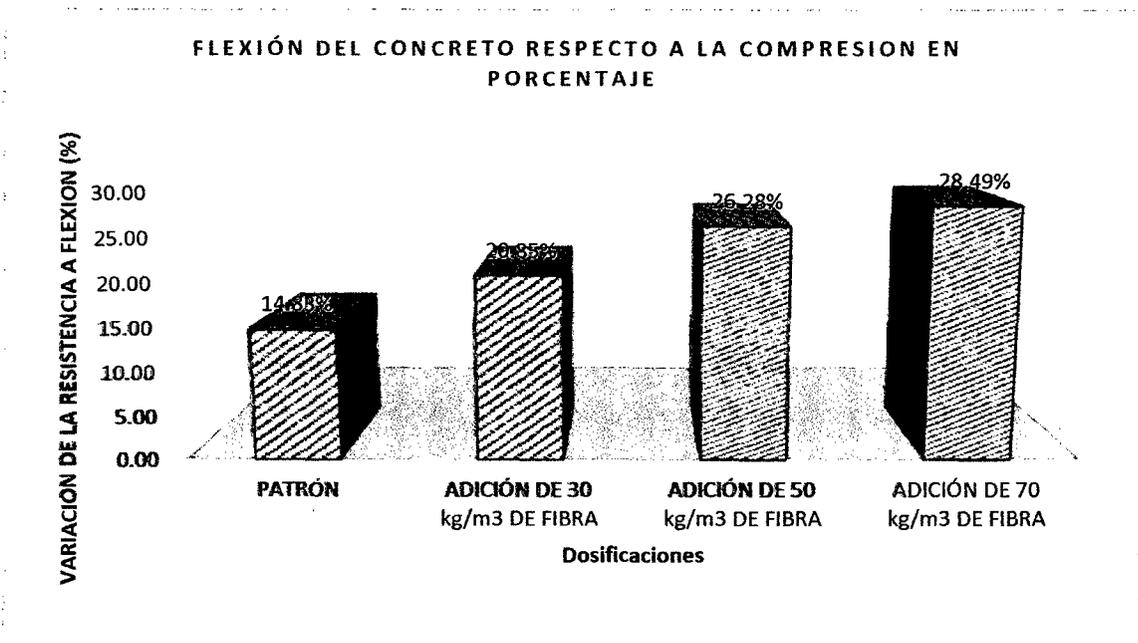


Figura 27. Resistencia a Flexión como porcentaje de la resistencia a compresión.

En la figura se muestra la resistencia a flexión como porcentaje de la resistencia a compresión, con la incorporación de 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra al concreto se logró un 28.49%, con la incorporación de 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra un 26.28%, con la incorporación de 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra un 20.85% y sin fibra se obtuvo solamente un 14.83%.

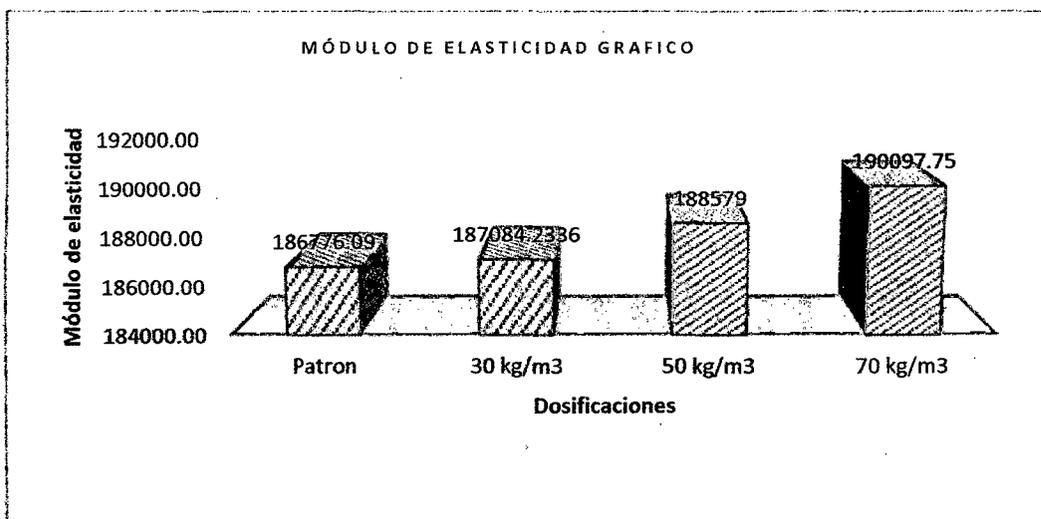
#### 4.5 Análisis del módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto fue determinado a los 28 días de edad, los resultados obtenidos se han representado de acuerdo a la Norma E 060, y según graficas de esfuerzo – deformación unitaria, para ensayos de compresión.

Cada uno de los concretos en estudio, (concreto sin fibra y concretos con adición de 30, 50 y 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero). Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

**Tabla 23. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según gráficas esfuerzo Vs. deformación.**

Dosificaciones	Módulo de elasticidad gráfico	Variación del módulo de elasticidad con respecto al concreto sin fibra
Concreto patrón	186776.09	0.00%
Adición de 30kg/m <sup>3</sup> de fibra	187084.23	0.16%
Adición de 50kg/m <sup>3</sup> de fibra	188579.00	0.97%
Adición de 70kg/m <sup>3</sup> de fibra	190097.75	1.78%



**Figura 28. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según gráficas esfuerzo Vs. deformación.**

Tabla 24. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según norma E.060

Dosificación	módulo de elasticidad calculado	variación del módulo de elasticidad con respecto al concreto patrón
concreto sin fibra	243747.88	0.00%
adición de 30kg/m <sup>3</sup> de fibra	249737.22	2.46%
adición de 50kg/m <sup>3</sup> de fibra	254377.05	4.36%
adición de 70kg/m <sup>3</sup> de fibra	274703.72	12.70%

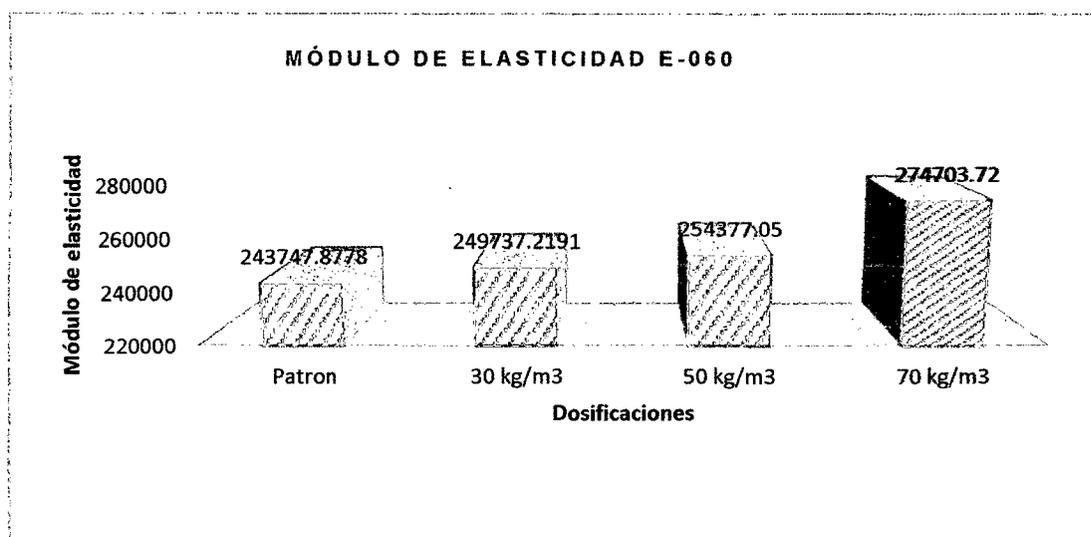


Figura 29. Módulos de elasticidad de los diferentes tipos de concreto evaluados, según norma E.060.

Tal como se puede apreciar, los módulos obtenidos por Norma E.060 aumentan con la adición de fibra, esto porque está en función del esfuerzo de rotura y el peso unitario del concreto endurecido, éste último incrementa cuando más alta es la adición de fibra con la excepción del concreto con 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra que decae relativamente. Los módulos obtenidos por las gráficas realizadas mediante el esfuerzo y deformación de los especímenes de concreto, se observa que no tiene una tendencia definida, además de ello son menores del 50% de los resultados obtenidos mediante la norma E. 060.

El módulo de elasticidad del concreto a flexión fue determinado a los 28 días de edad de los especímenes de concreto elaborados, los resultados obtenidos se han calculado de acuerdo a la fórmula de mecánica de sólidos expuestos en el tercio central de la luz entre apoyos.

Tabla 25. Módulo de elasticidad a flexión "Ec" (kg/cm<sup>2</sup>) con diferentes proporciones.

TIPO DE CONCRETO	MÓDULO DE ELASTICIDAD A FLEXIÓN "Ec" (Kg/cm <sup>2</sup> )
Sin fibra	24553.13
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	26933.80
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	27202.50
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	27554.30

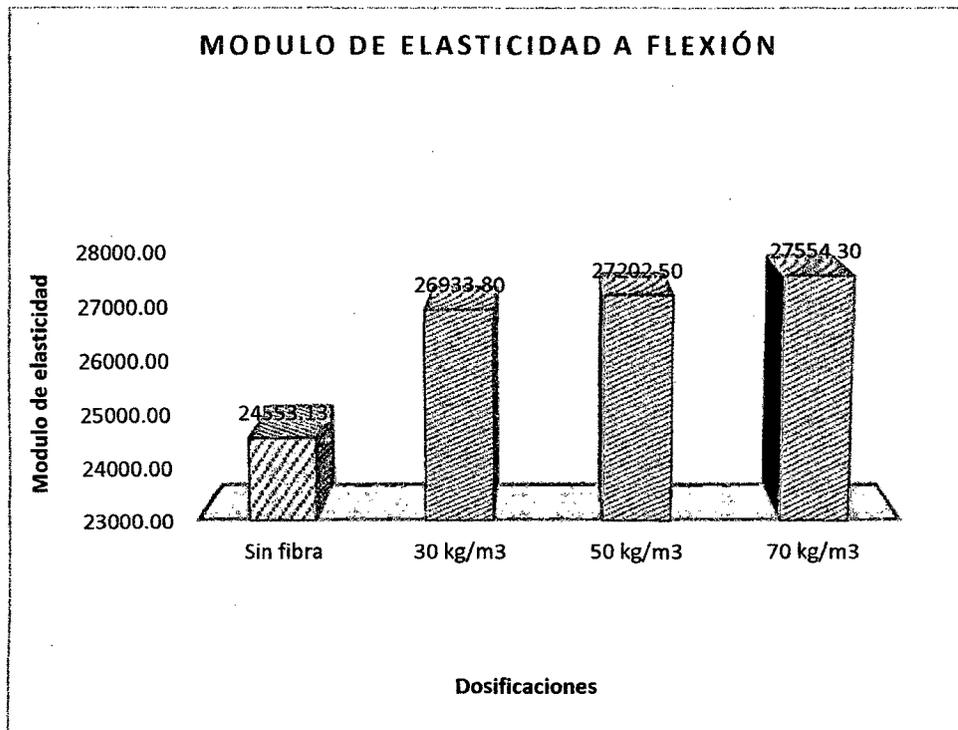


Figura 30. Módulo de elasticidad a flexión "Ec" (kg/cm<sup>2</sup>) con diferentes Dosificaciones.

#### 4.6 Análisis de la ductilidad

Se determinó el ancho de fisura de los especímenes de concreto ensayados a flexión, con el objetivo de determinar la influencia de la fibra adicionada a la fisura del concreto. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 26. Ancho de fisuras.

Dosificación	Ancho de la fisura en "mm"	Variación de la fisura respecto al concreto sin fibra
Sin fibra	2	—
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	6.3	315 %
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	4.8	240 %
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	2.7	135 %

Se determinó que a mayor incremento de fibra la fisura va reduciéndose, debido a la fricción del mayor número de fibras por unidad volumétrica.

#### 4.7 Análisis del tipo de falla de especímenes a compresión:

De acuerdo a la norma NTP 339.034 (ver Figura 17), se ha observado y registrado los diferentes tipos de falla de los ensayos a compresión realizados en laboratorio, cuyo análisis se ha realizado para todos los tipos de concreto en evaluación (Sin fibra, con adición de 30 kg/m<sup>3</sup>, 50 kg/m<sup>3</sup> y 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero), y a las edad de 28 días, evaluándose 35 especímenes de concreto a compresión, tal como se muestra a continuación.

Tabla 27. Tipos de falla de las probetas cilíndricas.

Dosificación	Tipo de falla					# de probetas
	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6	
Sin fibra	0	2	3	0	2	5
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	2	2	4	0	2	10
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	2	3	3	1	1	10
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	3	4	1	2	0	10
Total probetas						35

La tabla anterior muestran que en la gran mayoría de especímenes evaluados, el tipo de falla más común es el de tipo 4 que particularmente es el que más se ha presentado en el concreto sin fibra, sin embargo para el concreto con adición de fibra de acero tanto con 30, 50 y 70 kg/m<sup>3</sup>, el modo de falla más común es el de tipo 3, con algunos casos aislados de fallas de tipo 2, 4 y tipo 6.

#### 4.8 Análisis del modo de falla de especímenes a compresión y flexión.

La falla estructural se produce cuando el elemento no puede cumplir su función de transmisión de esfuerzos o de retención de presión como se encuentra previsto en el diseño, esto obedece fundamentalmente a que en general se tiende a considerar el proceso global de deformación plástica que conduce al proceso de fractura.

Así pues, en este estudio se ha considerado evaluar el modo de falla de los especímenes a compresión, determinando cuan súbita es esta falla, evaluando la fragilidad o ductilidad de las mismas.

*Tabla 28. Modo de falla a compresión.*

Dosificaciones	Modo de falla a compresión		# probetas
	Frágil	Dúctil	
Sin fibra	2	3	5
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	2	8	10
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	2	8	10
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	0	10	10
Total de probetas			35

*Tabla 29. Modo de falla a flexión.*

Dosificaciones	Modo de falla a flexión		# probetas
	Frágil	Dúctil	
Sin fibra	10	0	10
Adición de 30 kg/m <sup>3</sup> de fibra	0	30	30
Adición de 50 kg/m <sup>3</sup> de fibra	0	30	30
Adición de 70 kg/m <sup>3</sup> de fibra	0	30	30
Total de probetas			100

# *CAPITULO V*

## *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES*

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- La adición de fibra de acero al concreto para un  $f'c = 280\text{kg/cm}^2$ , en la resistencia a flexión le genera un aumento considerable a medida que se incrementa el porcentaje de fibra de: 47.61%, 87.86%, y 118.07%, para  $30\text{kg/m}^3$ ,  $50\text{kg/m}^3$  y  $70\text{kg/m}^3$ , de fibra de acero y 0.9% del peso de cemento de Sikament 290N, respectivamente.
- En cuanto al módulo de elasticidad del concreto, a la flexión, calculado mediante la ecuación de la carga aplicada a 2/3 de la luz entre apoyos, son de (9.70%, 10.79% y 12.22%), para las dosificaciones estudiadas.
- El módulo de elasticidad del concreto a compresión se incrementa de manera poco significativa: (5%, 6% y 13%), para las dosificaciones estudiadas.
- La Resistencia a la Compresión del concreto fibroreforzado no tiene un incremento importante, variando en 5.0%, 6%, y 13.5%, para las adiciones de  $30\text{kg/m}^3$ ,  $50\text{kg/m}^3$  y  $70\text{kg/m}^3$  de fibra respectivamente.
- El peso unitario del concreto fresco tiene un incremento continuo con la adición de fibra, de  $30\text{kg/m}^3$ ,  $50\text{kg/m}^3$  y  $70\text{kg/m}^3$  de un 0.86 %, 1.67% y 2.28% respectivamente.
- El peso unitario del concreto endurecido, de manera similar que en el caso del concreto fresco, se incrementa con la adición de fibra de acero de  $30\text{kg/m}^3$ ,  $50\text{kg/m}^3$  y  $70\text{kg/m}^3$  en 1.16 %, 1.71% y 2.33% respectivamente.
- El tipo de falla más frecuente que se observó en el ensayo de resistencia a la compresión, más frecuente observado fue el tipo 4 en las probetas de concreto sin reforzar, y en los casos de concreto con adición de fibra es predominante la falla tipo 3.
- En lo referente al modo de falla, de los especímenes sometidos a compresión, en el caso del concreto sin fibra presentaron fallas frágiles de 94.3% de los especímenes ensayados, y en el caso de los especímenes con adición de fibra, ( $30\text{kg/m}^3$ ,  $50\text{kg/m}^3$  y  $70\text{kg/m}^3$ ) presentaron fallas

dúctiles el 100% de los especímenes, lo cual es un buen indicador en la mejora del comportamiento estructural.

- Los agregados usados en el presente trabajo cumplen con las exigencias técnicas estipuladas en la normatividad vigente ya que no requieren características especiales.
- Aditivo: Sikament 290N. Luego de realizados los ensayos en laboratorio para diferentes porcentajes de sikament 290N (0.80%, 0.95%, 1.00%, 1.20% del peso del cemento), se optó por elegir el porcentaje de 0.9%.
- Consistencia:

Ésta propiedad en el concreto fibroreforzado va disminuyendo como se muestra, para 30 kg/m<sup>3</sup>, 50 kg/m<sup>3</sup> de 0.80 cm (8.51 %), a 1.60cm, (17.02 %).

En cambio para el concreto con 70kg/m<sup>3</sup> de fibra, tiene un asentamiento de 3.6cm (7.45%) menor que la mezcla de concreto sin fibra (mezcla patrón) que tuvo un slump de 12.4 cm.

## 5.2 Recomendaciones

A futuros investigadores y profesionales de la industria del concreto se hace las siguientes recomendaciones:

- Para mejorar la buena distribución de las fibras, inicialmente realizar un buen mezclado solo con agregados y luego con una consistencia fluida o autocompactante.
- Realizar ensayos de abrasión e impacto del concreto con adiciones de fibra de .
- Comparar la resistencia a flexión de elementos hechos a escala natural con fibra de acero y con acero de refuerzo pasivo.

# *CAPITULO VI*

## *REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

### 6.1 Libros

- Abanto Castillo, Flavio. 1996 “Tecnología del concreto (Teoría y problemas)”. 2ª Ed Lima. Perú.
- Aperador William, Carrillo Julián, Gonzales Giovanni. 2012 “Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero”. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Gonzáles de la Coterá, Manuel. 2007 “Aditivos y adiciones del concreto; norma y aplicaciones” Profesor Emérito de la FIC –UNI Lima Perú.
- Lezama Leiva, José. 2013. “Tecnología del concreto”. Cajamarca – Perú.
- Neville, A.M. y Brooks, J.J. 1998. “Tecnología del Concreto”. Editorial Trillas. México D.F.
- Pasquel Carvajal, Enrique. 2000. “Control de Calidad del Concreto”. Capítulo Peruano ACI. Lima - Perú.
- Rivva López, Enrique, 1999. “Diseño de Mezclas”, Edit. Hozlo S.C.R.L. Lima Perú

### 6.2 Investigaciones:

- ACHE Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural (2001), “Manual de Tecnología del Hormigón Reforzado con Fibras de Acero”, Trabajo 2/2 Hormigón con Fibras, Madrid España.
- Ana Blanco Álvarez 2008 Tesis de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC - Durabilidad del hormigón con fibras de acero. Lima Perú
- Comisión Permanente del Hormigón 2002. “Nueva Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08”. Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Anejo 14, pp-505-525 Madrid España.
- Fernández. Cánovas, M 2003. “Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales”. Hormigón y Acero, 2º y 3 er trimestre 2003, pp. 167-176. España
- Mármol Salazar Patricia. 2010, “Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas” Tesis de la Universidad Politécnica de Madrid.

- Naaman, A.E. 2003, "Engineered Steel Fibers with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites". Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 242.
- Rodríguez López et al., 1984 "Losas de Concreto Reforzado con Fibras de Acero" España
- Rossi Pérez, J.C. 2003 "Obras con hormigones con fibras". Hormigón y Acero, nº 228-229, 2º y 3º trimestre, pp. 187-206. España.
- Vásquez Gonzales Iván. (2015) Tesis de la universidad Nacional de Cajamarca. "Comportamiento Mecánico Del Concreto con Adición de Fibra de Acero para una Resistencia de 500 Kg/Cm<sup>2</sup>", Cajamarca Perú.

### 6.3 Normas:

- ASTM A 820. Standard Specification for Steel Fibers for Fiber – Reinforced Concrete.
- NTP 334.009.2013. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. 5ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.034.2008 (revisada 2013). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.079.2012 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.084.2012 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.183.2013. HORMIGÓN. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.185.2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

- NTP 400.010.2011 AGREGADOS. Extracción y preparación de muestras. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.011.2008 (revisada el 2013) AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.017.2011 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso unitario") y los vacíos en los agregados. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.019.2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.021.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.
- ASTM C-1609 Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete.

# *CAPITULO VII*

*ANEXOS*

## 7 ANEXOS

### 7.1 Anexo i tablas para propiedades físico mecánicas de agregados.

*Tabla 30. Husos granulométricos del agregado fino*

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA (%) LÍMITES TOTALES
9.50 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 micrones (N° 30)	25 a 60
300 micrones (N° 50)	05 a 30
150 micrones (N° 100)	0 a 10

\* Incrementar a 5% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos

*Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037- ASTM C 33*

- Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes que aseguren que el material producirá concreto de la calidad requerida.

Tabla 31. Husos granulométricos del agregado grueso.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37,5 mm (1 1/2 pulg.)	25,0 mm (1 pulg.)	19,0 mm (3/4 pulg.)	12,5 mm (1/2 pulg.)	9,5 mm (3/8 pulg.)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	4,75 μm (No. 50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 15	---	---	---	---	---	---
2	83 mm a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.)	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50 mm a 25,0 mm (2 a 1 pulg.)	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg. a No. 4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	0 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg.)	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	---	0 a 5	---	---	---	---
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 a 1/2 pulg.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 a 3/8 pulg.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	19,0 mm a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pulg.)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	19,0 mm a 4,75 mm (3/4 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg. a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	9,5 mm a 1,18 mm (3/8 pulg. a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

Tabla 32. Tipo de gradación según peso retenido de la muestra de ensayo.

TAMAÑO DE LOS TAMICES		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS (gr)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37.50 mm (1 1/2")	25.40 mm (1")	1250 ± 25	-----	-----	-----
25.40 mm (1")	19.00 mm (3/4")	1250 ± 25	-----	-----	-----
19.00 mm (3/4")	12.70 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
12.70 mm (1/2")	9.51 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
9.51 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	-----	-----	2500 ± 10	-----
6.35 mm (1/4")	4.76 mm (N° 4)	-----	-----	2500 ± 10	-----
4.76 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	-----	-----	-----	5000 ± 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.019

Tabla 33. Carga abrasiva según tipo de gradación del material

GRADACIÓN	NÚMEROS DE ESFERAS	MASA DE LAS ESFERAS (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 25
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.019

Tabla 34. Número de capas de compactación requeridas por espécimen.

TIPO Y TAMAÑO DE ESPECÍMENES mm (pulg.)	MODO DE CONSOLIDACIÓN	Nº DE CAPAS DE APROX. IGUAL PROFUNDIDAD
<b>CILINDROS DIÁMETROS EN mm (pulg.)</b>		
75 a 100 (3 a 4)	Varillado	2
150 (6)	Varillado	3
225 (9)	Varillado	4
Hasta de 225 (9)	vibración	2
<b>PRISMAS Y CILINDROS HORIZONTALES PARA ESCURRIMIENTOS PLÁSTICOS Profundidad en mm (pulg.)</b>		
Hasta 200 (8)	Varillado	2
Más de 200 (8)	Varillado	3 o más
Hasta 200 (8)	vibración	1
Más de 200 (8)	vibración	2 o más

Fuente: Norma NTP 339.183 - 2013.

Tabla 35. Diámetro de varilla y número de varillados a ser usados al moldearse especímenes de prueba.

<b>CILINDRO</b>		
DIÁMETRO DEL CILINDRO mm (pulg.)	DIÁMETRO DE LA VARILLA mm (pulg.)	NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
75 (3) a < 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
<b>VIGAS Y PRISMAS</b>		
ÁREA SUPERFICIAL SUPERIOR DEL ESPECIMEN Cm <sup>2</sup> (pulg <sup>2</sup> .)	DIÁMETRO DE LA VARILLA mm (pulg.)	NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
160 (25) o menos	10 (3/8)	25
165 a 310 (26 a 49)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de
320 (50) a más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm <sup>2</sup> (2 pulg <sup>2</sup> ) de Superficie.
<b>CILINDROS HORIZONTALES PARA ESCURRIMIENTO PLÁSTICO</b>		
DIÁMETRO DEL CILINDRO mm (pulg.)	DIÁMETRO DE LA VARILLA mm (pulg.)	NÚMERO DE GOLPES POR CAPA
150 (6)	16 (5/8)	50 total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

Fuente: Normas NTP 339.183 - 2013.

Tabla 36. Capacidad de los recipientes de medición.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO		CAPACIDAD DEL RECIPIENTE DE MEDICIÓN	
Pulg.	mm.	Pie <sup>3</sup>	L
1	25.0	0.2	6
1 1/2	37.5	0.4	11
2	50	0.5	14
3	75	1.0	28
4 ½	112	2.5	70
6	150	3.5	100

Tamaños indicados de recipientes de medición que se usarán para ensayar el concreto que contiene agregados de tamaño máximo nominal igual o más pequeños que los listados. El volumen real del recipiente será por lo menos 95 % del volumen nominal listado.

Fuente: Normas NTP 339.046 - 2013.

Tabla 37. Tolerancias en los tiempos de prueba de los especímenes de concreto.

EDAD DE ENSAYO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 horas	± 0.5 h ó 2.1 %
03 días	± 2.0 h ó 2.8 %
07 días	± 6.0 h ó 3.6 %
28 días	± 20 h ó 3.0 %
90 días	± 48 h ó 2.2 %

Fuente: Normas NTP 339.034 - 2013.

7.2 Anexo II propiedades físico mecánicas de agregados.

Tabla 38. Granulometría de agregado fino – Ensayo N° 01

P. Muestra secada al horno (Ensayo 01)			1262.20g		
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
4	4.75	237.5	18.82	18.82	81.18
8	2.38	200.1	15.85	34.67	65.33
16	1.18	137.5	10.89	45.56	54.44
30	0.60	142.9	11.32	56.88	43.12
50	0.30	235.1	18.63	75.51	24.49
100	0.15	228.1	18.07	93.58	6.42
Cazoleta		81.00	6.42	100.00	0.00
			MF=	3.25	

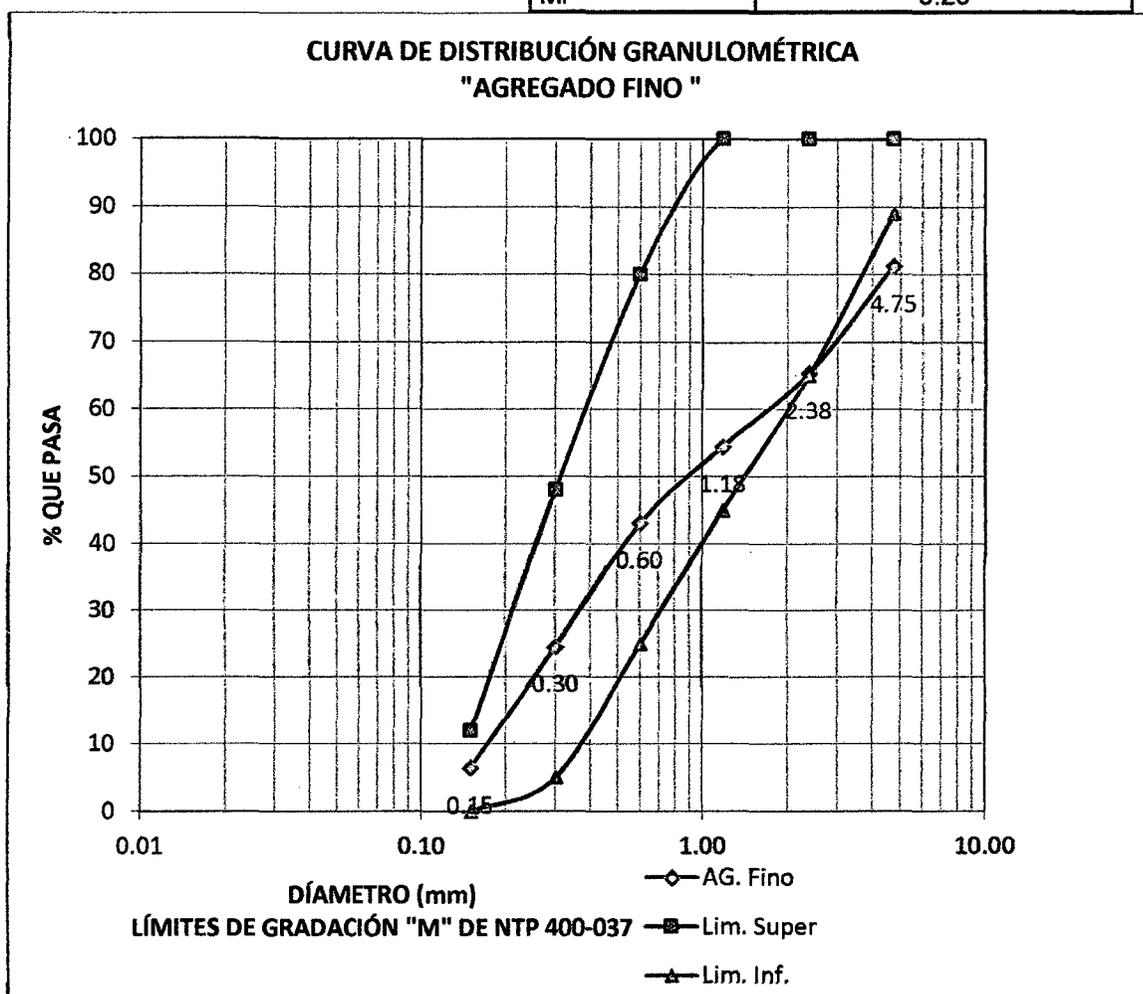


Figura 1.-Curva granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 01.

Tabla 39. Granulometría de agregado fino – Ensayo N° 02

P. Muestra secada al horno (Ensayo 02)		1356.20g			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA
4	4.75	269.80	19.89	19.89	80.11
8	2.38	199.20	14.69	34.58	65.42
16	1.18	140.30	10.35	44.93	55.07
30	0.60	151.80	11.19	56.12	43.88
50	0.30	244.40	18.02	74.14	25.86
100	0.15	260.00	19.17	93.31	6.69
Cazoleta		90.70	6.69	100.00	0.00
				MF=	3.23

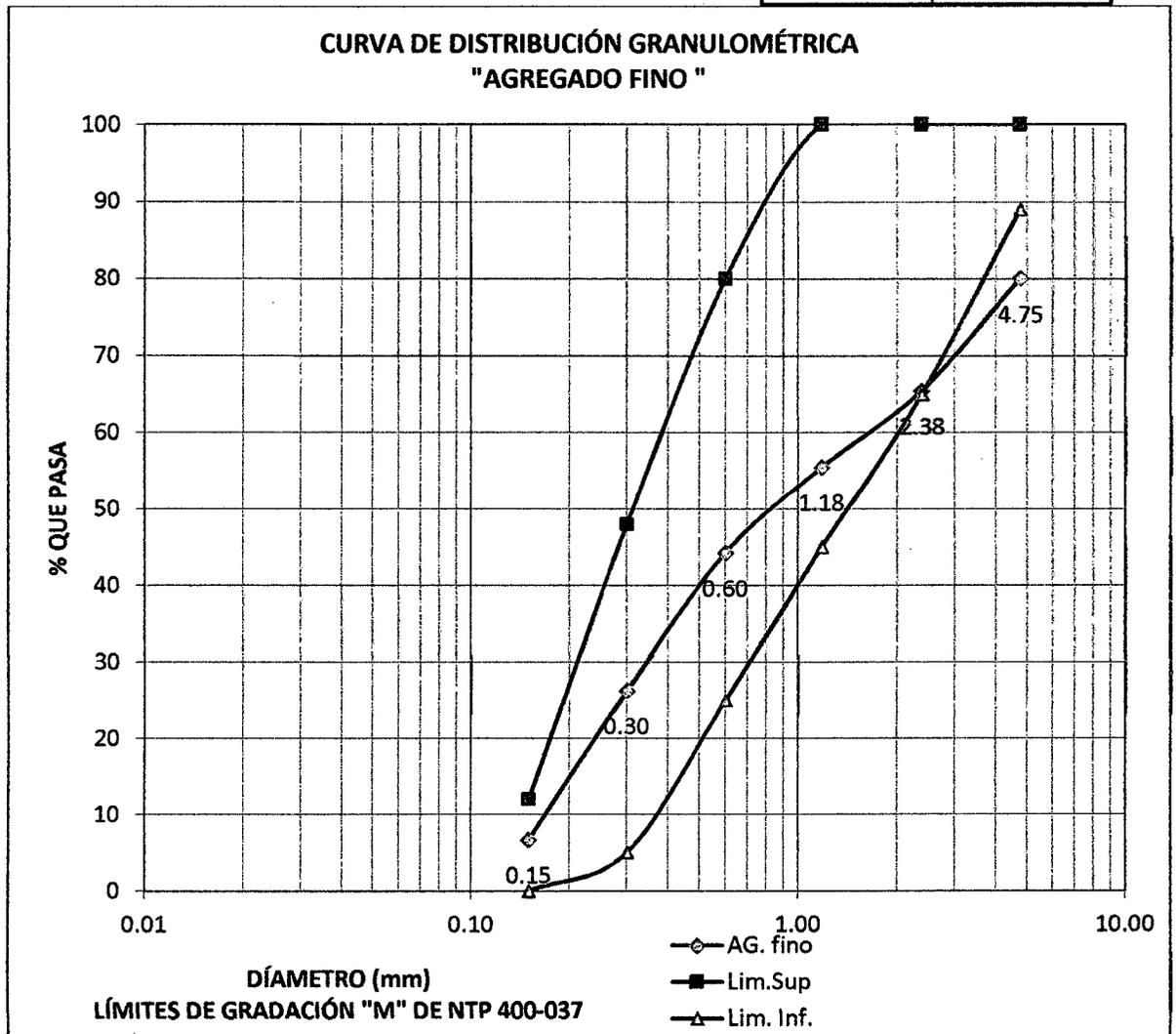


Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 02.

Tabla 40. Granulometría de agregado fino – Ensayo N° 03

P. Muestra secada al horno (Ensayo 03)			1334.10g		
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
4	4.75	243.00	18.21	18.21	81.79
8	2.38	212.00	15.89	34.11	65.89
16	1.18	154.00	11.54	45.65	54.35
30	0.60	156.20	11.71	57.36	42.64
50	0.30	232.70	17.44	74.80	25.20
100	0.15	251.00	18.81	93.61	6.39
Cazoleta		85.15	6.38	100.00	0.00
				MF=	3.24

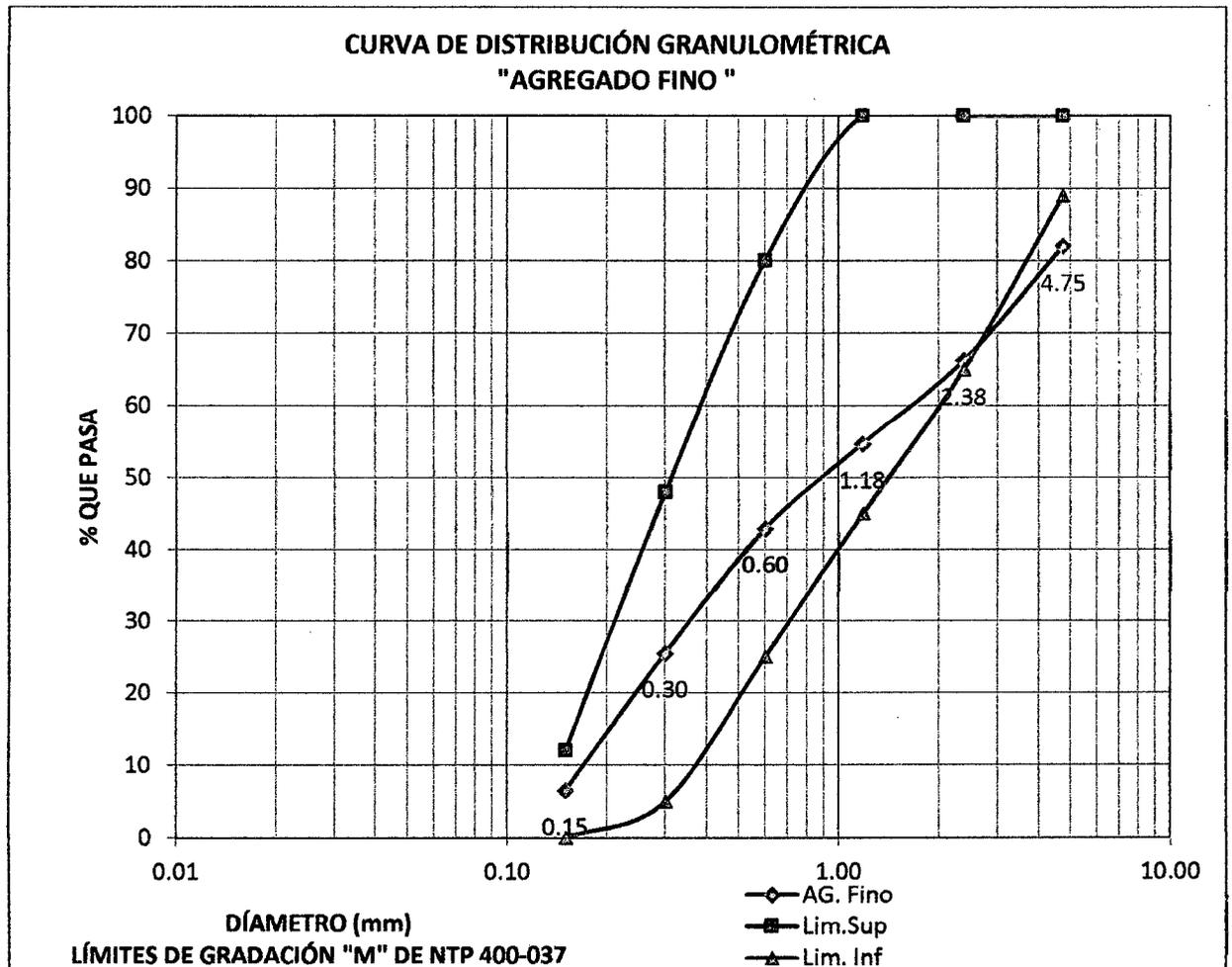


Figura 3. Curva granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 03.

***M<sub>f</sub> prom. = 3.24***

Tabla 41. Granulometría de agregado grueso – Ensayo N° 01.

P. Muestra secada al horno (Ensayo 01)			5.00 Kg		
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2855.00	57.10	57.10	42.90
3/8"	9.51	1590.30	31.81	88.91	11.09
4	4.76	495.00	9.90	98.81	1.19
Cazoleta		59.70	1.19	100.00	0.00
					MF= 6.88

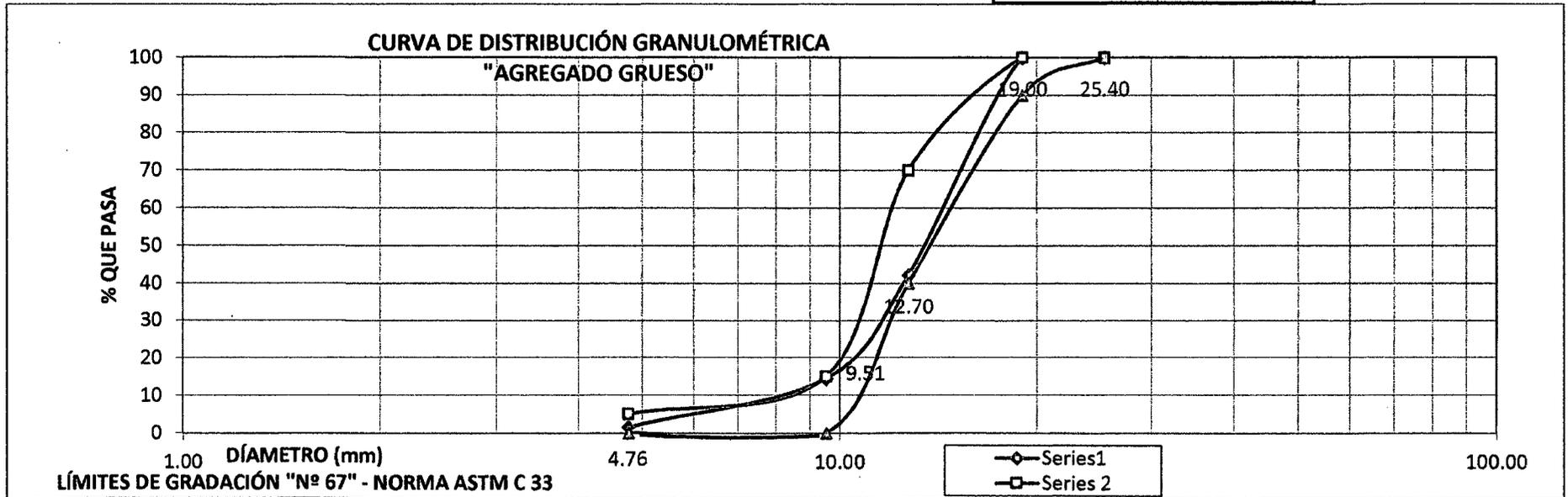


Figura 4. Curva granulométrica del agregado grueso – Ensayo N° 01

Tabla 42. Granulometría de agregado grueso – Ensayo N° 02.

P. Muestra secada al horno (Ensayo 02)		5.00 Kg			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	3004.70	60.09	60.09	39.91
3/8"	9.51	1457.10	29.14	89.24	10.76
4	4.76	506.00	10.12	99.36	0.64
Cazoleta		32.10	0.64	100.00	0.00
				MF=	6.89

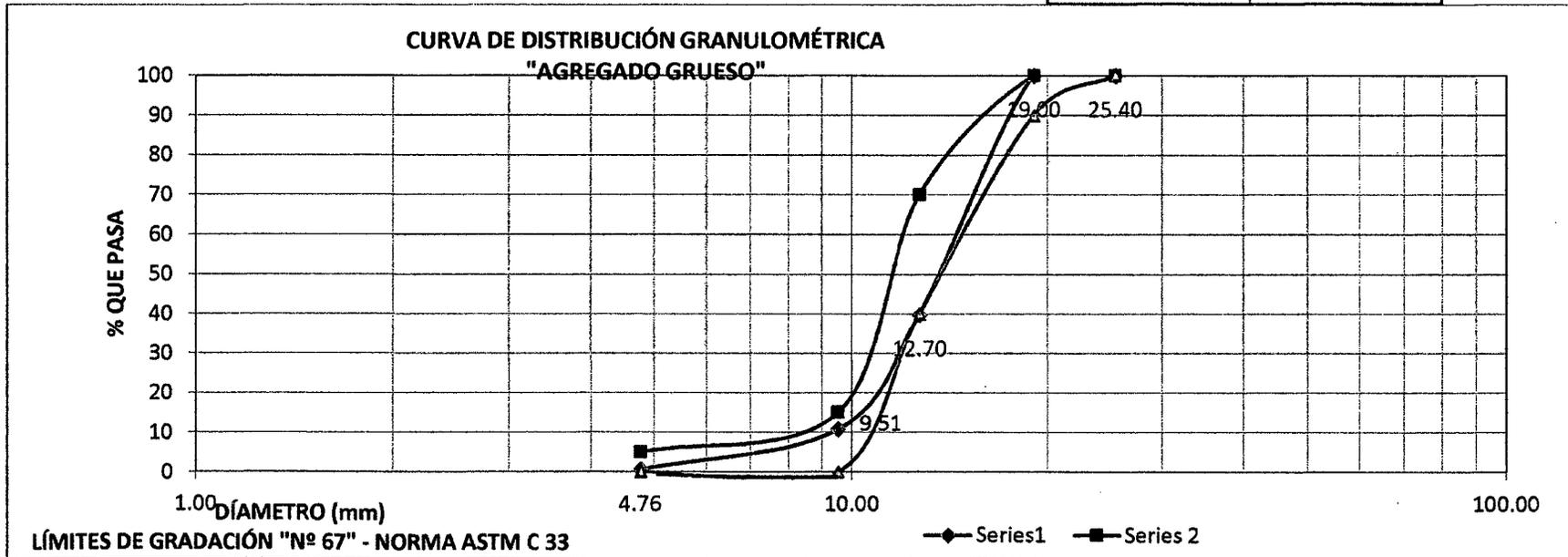


Figura 5. Curva granulométrica del agregado grueso – Ensayo N° 02.

Tabla 43. Granulometría de agregado grueso – Ensayo N° 03.

P. Muestra secada al horno (Ensayo 03)		5.00 Kg			
TAMIZ N°	ABERTURA (mm)	P. RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RET. ACUM	% QUE PASA
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	2963.60	59.27	59.27	40.73
3/8"	9.51	1500.90	30.02	89.29	10.71
4	4.76	497.80	9.96	99.25	0.75
Cazoleta		37.80	0.76	100.00	0.00
				MF=	6.89

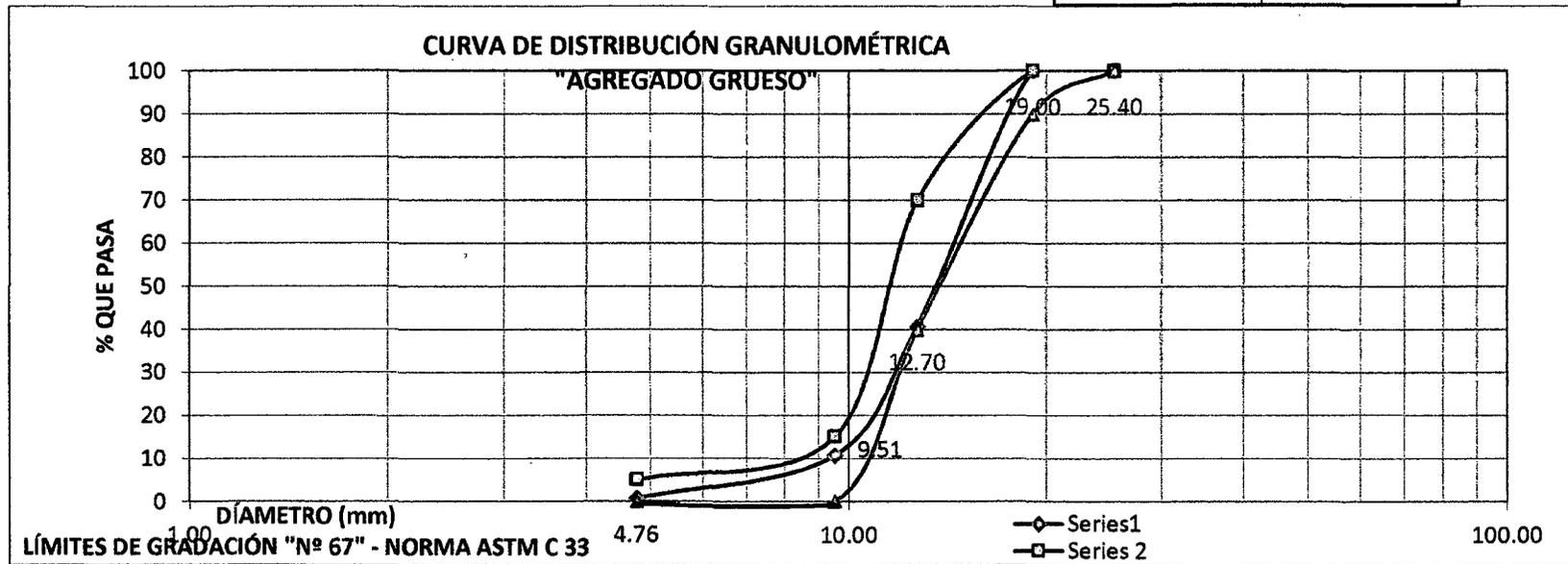


Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso – Ensayo N° 03

***Mg prom. = 6.89***

**Tabla 44. Resultado de densidad relativa y absorción de agregado fino**

ENSAYO NÚMERO	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
Peso en el aire de Muestra secada en estufa (Wo) (gr)	491.6 gr	491.7 gr	491.6 gr	.....
Volumen del Frasco (V) (cm3)	500	500	500	.....
Peso en (gr) o volumen en (cm3) del agua añadida al frasco (Va)	311.50 cm <sup>3</sup>	311.51 cm <sup>3</sup>	311.49 cm <sup>3</sup>	.....
Peso Específico de Masa (gr/cm3)	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.61
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca (gr/cm3)	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.65
Peso Específico Aparente (gr/cm3)	2.73 gr/cm <sup>3</sup>	2.73 gr/cm <sup>3</sup>	2.73 gr/cm <sup>3</sup>	2.73
Porcentaje de Absorción (%)	1.71 %	1.69 %	1.71 %	1.70

**Tabla 45. Resultado de densidad relativa y absorción de agregado grueso.**

ENSAYO NÚMERO	N° 1	N° 2	N° 3	PROMEDIO
Peso en el aire de muestra secada en estufa (A) (gr)	3894.00	4422.60	3642.20	.....
Peso en el aire de muestra saturada con superficie seca (B) (gr)	3935.32	4473.03	3683.00	.....
Peso en el agua de la muestra saturada (C) (gr)	2401.03	2731.02	2243.42	.....
Peso específico de masa (gr/cm3)	2.54	2.54	2.53	2.54
Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm3)	2.56	2.57	2.56	2.56
Peso específico aparente (gr/cm3)	2.61	2.61	2.61	2.61
Porcentaje de absorción (%)	1.06	1.14	1.12	1.11

**Tabla 46. Resultados de contenido de humedad del agregado fino.**

ENSAYO NÚMERO	N° 1	N° 2	N° 3
Peso de Muestra Húmeda (MH) (gr)	1717.00	675.40	975.30
Peso de Muestra Seca (MS) (gr)	1641.30	645.70	932.30
Peso del Agua (gr)	75.70	29.70	43.00
Contenido de Humedad (W) (%)	4.61	4.60	4.61
Promedio del Contenido de Humedad (W) (%)	4.61		

**Nota:** Los contenidos de humedad aquí presentados, corresponden a la primera determinación, pues esta propiedad se ha determinado para cada tanda preparada.

**Tabla 47. Resultados de contenido de humedad del agregado grueso.**

ENSAYO NÚMERO	N° 1	N° 2	N° 3
Peso de Muestra Húmeda (MH) (gr)	1528.43	2629.00	1391.50
Peso de Muestra Seca (MS) (gr)	1506.30	2590.70	1371.30
Peso del Agua (gr)	22.13	38.30	20.20
Contenido de Humedad (W) (%)	1.47	1.48	1.47
Promedio del Contenido de Humedad (W) (%)	1.47		

**Nota:** Los contenidos de humedad aquí presentados, corresponden a la primera determinación, pues esta propiedad se ha determinado para cada tanda preparada.

**Tabla 48. Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Fino.**

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	3.885	3.885	3.885
Peso del Molde + Material (Kg)	8.406	8.410	8.407
Peso del Material (Kg)	4.521	4.525	4.522
Factor (F)	360.896	360.896	360.896
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1631.609	1633.052	1631.970
Peso Unitario Suelto Promedio	1632 Kg/m³		

**Tabla 49. Peso Unitario Seco Suelto del Agregado Grueso.**

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	3.885	3.885	3.885
Peso del Molde + Material (Kg)	8.183	8.184	8.182
Peso del Material (Kg)	4.298	4.299	4.297
Factor (F)	360.896	360.896	360.896
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1551.129	1551.490	1550.768
Peso Unitario Suelto Promedio	1551.1 Kg/m3		

**Tabla 50. Peso Unitario Seco Compactado del Agregado fino**

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	3.885	3.885	3.885
Peso del Molde + Material (Kg)	8.771	8.776	8.770
Peso del Material (Kg)	4.886	4.891	4.885
Factor (F)	360.896	360.896	360.896
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1763.336	1765.140	1762.975
Peso Unitario Compactado Promedio	1764 Kg/m3		

**Tabla 51. Peso Unitario Seco Compactado del Agregado Grueso**

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	3.885	3.885	3.885
Peso del Molde + Material (Kg)	8.475	8.523	8.524
Peso del Material (Kg)	4.590	4.638	4.639
Factor (F)	360.896	360.896	360.896
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1656.511	1673.834	1674.195
Peso Unitario Compactado Promedio	1668.2 Kg/m3		

**Tabla 52. Ensayo de partículas menores al tamiz N° 200 del agregado fino**

ITEM	ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	ENSAYO N° 03
Peso del material seco antes del ensayo (gr.)	1000 gr	1000 gr	1000 gr
Peso del material seco después del ensayo (gr.)	964 gr	964 gr	962 gr
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS MENORES AL TAMIZ N° 200	3.60%	3.60%	3.80%
% PROMEDIO DE PARTICULAS MENORES AL TAMÍZ N° 200	3.67%		

**Tabla 53. Resultado del porcentaje de desgaste del agregado grueso.**

ABRASIÓN	NÚMERO DE ENSAYO		
	N° 1	N° 2	N° 3
Peso Inicial (gr)	5000.00	5000.00	5000.00
Peso Final (gr)	3273.00	3274.00	3271.00
Desgaste (%)	34.54	34.52	34.58
Promedio de Desgaste (%)	34.55		

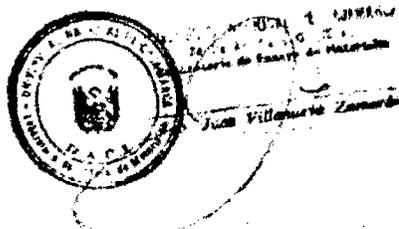
### 7.3 Anexo III Certificado del laboratorio de materiales.

#### LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Que el bachiller en Ingeniería Civil: **ORTIZ BARBOZA, Segundo Luis** con DNI N° 44487673, Ex alumno de la Facultad de Ingeniería Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca; ha registrado su asistencia en este laboratorio en el periodo: Agosto de 2014 – Enero de 2015, desarrollando los ensayos correspondientes al análisis de materiales y pruebas de testigos realizados de la tesis titulada **"DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA FIBRA DE ACERO EN EL ESFUERZO A FLEXION DEL CONCRETO. PARA UN  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ "**, aprobada mediante resolución N°0580-2014 FI – UNC, cuyos resultados obran en este laboratorio.

Se expide el presente, a la solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.



Cajamarca, mayo de 2015

7.4 Anexo IV hoja técnica de la fibra de acero utilizada en el estudio.

Construcción	Hoja Técnica Edición 21 10201101 Identificación No. 92735 Sika® Fiber CHO65/35 NB	
	<h2>Sika® Fiber CHO65/35 NB</h2> <h3>Fibra de acero para refuerzo de concreto</h3>	
	<b>Descripción</b>	Filamentos de acero cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto y mortero.
	<b>Usos</b>	Para refuerzo de concreto y mortero lanzado, obteniendo un elevado número de fibras por kg distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.
	<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ La fibra tiene dobleces que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto.</li> <li>■ Alta resistencia a tracción.</li> <li>■ Alta absorción de energía por medio del alambre trenzado de bajo contenido de carbono.</li> <li>■ Cumple con la Norma ASTM A 820, Tipo 1.</li> <li>■ Por su presentación de fibras pegadas se logra una mejor distribución de las mismas dentro del concreto.</li> <li>■ Eliminar el habilitado y colocación de mata y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras de acero.</li> <li>■ Aumenta resistencia a fatiga, cortante e impacto en estructuras de concreto.</li> </ul>
	<b>Datos Técnicos</b>	Tipo: Alambre de acero trenzado  Largo: 35 mm con doblez en terminaciones  Relación de Aspecto L/D: 65 +/- 15%  Resistencia a tracción: Mínimo 1.200 N/mm <sup>2</sup>
	<b>Presentación</b>	Saco de 20 kg.
	<b>Dosificación</b>	La dosificación será entre 30 y 45 kg/m <sup>3</sup> y se determinará de acuerdo a necesidades específicas de cada proyecto (absorción de energía requerida).
<b>Modo de empleo</b>	Sika® Fiber CHO65/35 NB viene listo para ser usado. Se aplica al concreto durante su mezclado o a plé de obra. Se deberá hacer un mezclado de 3 a 5 minutos para su completa incorporación verificando que las fibras se encuentren separadas y distribuidas en la masa de concreto. Las fibras pueden introducirse junto con los agregados y de preferencia en el concreto mezclado en estado fresco. Es recomendable la utilización de plastificantes, suminizantes o bien estos mismos productos super-plastificantes y/o super-fluidificantes para control de reventamiento sin modificar relación a/c.	



Construcción

**Precauciones**

Las fibras nunca deben añadirse como primera adición en la mezcla de concreto, deberán ser colocadas en la mezcla de concreto elaborada. Se deberán proteger bujos y/o pallets de la lluvia y humedad. Utilizar lentes de seguridad y guantes para su manejo.

**Almacenamiento**

Se deberá realizar el almacenamiento en un lugar completamente seco libre de humedad evitando apilar pallets uno sobre otro.

**Advertencia**

Toda la información contenida en este documento y en cualquiera otra asesoría proporcionada, fueron dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika Mexicana de los productos siempre y cuando hayan sido correctamente almacenados, manejados y aplicados en situaciones normales y de acuerdo a las recomendaciones de Sika Mexicana. La información es válida únicamente para la(s) aplicación(es) y el(los) producto(s) a los que se hace expresamente referencia. En caso de cambios en los parámetros de la aplicación, como por ejemplo cambios en los sustratos, o en caso de una aplicación diferente, consulte con el Servicio Técnico de Sika Mexicana previamente a la utilización de los productos Sika. La información aquí contenida no exonera al usuario de hacer pruebas sobre los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. En todo caso referirse siempre a la última versión vigente de la Hoja Técnica del Producto. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras condiciones generales vigentes de venta y suministro.

Para dudas o aclaraciones:

**Sika responde**

**01 800 123 SIK**

7 4 5 2  
soporte tecnico@mx.sika.com

sika.responde@mx.sika.com

[www.sika.com.mx](http://www.sika.com.mx)



Construcción

Hoja Técnica  
Edición 9, 03.09.14, JA  
Sikament® 290N

## Sikament® 290N

### Aditivo Polifuncional para Concreto

#### Descripción

##### General

Sikament® 290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.

Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo.

Sikament® 290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

#### Campos de aplicación

Sikament® 290N está particularmente indicado para:

- Todo tipo de concretos fabricados en plantas concretoras con la ventaja de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.
- En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.
- Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.
- Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

#### Ventajas

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejas.
- Reductor de agua.

#### Datos Básicos

##### Aspecto

Líquido.

##### Color

Pardo oscuro.

##### Presentación

Cilindro x 200 L.  
Balde x 20 L.  
Dispenser x 1000 L.

##### Almacenamiento

Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.

#### Datos Técnicos

##### Densidad

1,20 kg/L  $\pm$  0,02

##### Norma

Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.



## Aplicación

### Consumo

- Como plastificante: del 0,3 % - 0,7 % del peso del cemento.
- Como superplastificante: del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento.

### Método de aplicación

#### Como Plastificante.

Debe incorporarse junto con el agua de amasado.

#### Como Superplastificante.

Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m<sup>3</sup> de carga de la amasadora o camión concretero.

## Instrucciones de Seguridad

### Precauciones de manipulación

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

### Observaciones

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado.  
Agradeceremos solicitar a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

### Nota Legal

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se pueda deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe).

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición N°8  
la misma que deberá ser destruida"**

Sika Perú S.A., Centro Industrial "Las Praderas de Lurin" S/N, MZ  
"B" Lote 5 y 6 Lurin, Lima - Perú  
Tel: (51-1) 618 6060 / Fax: (51-1) 618 6070  
E-mail: [construccion@pe.sika.com](mailto:construccion@pe.sika.com) / Web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)



7.6 Anexo VI ficha técnica del Cemento Pacasmayo tipo ICo utilizado en los ensayos.



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
 Cella La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Montevideo Santiago de Surco - Lima  
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
 Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002  
 Versión 01

**CEMENTO EXTRAFORTE**  
**Cemento Portland Compuesto Tipo ICo**

Conforme a la NTP 334.090  
 Pacasmayo, 13 de febrero 2015

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	2.5	Máximo 6.0
SO3	%	2.4	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	5	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	5940	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	5.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.96	NO ESPECIFICA

**Resistencia Compresión :**

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	24.3 (247)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	30.3 (309)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	37.4 (382)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

**Tiempo de Fragado Vicat :**

Fragado Inicial	min	134	Mínimo 45
Fragado Final	min	296	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-01-2015 al 31-01-2015.  
 La resistencia a compresión a 28 días correspondo al mes de diciembre 2014.

**Ing. Ivanoff Rojas**  
 Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

7.7 Anexo VII tablas para el diseño de mezclas

Tabla 54. Resistencia a la compresión promedio

Condición de la Ejecución En Obra	Relación aproximada entre la Resistencia Promedio y la Resistencia de Diseño
Excelentes	1.15
Intermedias	1.2 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

*Fuente: Diseño de mezclas – Riva Lopez.*

Tabla 55. Consistencia, Asentamiento y Trabajabilidad del concreto.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	TRABAJABILIDAD
Seca	0" a 2"	Poco Trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Húmeda	≥ 5"	Muy Trabajable

*Fuente: Diseño de mezclas – Riva Lopez.*

Tabla 56. Contenido de Aire Atrapado

TABLA ACI	
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
TAMAÑO NOMINAL	MAXIMO AIRE ATRAPADO
3/8"	3.00%
1/2"	<b>2.50%</b>
3/3"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

*Fuente: Diseño de mezclas – Riva Lopez.*

$$\text{Cont. de aire} = 0\% + 2.5\% = 2,5\%$$

Entiéndase por aire total es el aire atrapado debido al tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 57. Requerimientos de agua en l/m<sup>3</sup> y contenido de aire del concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada.

Tipo de concreto	Asentamiento	TMN del agregado grueso							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Sin aire incorporado	0" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
	3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
	> 5"	243	228	216	202	190	178	160	-
	Contenido de aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Con aire incorporado	0" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
	3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
	> 5"	216	205	197	184	174	166	154	-
	Contenido de aire total	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Diseño de mezclas – Riva Lopez.

Tabla 58. Módulo de finura de la combinación de agregados

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de finura de la combinación de los agregados para los contenidos de cemento en saco / m <sup>3</sup> indicados.			
	6.00	7.00	8.00	9.00
3 / 8 "	3.96	4.04	4.11	4.19
1 / 2 "	4.46	4.54	4.61	4.89
3 / 4 "	4.96	5.04	5.11	5.19
1 "	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2 "	5.56	5.64	5.71	5.79
2 "	5.86	5.94	6.01	6.09
3 "	6.16	6.24	6.31	6.38

Estos valores están referidos al agregado grueso, adecuadamente graduado con un contenido de vacíos del orden del 35% .Los valores deben incrementarse o disminuirse en porcentaje de vacíos. 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

Los valores de esta tabla pueden dar mezclas ligeramente sobrearenosas para pavimento o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables deben ser incrementados en 0.2.

Fuente: Universidad de Maryland (Diseño de mezclas. Rivva López)

Tabla 59. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado.

Descripción	Límites permisibles
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1000 ppm máximo
Sulfatos (ión SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	600 ppm máximo
Cloruros (ión Cl <sup>-1</sup> )	1000 ppm máximo
pH	entre 5.0 y 8.0
De preferencia el agua a emplear debe ser potable.	

Fuente: Norma Técnica Peruana 339.088

## 7.8 Anexo VIII diseño de mezclas de concreto.

### 7.8.1 Diseño Mezcla de prueba.

#### DISEÑO DE MEZCLAS: METODO DE MÓDULO DE FINURA (MEZCLA DE PRUEBA)

##### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c =$  280.00 kg/cm<sup>2</sup>

Características de los materiales:

Tipo de cemento =

Cemento Pacasmayo Tipo Ico

Cemento Peso específico =

2.96 gr/cm<sup>2</sup>

Agua Potable

Agregados : Características	A. FINO	A. GRUESO
Peso específico de Masa =	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto=	1632.21 kg/m <sup>3</sup>	1551.13 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado=	1763.82 kg/m <sup>3</sup>	1668.18 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco=	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.56 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura =	3.24	6.88
Contenido de Humedad =	4.61 %	1.47 %
Absorción =	1.70 %	1.11 %
Partículas menores a #200 =	3.67 %	
Perfil =	Redondeado	Angular
T.M.N =	-----	1/2
Abrasión =	-----	

UBICACIÓN CANTERA: 9208957m N 779906m E

##### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = f_c * 1.2$$

Por lo tanto =  $f_{cr} =$  336.00 kg/cm<sup>2</sup>

##### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN = 1/2

##### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP 3"

##### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado 216 lt

183.60 lt

Nueva agua de mezclado

Contenido de aire atrapado = 2.5 %

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

##### 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

###### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 1.10, se tiene:

$$50.00 \left\{ \begin{array}{l} 350.00 \\ 336.00 \\ 300.00 \end{array} \right\} 14.00 \quad \quad \quad -0.07 \left\{ \begin{array}{l} 0.48 \\ A/C \\ 0.55 \end{array} \right\} 0.48-A/C$$

$$\frac{50.00}{-0.07} = \frac{14.00}{0.48-A/C}$$

$$0.48-A/C = -0.020$$

A/C = 0.4996

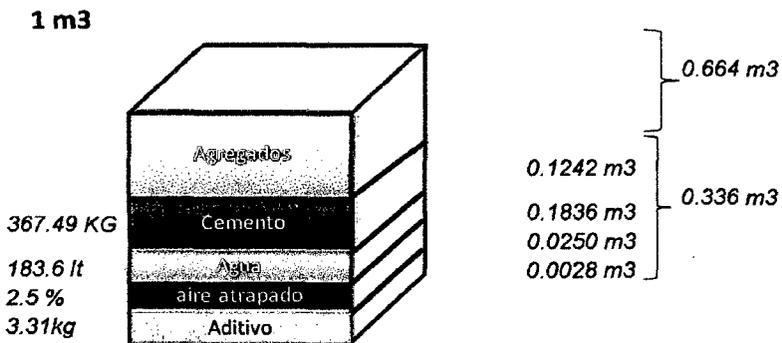
6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = 0.500

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$A/C = 0.500$$

$$A = 183.60 \text{ lt}$$

$$C = 367.49 \text{ KG}$$



### 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A. Fino (mf) = 3.24  
 Módulo de finura A. Grueso (mg) = 6.88  
 N° Bolsas = Peso cemento (C) / 42.5 = 8.65

De la tabla 1.11, se tiene:

$$-1.00 \left\{ \begin{array}{l} \text{N}^\circ \text{ Bolsas} \\ 8.00 \\ 8.65 \\ 9.00 \end{array} \right. -0.65$$

$$-0.08 \left\{ \begin{array}{l} mc \\ 4.61 \\ mc \\ 4.69 \end{array} \right. mc-4.69$$

$$\frac{-1.00}{-0.08} = \frac{-0.65}{mc-4.69}$$

$$mc-4.69 = -0.052$$

$mc = 4.66$

% Volumen absoluto del agregado fino. =  $r_f = \frac{m_g - mc}{m_g - m_f} * 100$

Del 100% de los agregados	$r_f =$	60.957 %	
	$r_f =$	61.0 %	
⇒ Volumen absoluto del A. Fino =	0.405 m <sup>3</sup>	0.344 m <sup>3</sup>	Nuevos valores corregidos por sobregavosa
⇒ Volumen abs. del A. Grueso =	0.259 m <sup>3</sup>	0.320 m <sup>3</sup>	
⇒ Peso seco absoluto del A. Fino =	<b>913.18 KG</b>	51.8 %	Nuevos porcentajes de los agregados
⇒ Peso seco abs. del A. Grueso =	<b>820.83 KG</b>	48.2 %	

### 8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

#### 8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{367.49}{367.49} : \frac{P_{af}}{367.49} : \frac{P_{ag}}{367.49}$$

Peso húmedo del agregado:

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 955.26 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 832.92 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

Proporciones en peso:

$$P_p = \frac{367.49}{367.49} : \frac{955.26}{367.49} : \frac{832.92}{367.49}$$

$$P_p = 1.00 : 2.60 : 2.27 /$$

**21.23 lt** mezcla  
**21.17 lt** efectiva

**8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

*P<sub>v</sub>*: Proporción en volumen.  
*P<sub>p</sub>*: Proporción en peso.  
*Push*: Peso unitario suelto húmedo.  
*P<sub>uss</sub>*: Peso unitario seco suelto.

$$P_{ush} = (P_{uss})\left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

*Push* = 48.35 kg/pie3 Agregado Fino.

*Push* = 44.57 kg/pie3 Agregado Grueso.

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

$$P_v = \frac{1.00}{1.00} : \frac{110.47}{48.35} : \frac{96.33}{44.57}$$

$$P_v = 1.00 : 2.28 : 2.16 \quad \left/ \begin{array}{l} 21.23 \text{ lt} \\ 21.17 \text{ lt} \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

**9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA**

$$A_{efectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs)}{100} * P_{saf} - \frac{(W-abs)}{100} * P_{sag}$$

*Aefectiva* : Agua efectiva.

*W*: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.

*abs*: absorción del agregado fino ó agregado grueso.

*P<sub>saf</sub>* : Proporción en peso seco del agregado fino.

*P<sub>sag</sub>* : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A_{efectiva} = 21.233 - (4.61 - 1.7) * 913.18/100 - (1.47 - 1.11) * 820.83/100$$

$$\begin{array}{l} A_{efectiva} = 21.17 \text{ lt} \quad \text{(en la proporción)} \\ A_{efectiva} = 158.89 \text{ lt} \quad \text{(mezcla)} \\ \quad \quad \quad 154.05 \text{ lt} \end{array}$$

### 10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS METODO GRAVIMETRICO

% de agregados =	0.664 m3	Pesos Secos
Volumen abs. agregado fino: $V_{abs AF} =$	0.344 m3	913.18 kg
Volumen abs. agregado grueso: $V_{abs AG} =$	0.320 m3	820.83 kg
Volumen abs. Agua: $V_{abs Agua} =$	0.184 m3	183.60lt
Volumen abs. Cemento: $V_{abs Cem} =$	0.124 m3	367.49 kg

Peso Unitario del C° Fresco= **2285.35 kg/m3**

$$P_{em}(mezcla) = \frac{P_{secoAF} + P_{secoAG} + P_{cem} + P_{agua}}{\sum Vol_{abs}(AF+AG+Cem+Agua)}$$

$$P_{em}(mezcla) = 2350.45 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{vacios} = \frac{P_{esp}(mezcla) - P_{unit.}(mezcla)}{P_{esp}(mezcla)} * 100$$

$$\% \text{vacios} = 2.770\%$$

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

⇒	Peso seco absoluto del A. Fino	913.18 KG
⇒	Peso seco abs. del A. Grueso	820.83 KG
⇒	Peso de cemento	367.49 KG
⇒	Peso agua de mezcla	183.60 KG
⇒	Peso Aditivo	3.31 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2288.41 KG

#### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

⇒	Peso húmedo absoluto del A. Fino	=	955.26 KG
⇒	Peso húmedo abs. del A. Grueso	=	832.92 KG
⇒	Peso de cemento	=	367.49 KG
⇒	Peso agua efectiva	=	154.05 KG
⇒	Peso Aditivo	=	3.31 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2313.04 KG

### 12.- MATERIALES PARA 3 ESPECIMENES CILINDRICOS(Vol=0.02m<sup>3</sup>)

Cemento	=	$\frac{367.49 \times 0.02}{3}$	7.35 kg
A. Fino. H	=	$\frac{939.27 \times 0.02}{3}$	19.11 kg
A. Grueso. H	=	$\frac{823.80 \times 0.02}{3}$	16.66 kg
Agua Efectiva	=	$\frac{154.53 \times 0.02}{3}$	3.08lt
Aditivo	=	$\frac{3.31 \times 0.02}{3}$	0.07 kg

## 7.8.2 Corrección mediante la ley de POWERS.

Con esta dosificación se hizo una corrección por resistencia, puesto que se obtuvo una resistencia a compresión a la edad de 28 días de  $f'c = 263.76$  kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual era necesario recurrir a la ley de POWERS, Esta ley plantea que la resistencia del concreto es función del grado de hidratación del cemento, de la relación gel/espacio ocupada por el gel y la relación agua cemento. Es decir:

$$s = 2380 x^3, \text{ siendo } x = \frac{0.678 h}{0.318 h + a/c} \dots \dots \dots (38)$$

Donde:

S = Resistencia del concreto a los 28 días, expresado en kg/cm<sup>2</sup>

X = Relación gel/espacio

h = Grado de hidratación del cemento

A/c = Relación agua – cemento

La cual se efectuó de la siguiente manera:

Para la tanda de prueba.

$$A/c = 0.50$$

$$S = 263.76$$

$$\text{Entonces } X = 3 \sqrt{\frac{263.76}{2380}} = 0.48, \text{ calculando. } h = 0.46$$

Contando con estos datos, se puede plantear otra vez la ecuación y calcular la nueva relación Agua/Cemento.

$$A/c = ?$$

$$S = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 0.46$$

Calculando, X = 0.49 es la nueva relación gel espacio y la relación corregida de A/C= 0.487. Con el cual se diseñó el resto de tandas.

### 7.8.3 Diseño de mezclas corregido

#### DISEÑO DE MEZCLAS: METODO DE MÓDULO DE FINURA CORREGIDO

##### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$

Características de los materiales:

Tipo de cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo Ico**

Cemento Peso específico = **2.96 gr/cm<sup>3</sup>**

Agua Potable

**Agregados : Características**

	<u>A. FINO</u>	<u>A. GRUESO</u>
Peso específico de Masa =	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto=	1632.21 kg/m <sup>3</sup>	1551.13 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado=	1763.82 kg/m <sup>3</sup>	1668.18 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco=	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.56 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura =	3.24	6.88
Contenido de Humedad =	4.61 %	1.47 %
Absorción =	1.70 %	1.11 %
Partículas menores a #200 =	3.67 %	
Perfil =	Redondeado	Angular
T.M.N =	-----	1/2
Abrasión =	-----	

Cordenadas de la cantera: 9208957m N 779906m E

##### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = f_c * 1.2$$

Por lo tanto =  $f_{cr} = 336.00 \text{ kg/cm}^2$

##### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

$$TMN = 1/2$$

##### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

$$SLUMP = 3''$$

##### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado **216 lt**

**184 lt**

Nueva agua de mezclado

Contenido de aire atrapado = **2.5 %**

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

##### 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

###### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 1.10, se tiene:

$$50.00 \left\{ \begin{array}{l} 350.00 \\ 336.00 \\ 300.00 \end{array} \right\} 14.00 \quad -0.07 \left\{ \begin{array}{l} 0.48 \\ A/C \\ 0.55 \end{array} \right\} 0.48-A/C$$

$$\frac{50.00}{-0.07} = \frac{14.00}{0.48-A/C}$$

$$0.48-A/C = \frac{-0.020}{0.50} \text{ anterior}$$

$$A/C = 0.487$$

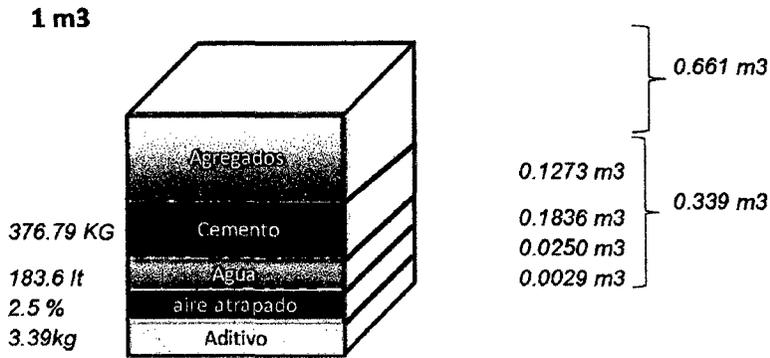
6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = **0.487**

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$A/C = 0.487$$

$$A = 183.60 \text{ lt}$$

$$C = 376.79 \text{ KG}$$



### 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A. Fino (mf) = 3.24

Módulo de finura A. Grueso (mg) = 6.88

Nº Bolsas = Peso cemento (C) / 42.5 = 8.87

De la tabla 1.11, se tiene:

$$-1.00 \left\{ \begin{array}{l} 8.00 \\ 8.87 \\ 9.00 \end{array} \right. -0.87$$

$$-0.08 \left\{ \begin{array}{l} mc \\ 4.61 \\ mc \\ 4.69 \end{array} \right. mc-4.69$$

$$\frac{-1.00}{-0.08} = \frac{-0.87}{mc-4.69}$$

$$mc-4.69 = -0.069$$

$$mc = 4.68$$

% Volumen absoluto del agregado fino. =  $r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100$

Del 100% de los agregados

$$r_f = 60.5 \%$$

$$r_f = 60.5 \%$$

⇒ Volumen absoluto del A. Fino = 0.400 m<sup>3</sup>      0.340 m<sup>3</sup>

⇒ Volumen abs. del A. Grueso = 0.261 m<sup>3</sup>      0.321 m<sup>3</sup>

Nuevos valores corregidos por sobregavosa

⇒ Peso seco absoluto del A. Fino = 901.60 KG      51.4 %

⇒ Peso seco abs. del A. Grueso = 823.78 KG      48.6 %

Nuevos porcentajes de los agregados

**8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES**

**8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO**

$$P_p = \frac{376.79}{376.79} : \frac{P_{af}}{376.79} : \frac{P_{ag}}{376.79}$$

**Peso húmedo del agregado:**

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = \mathbf{943.15 \text{ KG}} : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = \mathbf{835.92 \text{ KG}} : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$P_p = \frac{376.79}{376.79} : \frac{943.15}{376.79} : \frac{835.92}{376.79}$$

$$P_p = \mathbf{1.00} : \mathbf{2.50} : \mathbf{2.22} \quad \begin{array}{l} \mathbf{20.71 \text{ lt}} \\ \mathbf{20.64 \text{ lt}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

**8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

*P<sub>v</sub>*: Proporción en volumen.

*P<sub>p</sub>*: Proporción en peso.

*P<sub>ush</sub>*: Peso unitario suelto húmedo.

*P<sub>uss</sub>*: Peso unitario seco suelto.

$$P_{ush} = (P_{uss}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

$$P_{ush} = 48.35 \text{ kg/pie}^3 \quad \text{Agregado Fino.}$$

$$P_{ush} = 44.57 \text{ kg/pie}^3 \quad \text{Agregado Grueso.}$$

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}} : \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

$$P_v = \frac{1.00}{1.00} : \frac{106.38}{48.35} : \frac{94.29}{44.57}$$

$$P_v = \mathbf{1.00} : \mathbf{2.20} : \mathbf{2.12} \quad \begin{array}{l} \mathbf{20.71 \text{ lt}} \\ \mathbf{20.64 \text{ lt}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{mezcla} \\ \text{efectiva} \end{array}$$

**9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA**

$$A_{efectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs) * P_{saf}}{100} - \frac{(W-abs) * P_{sag}}{100}$$

*A<sub>efectiva</sub>* : Agua efectiva.

*W*: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.

*abs*: absorción del agregado fino ó agregado grueso.

*P<sub>saf</sub>* : Proporción en peso seco del agregado fino.

*P<sub>sag</sub>* : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A_{efectiva} = 20.7090979299512 - (4.61 - 1.7) * 901.6 / 100 - (1.47 - 1.11) * 823.78 / 100$$

$$\begin{array}{l} A_{efectiva} = \mathbf{20.64 \text{ lt}} \\ A_{efectiva} = \mathbf{159.25 \text{ lt}} \\ \mathbf{154.38 \text{ lt}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{(en la proporción)} \\ \text{(mezcla)} \end{array}$$

**10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS METODO GRAVIMETRICO**

**% de agregados = 0.661 m3**

**Volumen abs. agregado fino:  $V_{abs AF} = 0.340 \text{ m}^3$  901.60 kg**

**Volumen abs. agregado grueso:  $V_{abs AG} = 0.321 \text{ m}^3$  823.78 kg**

**Volumen abs. Agua:  $V_{abs Agua} = 0.184 \text{ m}^3$  183.60lt**

**Volumen abs. Cemento:  $V_{abs Cem} = 0.127 \text{ m}^3$  376.79 kg**

**Volumen abs. Aditivo :  $V_{abs Aditivo} = 0.003 \text{ m}^3$  3.39 kg**

**Peso Unitario del C° Fresco= 2310.61 kg/m3 2289.17 0.98**

**$Pem(\text{mezcla}) = \frac{PsecoAF + PsecoAG + Pcem + Pagua}{\sum Volabs(AF + AG + Cem + Agua)}$  2347.86**

**Pem(mezcla) = 2347.86 kg/m3**

**$\% \text{ vacios} = \frac{Pesp(\text{mezcla}) - Punit.(\text{mezcla})}{Pesp(\text{mezcla})} * 100$**

**%vacios = 1.587%**

**Nota:**

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación Inversa al área superficial y a la demanda del agua.

**11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3**

⇒	Peso seco absoluto del A. Fino	=	901.60 KG
⇒	Peso seco abs. del A. Grueso	=	823.78 KG
⇒	Peso de cemento	=	376.79 KG
⇒	Peso agua de mezcla	=	183.60 KG
⇒	Peso Aditivo	=	3.39 KG

**CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2289.17 KG**

**CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

⇒	Peso húmedo absoluto del A. Fino	=	943.15 KG
⇒	Peso húmedo abs. del A. Grueso	=	835.92 KG
⇒	Peso de cemento	=	376.79 KG
⇒	Peso agua efectiva	=	154.38 KG
⇒	Peso Aditivo	=	3.39 KG

**CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2313.63 KG**

**12.- MATERIALES PARA 3 ESPECIMENES CILINDRICOS(Vol=0.02m<sup>3</sup>)**

Cemento	=	7.54 kg
A. Fino. H	=	18.86 kg
A. Grueso. H	=	16.72 kg
Agua Efectiva	=	3.09 lt
Aditivo	=	0.068 kg

**13.- CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA**

**$RENDIMIENTO = \frac{PESO DE COLADA}{P. UNITARIO DEL CONCRETO}$  PESO COLADA= 46.27 kg  
P. Unit.= 2310.61 kg/m3**

**R= 0.020026145**

**$Aire \text{ atrapado} = \frac{Rendimiento - \sum Vol. Abs}{Rendimiento} X 100$  Vol. Abs.= 0.01951677**

**Aire atrapado= 2.54%**

## 7.8.4 Diseño de mezclas para el concreto adicionado con 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

### DISEÑO DE MEZCLAS: METODO DE MÓDULO DE FINURA CONCRETO CON 30Kg/m<sup>3</sup> DE FIBRA

#### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$   
 Características de los materiales:  
 Tipo de cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo Ico**  
 Cemento Peso específico = **2.96 gr/cm<sup>2</sup>**  
 Agua Potable

Agregados : Características	A. FINO	A. GRUESO
Peso específico de Masa =	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto =	1632.21 kg/m <sup>3</sup>	1551.13 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado =	1763.82 kg/m <sup>3</sup>	1668.18 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco =	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.56 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura =	3.24	6.88
Contenido de Humedad =	4.61 %	1.47 %
Absorción =	1.70 %	1.11 %
Partículas menores a #200 =	3.67 %	
Perfil =	Redondeado	Angular
T.M.N =	-----	1/2
Abrasión =	-----	

Cordenadas de la cantera: 9208957m N | 779906m E

#### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = f_c * 1.2$$

Por lo tanto =  $f_{cr} = 336.00 \text{ kg/cm}^2$

#### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

$$TMN = 1/2$$

#### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

$$SLUMP = 3''$$

#### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

$$\text{Agua de mezclado} = 216 \text{ lt}$$

$$184 \text{ lt}$$

Nueva agua de mezclado

$$\text{Contenido de aire atrapado} = 2.5 \%$$

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

#### 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

##### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 1.10, se tiene:

$$50.00 \left[ \begin{array}{l} f_{cr} \\ 350.00 \\ 336.00 \\ 300.00 \end{array} \right] 14.00 \quad -0.07 \left[ \begin{array}{l} A/C \\ 0.48 \\ A/C \\ 0.55 \end{array} \right] 0.48-A/C$$

$$\frac{50.00}{-0.07} = \frac{14.00}{0.48-A/C}$$

$$0.48-A/C = -0.020$$

$$A/C = 0.487 \quad \text{Calculada con el metodo de Powers}$$

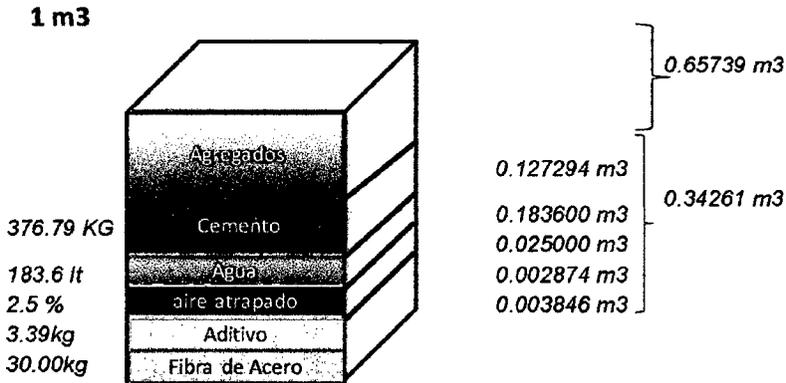
##### 6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C = 0.487

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$A/C = 0.487$$

$$A = 183.60 \text{ lt}$$

$$C = 376.79 \text{ KG}$$



### 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Módulo de finura A. Fino (mf) = 3.24

Módulo de finura A. Grueso (mg) = 6.88

Nº Bolsas = Peso cemento (C) / 42.5 = 8.87

De la tabla 1.11, se tiene:

$$-1.00 \left\{ \begin{array}{l} 8.00 \\ 8.87 \\ 9.00 \end{array} \right. -0.87$$

$$-0.08 \left\{ \begin{array}{l} mc \\ 4.61 \\ mc \\ 4.69 \end{array} \right. mc-4.69$$

$$\frac{-1.00}{-0.08} = \frac{-0.87}{mc-4.69}$$

$$mc-4.69 = -0.069$$

$$mc = 4.68$$

% Volumen absoluto del agregado fino. =  $r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$

Del 100% de los agregados

	$r_f =$	60.5 %	
	$r_g =$	60.5 %	
⇒ Volumen absoluto del A. Fino =	0.398 m <sup>3</sup>	0.338 m <sup>3</sup>	Nuevos valores corregidos por sobregavosa
⇒ Volumen abs. del A. Grueso =	0.260 m <sup>3</sup>	0.319 m <sup>3</sup>	
⇒ Peso seco absoluto del A. Fino =	896.36 KG	51.4 %	Nuevos porcentajes de los agregados
⇒ Peso seco abs. del A. Grueso =	818.99 KG	48.6 %	

### 8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

#### 8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{376.79}{376.79} ; \frac{P_{af}}{376.79} ; \frac{P_{ag}}{376.79}$$

Peso húmedo del agregado:

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 937.66 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$Y_h = Y_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 831.06 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$Pp = \frac{376.79}{376.79} : \frac{937.66}{376.79} : \frac{831.06}{376.79}$$

$$Pp = 1.00 : 2.49 : 2.21 \quad / \quad \begin{array}{l} 20.71 \text{ lt} \quad \text{mezcla} \\ 20.64 \text{ lt} \quad \text{efectiva} \\ 30.00 \text{ kg de Fibra} \end{array}$$

**8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

*Pv: Proporción en volumen.  
Pp: Proporción en peso.  
Push: Peso unitario suelto húmedo.  
Puss: Peso unitario seco suelto.*

$$P_{ush} = (P_{uss}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

$$Push = 48.35 \text{ kg/pie}^3 \quad \text{Agregado Fino.}$$

$$Push = 44.57 \text{ kg/pie}^3 \quad \text{Agregado Grueso.}$$

$$Pv = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{Pp * 42.5}{Push} : \frac{Pp * 42.5}{Push}$$

$$Pv = \frac{1.00}{1.00} : \frac{105.76}{48.35} : \frac{93.74}{44.57}$$

$$Pv = 1.00 : 2.19 : 2.10 \quad / \quad \begin{array}{l} 20.71 \text{ lt} \quad \text{mezcla} \\ 20.64 \text{ lt} \quad \text{efectiva} \\ 30.00 \text{ kg de Fibra} \end{array}$$

**9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA**

$$\text{Afectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs) * P_{saf}}{100} - \frac{(W-abs) * P_{sag}}{100}$$

*Afectiva : Agua efectiva.*

*W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.*

*abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.*

*Psaf: Proporción en peso seco del agregado fino.*

*Psag: Proporción en peso seco del agregado grueso.*

$$\text{Afectiva} = 20.7090979299512 - (4.61 - 1.7) * 896.36 / 100 - (1.47 - 1.11) * 818.99 / 100$$

$$\text{Afectiva} = 20.64 \text{ lt} \quad (\text{en la proporción})$$

$$\text{Afectiva} = 159.39 \text{ lt} \quad (\text{mezcla})$$

$$154.55 \text{ lt}$$

**10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS METODO GRAVIMETRICO**

$$\% \text{ de agregados} = 0.657 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agregado fino: } V_{abs AF} = 0.338 \text{ m}^3 \quad 896.36 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen abs. agregado grueso: } V_{abs AG} = 0.319 \text{ m}^3 \quad 818.99 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen abs. Agua: } V_{abs Agua} = 0.184 \text{ m}^3 \quad 183.60 \text{ lt}$$

$$\text{Volumen abs. Cemento: } V_{abs Cem} = 0.127 \text{ m}^3 \quad 376.79 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen abs. Fibra: } V_{abs Fib} = 0.004 \text{ m}^3 \quad 30.00 \text{ kg}$$

$$\text{Peso Unitario del C° Fresco} = 2330.58 \text{ kg/m}^3$$

$$2305.74$$

$$0.97$$

$$P_{em}(\text{mezcla}) = \frac{P_{secoAF} + P_{secoAG} + P_{cem} + P_{fibra} + P_{agua}}{\sum Vol_{abs}(AF + AG + Cem + fibra + Agua)}$$

$$P_{em}(\text{mezcla}) = 2371.85 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{vacios} = \frac{P_{esp}(\text{mezcla}) - P_{unit.}(\text{mezcla})}{P_{esp}(\text{mezcla})} * 100$$

$$\% \text{vacios} = 1.740\%$$

**Nota:**

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

⇒	Peso seco absoluto del A. Fino =	896.36 KG
⇒	Peso seco abs. del A. Grueso =	818.99 KG
⇒	Peso de cemento =	376.79 KG
⇒	Peso agua de mezcla =	183.60 KG
⇒	Peso de Fibra =	30.00 KG
⇒	Peso Aditivo	3.39 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2309.13 KG

### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

⇒	Peso húmedo absoluto del A. Fino =	937.66 KG
⇒	Peso húmedo abs. del A. Grueso =	831.06 KG
⇒	Peso de cemento =	376.79 KG
⇒	Peso agua efectiva =	154.55 KG
⇒	Peso de Fibra =	30.00 KG
⇒	Peso Aditivo	3.39 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2333.45 KG

### 12.- MATERIALES PARA 3 ESPECIMENES CILINDRICOS (Vol=0.02m<sup>3</sup>) y PRISMATICOS (Vol=0.04m<sup>3</sup>)

	MUESTRAS CILINDRICAS	MUESTRAS PRISMATICAS
Cemento	= 7.54 kg	13.99 kg
A. Fino. H	= 18.75 kg	18.75 kg
A. Grueso. H	= 16.62 kg	16.62 kg
Agua Efectiva	= 3.09 lt	3.09 lt
Aditivo	= 0.068 kg	0.126 kg
Fibra	= 0.600 kg	1.11 kg

### 13.- CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA

$$RENDIMIENTO = \frac{PESO DE COLADA}{P. UNITARIO DEL CONCRETO} \quad P. PESO COLADA = 46.67 \text{ kg}$$

$$P. Unit. = 2330.58 \text{ kg/m}^3$$

$$R = 0.020024687$$

$$\text{Aire atrapado} = \frac{Rendimiento - \sum Vol. Abs}{Rendimiento} * 100 \quad Vol. Abs. = 0.01951667$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.54\%$$

## 7.8.5 Diseño de mezclas para el concreto adicionado con 50kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

### DISEÑO DE MEZCLAS: METODO DE MÓDULO DE FINURA CONCRETO CON 50Kg/m<sup>3</sup> DE FIBRA

#### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c =$  280.00 kg/cm<sup>2</sup>

Características de los materiales:

Tipo de cemento = **Cemento Pacasmayo Tipo Ico**

Cemento Peso específico = 2.96 gr/cm<sup>2</sup>

Agua Potable

Agregados : Características	A. FINO	A. GRUESO
Peso específico de Masa =	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto=	1632.21 kg/m <sup>3</sup>	1551.13 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado=	1763.82 kg/m <sup>3</sup>	1668.18 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco=	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.56 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura =	3.24	6.88
Contenido de Humedad =	4.61 %	1.47 %
Absorción =	1.70 %	1.11 %
Partículas menores a #200 =	3.67 %	
Perfil =	Redondeado	Angular
T.M.N =	-----	1/2
Abrasión =	-----	

Cordenadas de la cantera: 9208957m N 779906m E

#### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = f_c * 1.2$$

Por lo tanto =  $f_{cr} =$  336.00 kg/cm<sup>2</sup>

#### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN = 1/2

#### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP 3"

#### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado 216 lt

184 lt

Nueva agua de mezclado

Contenido de aire atrapado = 2.5 %

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

#### 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

##### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 1.10, se tiene:

$$50.00 \left\{ \begin{array}{l} 350.00 \\ 336.00 \\ 300.00 \end{array} \right\} 14.00 \quad -0.07 \left\{ \begin{array}{l} A/C \\ 0.48 \\ A/C \\ 0.55 \end{array} \right\} 0.48-A/C$$

$$\frac{50.00}{-0.07} = \frac{14.00}{0.48-A/C}$$

$$0.48-A/C = -0.020$$

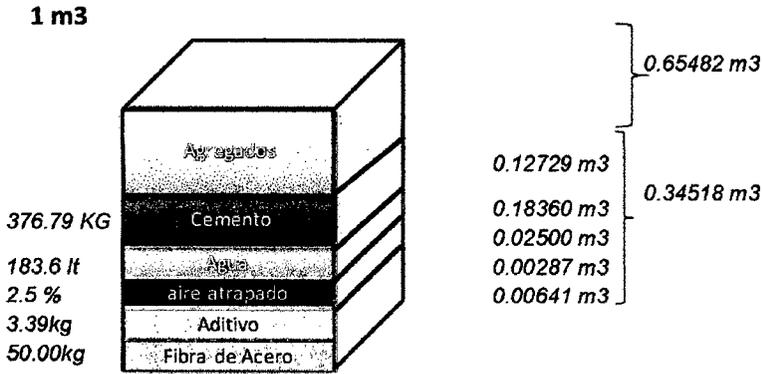
A/C = 0.487 Calculada con el metodo de Powers

##### 6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C =

0.487

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$\begin{aligned} A/C &= 0.487 \\ A &= 183.60 \text{ lt} \\ C &= 376.79 \text{ KG} \end{aligned}$$



### 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

$$\begin{aligned} \text{Módulo de finura A. Fino (mf)} &= 3.24 \\ \text{Módulo de finura A. Grueso (mg)} &= 6.88 \\ \text{Nº Bolsas} = \text{Peso cemento (C)} / 42.5 &= 8.87 \end{aligned}$$

De la tabla 1.11, se tiene:

$$\begin{aligned} & \begin{matrix} \text{Nº Bolsas} \\ -1.00 \left\{ \begin{matrix} 8.00 \\ 8.87 \\ 9.00 \end{matrix} \right. \end{matrix} & -0.87 & & & & \begin{matrix} mc \\ -0.08 \left\{ \begin{matrix} 4.61 \\ mc \\ 4.69 \end{matrix} \right. \end{matrix} & mc-4.69 \end{aligned}$$

$$\frac{-1.00}{-0.08} = \frac{-0.87}{mc-4.69}$$

$$mc-4.69 = -0.069$$

$$\boxed{mc = 4.68}$$

$$\% \text{ Volumen absoluto del agregado fino.} = r_f = \frac{m_g - mc}{m_g - m_f} \cdot 100$$

Del 100% de los agregados

	$r_f =$	60.5 %	
	$r_f =$	60.5 %	
⇒ Volumen absoluto del A. Fino =	0.396 m <sup>3</sup>	0.337 m <sup>3</sup>	Nuevos valores corregidos por sobregavosa
⇒ Volumen abs. del A. Grueso =	0.259 m <sup>3</sup>	0.318 m <sup>3</sup>	
⇒ Peso seco absoluto del A. Fino =	892.86 KG	51.4 %	Nuevos porcentajes de los agregados
⇒ Peso seco abs. del A. Grueso =	815.79 KG	48.6 %	

### 8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

#### 8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{376.79}{376.79} : \frac{P_{af}}{376.79} : \frac{P_{ag}}{376.79}$$

Peso húmedo del agregado:

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 934.01 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 827.81 \text{ KG} : \text{Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$Pp = \frac{376.79}{376.79} : \frac{934.01}{376.79} : \frac{827.81}{376.79}$$

$$Pp = 1.00 : 2.48 : 2.20$$

/ 20.71 lt mezcla efectiva  
20.65 lt efectiva  
50.00kg de Fibra

**8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

*Pv: Proporción en volumen.  
Pp: Proporción en peso.  
Push: Peso unitario suelto húmedo.  
Puss: Peso unitario seco suelto.*

$$P_{ush} = (P_{uss})(1 + \frac{w}{100})$$

**Push = 48.35 kg/pie3 Agregado Fino.**

**Push = 44.57 kg/pie3 Agregado Grueso.**

$$P_v = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{Pp*42.5}{Push} : \frac{Pp*42.5}{Push}$$

$$P_v = \frac{1.00}{1.00} : \frac{105.35}{48.35} : \frac{93.37}{44.57}$$

$$P_v = 1.00 : 2.18 : 2.09$$

/ 20.71 lt mezcla efectiva  
20.65 lt efectiva  
50.00kg de Fibra

**9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA**

$$A_{efectiva} = \text{Agua mezcla} - \frac{(W-abs)}{100} * P_{saf} - \frac{(W-abs)}{100} * P_{sag}$$

*Aefectiva : Agua efectiva.*

*W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.*

*abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.*

*Psaf : Proporción en peso seco del agregado fino.*

*Psag : Proporción en peso seco del agregado grueso.*

$$A_{efectiva} = 20.7090979299512 - (4.61 - 1.7) * 892.86 / 100 - (1.47 - 1.11) * 815.79 / 100$$

**Aefectiva = 20.65 lt (en la proporción)**  
**Aefectiva = 159.49 lt (mezcla)**  
**154.66 lt**

**10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS METODO GRAVIMETRICO**

**% de agregados = 0.655 m3**

Volumen abs. agregado fino: $V_{abs AF} =$	0.337 m3	892.86 kg	_____
Volumen abs. agregado gueso: $V_{abs AG} =$	0.318 m3	815.79 kg	_____
Volumen abs. Agua: $V_{abs Agua} =$	0.184 m3	183.60lt	_____
Volumen abs. Cemento: $V_{abs Cem} =$	0.127 m3	376.79 kg	_____
Volumen abs. Fibra: $V_{abs Fib} =$	0.006 m3	50.00 kg	_____
Peso Unitario del C° Fresco= 2349.28 kg/m3		Peso seco	Vol. Abs.
		2319.05	0.97

$$P_{em}(\text{mezcla}) = \frac{P_{secoAF} + P_{secoAG} + P_{cem} + P_{fibra} + P_{agua}}{\sum Vol_{abs}(AF + AG + Cem + fibra + Agua)}$$

$$P_{em}(\text{mezcla}) = 2385.54 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{vacios} = \frac{P_{esp}(\text{mezcla}) - P_{unit.}(\text{mezcla})}{P_{esp}(\text{mezcla})} * 100$$

$$\% \text{vacios} = 1.520\%$$

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacios.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

⇒	Peso seco absoluto del A. Fino =	892.86 KG
⇒	Peso seco abs. del A. Grueso =	815.79 KG
⇒	Peso de cemento =	376.79 KG
⇒	Peso agua de mezcla =	183.60 KG
⇒	Peso de Fibra =	50.00 KG
⇒	Peso Aditivo	3.39 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2322.44 KG

### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

⇒	Peso húmedo absoluto del A. Fino =	934.01 KG
⇒	Peso húmedo abs. del A. Grueso =	827.81 KG
⇒	Peso de cemento =	376.79 KG
⇒	Peso agua efectiva =	154.66 KG
⇒	Peso de Fibra =	50.00 KG
⇒	Peso Aditivo	3.39 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2346.67 KG

### 12.- MATERIALES PARA 3 ESPECIMENES CILINDRICOS (Vol=0.02m<sup>3</sup>) y PRISMATICOS (Vol=0.04m<sup>3</sup>)

	MUESTRAS CILINDRICAS	MUESTRAS PRISMATICAS
Cemento	= 7.54 kg	13.99 kg
A. Fino. H	= 18.68 kg	18.68 kg
A. Grueso. H	= 16.56 kg	16.56 kg
Agua Efectiva	= 3.09 lt	3.09 lt
Aditivo	= 0.068 kg	0.126 kg
Fibra	= 1.000 kg	1.86 kg

### 13.- CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA

$$RENDIMIENTO = \frac{PESO DE COLADA}{P.UNITARIO DEL CONCRETO}$$

$$PESO COLADA = 46.93 \text{ kg}$$

$$P. Unit. = 2349.28 \text{ kg/m}^3$$

$$R = 0.019977748$$

$$\text{Aire atrapado} = \frac{\text{Rendimiento} - \sum Vol. Abs}{\text{Rendimiento}} \times 100 \quad \text{Vol. Abs.} = 0.01951661$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.31\%$$

## 7.8.6 Diseño de mezclas para el concreto adicionado con 70kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

### DISEÑO DE MEZCLAS: METODO DE MÓDULO DE FINURA CONCRETO CON 70Kg/m<sup>3</sup> DE FIBRA

#### 1.- DATOS

Resistencia a compresión =  $f_c = 280.00 \text{ kg/cm}^2$

Características de los materiales:

Tipo de cemento =

Cemento Pacasmayo Tipo Ico

Cemento Peso específico =

2.96 gr/cm<sup>2</sup>

Agua Potable

Agregados : Características	A. FINO	A. GRUESO
Peso específico de Masa =	2.61 gr/cm <sup>3</sup>	2.54 gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco suelto=	1632.21 kg/m <sup>3</sup>	1551.13 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado=	1763.82 kg/m <sup>3</sup>	1668.18 kg/m <sup>3</sup>
Peso específico superficialmente seco=	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	2.56 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura =	3.24	6.88
Contenido de Humedad =	4.61 %	1.47 %
Absorción =	1.70 %	1.11 %
Partículas menores a #200 =	3.67 %	
Perfil =	Redondeado	Angular
T.M.N =	-----	1/2
Abrasión =	-----	

Cordenadas de la cantera: 9208957m N 779906m E

#### 2.- SELECCIÓN DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA

$$f_{cr} = f_c \cdot 1.2$$

Por lo tanto =  $f_{cr} = 336.00 \text{ kg/cm}^2$

#### 3.- SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO

TMN =

#### 4.- SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

SLUMP

#### 5.- SELECCIÓN DEL VOLUMEN UNITARIO DEL AGUA DE MEZCLADO

Agua de mezclado

Nueva agua de mezclado

Contenido de aire atrapado =

Según el TMN y el slump elegido para el diseño

#### 6.- SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

##### 6.1 - POR RESISTENCIA SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C

De la tabla 1.10, se tiene:

$$50.00 \left\{ \begin{array}{l} 350.00 \\ 336.00 \\ 300.00 \end{array} \right\} 14.00 \quad -0.07 \left\{ \begin{array}{l} 0.48 \\ A/C \\ 0.55 \end{array} \right\} 0.48-A/C$$

$$\frac{50.00}{-0.07} = \frac{14.00}{0.48-A/C}$$

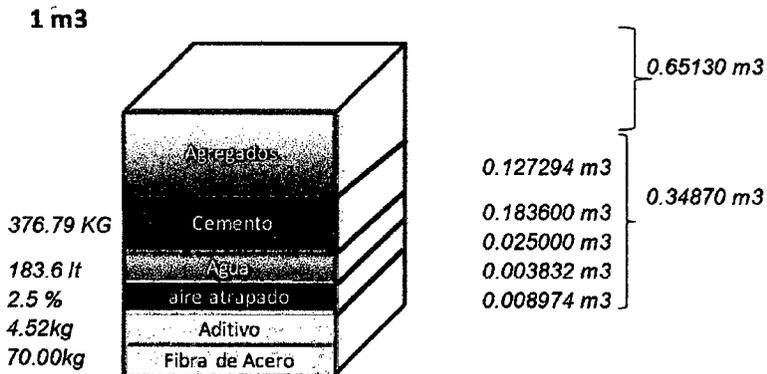
$$0.48-A/C = -0.020$$

Calculada con el metodo de Powers

##### 6.2 - SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C =

### 6.3 - SELECCIÓN DEL FACTOR CEMENTO

$$\begin{aligned} A/C &= 0.487 \\ A &= 183.60 \text{ lt} \\ C &= 376.79 \text{ KG} \end{aligned}$$



### 7.- DISEÑO POR MÉTODO DE COMBINACIÓN DE AGREGADOS

$$\begin{aligned} \text{Módulo de finura A. Fino (mf)} &= 3.24 \\ \text{Módulo de finura A. Grueso (mg)} &= 6.88 \\ \text{Nº Bolsas} = \text{Peso cemento (C)} / 42.5 &= 8.87 \end{aligned}$$

De la tabla 1.11, se tiene:

$$\begin{aligned} & \begin{matrix} \text{Nº Bolsas} \\ 8.00 \\ 8.87 \\ 9.00 \end{matrix} \left. \begin{matrix} -1.00 \\ -0.87 \\ -0.08 \end{matrix} \right\} \begin{matrix} mc \\ 4.61 \\ mc \\ 4.69 \end{matrix} \quad mc-4.69 \\ \\ & \frac{-1.00}{-0.08} = \frac{-0.87}{mc-4.69} \\ \\ & mc-4.69 = -0.069 \\ \\ & \boxed{mc = 4.68} \end{aligned}$$

$$\% \text{ Volumen absoluto del agregado fino.} = r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \cdot 100$$

Del 100% de los agregados

	$r_f =$	60.5 %	
	$r_f =$	60.5 %	
⇒ Volumen absoluto del A. Fino =	0.394 m <sup>3</sup>	0.335 m <sup>3</sup>	Nuevos valores corregidos por sobregavosa
⇒ Volumen abs. del A. Grueso =	0.257 m <sup>3</sup>	0.317 m <sup>3</sup>	
⇒ Peso seco absoluto del A. Fino =	<b>888.06 KG</b>	51.4 %	Nuevos porcentajes de los agregados
⇒ Peso seco abs. del A. Grueso =	<b>811.41 KG</b>	48.6 %	

### 8.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES

#### 8.1- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN PESO

$$P_p = \frac{376.79}{376.79} : \frac{P_{af}}{376.79} : \frac{P_{ag}}{376.79}$$

Peso húmedo del agregado:

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 928.98 \text{ KG} \quad : \text{ Peso húmedo del A. Fino}$$

$$\gamma_h = \gamma_s \left(1 + \frac{w}{100}\right) = 823.36 \text{ KG} \quad : \text{ Peso húmedo del A. Grueso}$$

**Proporciones en peso:**

$$Pp = \frac{376.79}{376.79} : \frac{928.98}{376.79} : \frac{823.36}{376.79}$$

$$Pp = 1.00 : 2.47 : 2.19$$

20.71 lt    mezcla  
20.65 lt    efectiva  
70.00kg de Fibra

**8.2.- DETERMINAR LAS PROPORCIONES EN VOLUMEN**

$$P_v = \frac{P_p * 42.5}{P_{ush}}$$

Pv: Proporción en volumen.  
Pp: Proporción en peso.  
Push: Peso unitario suelto húmedo.  
Puss: Peso unitario seco suelto.

$$P_{ush} = (P_{uss}) \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

Push = 48.35 kg/pie3    Agregado Fino.

Push = 44.57 kg/pie3    Agregado Grueso.

$$Pv = \frac{42.5 \text{ kg}}{1 \text{ pie}^3} : \frac{Pp * 42.5}{Push} : \frac{Pp * 42.5}{Push}$$

$$Pv = \frac{1.00}{1.00} : \frac{104.78}{48.35} : \frac{92.87}{44.57}$$

$$Pv = 1.00 : 2.17 : 2.08$$

20.71 lt    mezcla  
20.65 lt    efectiva  
70.00kg de Fibra

**9.- DETERMINAR EL AGUA EFECTIVA**

$$A_{efectiva} = \text{Agua mezcla} \cdot \frac{(W-abs) * P_{saf}}{100} - \frac{(W-abs) * P_{sag}}{100}$$

Aefectiva : Agua efectiva.  
W: contenido de humedad del agregado fino ó agregado grueso.  
abs: absorción del agregado fino ó agregado grueso.  
Psaf : Proporción en peso seco del agregado fino.  
Psag : Proporción en peso seco del agregado grueso.

$$A_{efectiva} = 20.7090979299512 - (4.61 - 1.7) * 888.06 / 100 - (1.47 - 1.11) * 811.41 / 100$$

Aefectiva = 20.65 lt                    (en la proporción)  
Aefectiva = 159.62 lt                (mezcla)  
154.82 lt

**10.- DETERMINAR EL % DE VACIOS METODO GRAVIMETRICO**

% de agregados = 0.651 m3

Volumen abs. agregado fino:  $V_{abs AF} = 0.335 \text{ m}^3$                     888.06 kg

Volumen abs. agregado gueso:  $V_{abs AG} = 0.317 \text{ m}^3$                     811.41 kg

Volumen abs. Agua:  $V_{abs Agua} = 0.184 \text{ m}^3$                     183.60lt

Volumen abs. Cemento:  $V_{abs Cem} = 0.127 \text{ m}^3$                     376.79 kg

Volumen abs. Fibra:  $V_{abs Fib} = 0.009 \text{ m}^3$                     70.00 kg

Peso Unitario del C° Fresco= 2363.31 kg/m3                    2329.86                    Vol. Abs. 0.97

$$P_{em}(\text{mezcla}) = \frac{P_{secoAF} + P_{secoAG} + P_{cem} + P_{fibra} + P_{agua}}{\sum Vol_{abs}(AF + AG + Cem + fibra + Agua)}$$

$$P_{em}(\text{mezcla}) = 2399.03 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{vacios} = \frac{P_{esp}(\text{mezcla}) - P_{unit.}(\text{mezcla})}{P_{esp}(\text{mezcla})} * 100$$

$$\% \text{vacios} = 1.489\%$$

Nota:

- El método de diseño de mezcla combinación de agregados, es el que presenta menor % de vacíos.
- El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado.
- El módulo de finura está en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

### 11.- CANTIDAD DE MATERIALES POR M3

⇒ Peso seco absoluto del A. Fino =	888.06 KG
⇒ Peso seco abs. del A. Grueso =	811.41 KG
⇒ Peso de cemento =	376.79 KG
⇒ Peso agua de mezcla =	183.60 KG
⇒ Peso de Fibra =	70.00 KG
⇒ Peso Aditivo	4.52 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2334.38 KG

### CORRECCIÓN POR HUMEDAD

⇒ Peso húmedo absoluto del A. Fino =	928.98 KG
⇒ Peso húmedo abs. del A. Grueso =	823.36 KG
⇒ Peso de cemento =	376.79 KG
⇒ Peso agua efectiva =	154.82 KG
⇒ Peso de Fibra =	70.00 KG
⇒ Peso Aditivo	4.52 KG

CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 2358.48 KG

### 12.- MATERIALES PARA 3 ESPECIMENES CILINDRICOS (Vol=0.02m<sup>3</sup>) y PRISMATICOS (Vol=0.04m<sup>3</sup>)

	MUESTRAS CILINDRICAS	MUESTRAS PRISMATICAS
Cemento	= 7.54 kg	13.99 kg
A. Fino. H	= 18.58 kg	18.58 kg
A. Grueso. H	= 16.47 kg	16.47 kg
Agua Efectiva	= 3.10 lt	3.10 lt
Aditivo	= 0.090 kg	0.168 kg
Fibra	= 1.400 kg	2.60 kg

### 13.- CALCULO DEL RENDIMIENTO DE LA MEZCLA

$$RENDIMIENTO = \frac{PESO DE COLADA}{P.UNITARIO DEL CONCRETO}$$

$$PESO COLADA = 47.17 \text{ kg}$$

$$P. Unit. = 2363.31 \text{ kg/m}^3$$

$$R = 0.019959102$$

$$\text{Aire atrapado} = \frac{\text{Rendimiento} - \sum Vol. Abs}{\text{Rendimiento}} \times 100 \quad \text{Vol. Abs.} = 0.01951652$$

$$\text{Aire atrapado} = 2.22\%$$

7.9 Anexo IX resultados de los ensayos en laboratorio.

CUADRO DE RESISTENCIAS DE TODAS LOS ENSAYOS					
DESCRIPCIÓN / IDENTIFICACIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	LECTURAS A FLEXIÓN		RESISTENCIA A FLEXIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	1 <sup>a</sup>	Rotura	1 <sup>a</sup>	Rotura
		FISURA		FISURA	
T-01-P-01 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,100.00	4,280.00	41.33	57.07
T-01-P-02 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,250.00	4,430.00	43.33	59.07
T-01-P-03 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	2,960.00	4,190.00	39.47	55.87
T-01-P-04 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,300.00	4,880.00	44.00	65.07
T-01-P-05 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,250.00	4,540.00	43.33	60.53
T-01-P-06 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	2,950.00	4,180.00	39.33	55.73
T-01-P-07 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,200.00	4,360.00	42.67	58.13
T-01-P-08 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	2,920.00	4,280.00	38.93	57.07
T-01-P-09 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,320.00	4,790.00	44.27	63.87
T-01-P-10 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,290.00	4,520.00	43.87	60.27
T-01-P-11 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,380.00	4,615.00	45.07	61.53
T-01-P-12 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	2,910.00	4,270.00	38.80	56.93
T-01-P-13 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	2,970.00	4,200.00	39.60	56.00
T-01-P-14 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,300.00	4,880.00	44.00	65.07
T-01-P-15 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	2,950.00	4,180.00	39.33	55.73
T-02-P-01 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	2,880.00	2,880.00	38.40	38.40
T-02-P-02 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,120.00	3,120.00	41.60	41.60
T-02-P-03 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,200.00	3,200.00	42.67	42.67
T-02-P-04 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,240.00	3,240.00	43.20	43.20
T-02-P-05 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,100.00	3,100.00	41.33	41.33
T-02-P-06 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	2,946.00	2,946.00	39.28	39.28
T-02-P-07 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,315.00	3,315.00	44.20	44.20
T-02-P-08 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	2,980.00	2,980.00	39.73	39.73
T-02-P-09 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,050.00	3,050.00	40.67	40.67
T-02-P-10 (0 kg/m <sup>3</sup> )	279.21	3,220.00	3,220.00	42.93	42.93
T-03-P-01 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,500.00	5,100.00	46.67	68.00
T-03-P-02 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,650.00	5,000.00	48.67	66.67
T-03-P-03 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,155.00	4,555.00	42.07	60.73
T-03-P-04 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,220.00	4,620.00	42.93	61.60
T-03-P-05 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,410.00	4,730.00	45.47	63.07
T-03-P-06 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,250.00	4,550.00	43.33	60.67
T-03-P-07 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,740.00	5,340.00	49.87	71.20

T-03-P-08 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,230.00	4,480.00	43.07	59.73
T-03-P-09 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,330.00	4,380.00	44.40	58.40
T-03-P-10 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,250.00	4,580.00	43.33	61.07
T-03-P-11 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,210.00	4,600.00	42.80	61.33
T-03-P-12 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,520.00	5,150.00	46.93	68.67
T-03-P-13 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,450.00	4,730.00	46.00	63.07
T-03-P-14 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,360.00	4,400.00	44.80	58.67
T-03-P-15 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,420.00	4,690.00	45.60	62.53
T-04-P-01 (30 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,500.00	4,800.00	46.67	64.00
T-04-P-02 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,580.00	5,780.00	47.73	77.07
T-04-P-03 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,750.00	6,195.00	50.00	82.60
T-04-P-04 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,360.00	5,260.00	44.80	70.13
T-04-P-05 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,175.00	5,260.00	42.33	70.13
T-04-P-06 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,390.00	5,690.00	45.20	75.87
T-04-P-07 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,800.00	6,100.00	50.67	81.33
T-04-P-08 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,620.00	6,070.00	48.27	80.93
T-04-P-09 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,475.00	5,475.00	46.33	73.00
T-04-P-10 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,540.00	6,040.00	47.20	80.53
T-04-P-11 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,750.00	6,195.00	50.00	82.60
T-04-P-12 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,620.00	6,070.00	48.27	80.93
T-04-P-13 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,360.00	5,260.00	44.80	70.13
T-04-P-14 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,540.00	6,040.00	47.20	80.53
T-04-P-15 (50 kg/m <sup>3</sup> )	293.17	3,475.00	5,475.00	46.33	73.00
T-05-P-01 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,565.00	5,965.00	47.53	79.53
T-05-P-02 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,250.00	5,450.00	43.33	72.67
T-05-P-03 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,540.00	6,090.00	47.20	81.20
T-05-P-04 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,560.00	6,210.00	47.47	82.80
T-05-P-05 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,500.00	5,800.00	46.67	77.33
T-05-P-06 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,500.00	5,800.00	46.67	77.33
T-05-P-07 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,200.00	5,650.00	42.67	75.33
T-05-P-08 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,650.00	6,050.00	48.67	80.67
T-05-P-09 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,720.00	6,120.00	49.60	81.60
T-05-P-10 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,450.00	5,850.00	46.00	78.00
T-05-P-11 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,560.00	5,960.00	47.47	79.47
T-05-P-12 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,680.00	6,080.00	49.07	81.07
T-05-P-13 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,820.00	6,220.00	50.93	82.93
T-05-P-14 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,510.00	5,910.00	46.80	78.80
T-05-P-15 (50 kg/m <sup>3</sup> )	298.75	3,630.00	6,130.00	48.40	81.73
T-06-P-01 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	4,310.00	6,910.00	57.47	92.13

T-06-P-02 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,620.00	6,500.00	48.27	86.67
T-06-P-03 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,750.00	6,370.00	50.00	84.93
T-06-P-04 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	4,380.00	7,280.00	58.40	97.07
T-06-P-05 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,440.00	6,350.00	45.87	84.67
T-06-P-06 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,600.00	6,050.00	48.00	80.67
T-06-P-07 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,550.00	5,850.00	47.33	78.00
T-06-P-08 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	4,580.00	7,000.00	61.07	93.33
T-06-P-09 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	4,380.00	7,280.00	58.40	97.07
T-06-P-10 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,440.00	6,430.00	45.87	85.73
T-06-P-11 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,600.00	6,050.00	48.00	80.67
T-06-P-12 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,550.00	5,850.00	47.33	78.00
T-06-P-13 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	4,580.00	7,000.00	61.07	93.33
T-06-P-14 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	4,380.00	7,280.00	58.40	97.07
T-06-P-15 (70 kg/m <sup>3</sup> )	287.58	3,440.00	6,430.00	45.87	85.73
T-07-P-01 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,270.00	6,890.00	56.93	91.87
T-07-P-02 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,565.00	7,525.00	60.87	100.33
T-07-P-03 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	3,700.00	6,600.00	49.33	88.00
T-07-P-04 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,900.00	7,400.00	65.33	98.67
T-07-P-05 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,500.00	7,900.00	60.00	105.33
T-07-P-06 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,050.00	6,900.00	54.00	92.00
T-07-P-07 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	3,740.00	6,440.00	49.87	85.87
T-07-P-08 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	3,900.00	6,650.00	52.00	88.67
T-07-P-09 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,280.00	6,900.00	57.07	92.00
T-07-P-10 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,555.00	7,535.00	60.73	100.47
T-07-P-11 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	3,710.00	6,610.00	49.47	88.13
T-07-P-12 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,890.00	7,390.00	65.20	98.53
T-07-P-13 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,510.00	6,450.00	60.13	86.00
T-07-P-14 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	4,040.00	6,660.00	53.87	88.80
T-07-P-15 (70 kg/m <sup>3</sup> )	346.22	3,750.00	6,660.00	50.00	88.80

## 7.10 Anexo X gráficos de esfuerzo vs deformación de los especímenes de concreto ensayados.

### 7.10.1 Ensayo a compresión para la muestra sin fibra de acero.

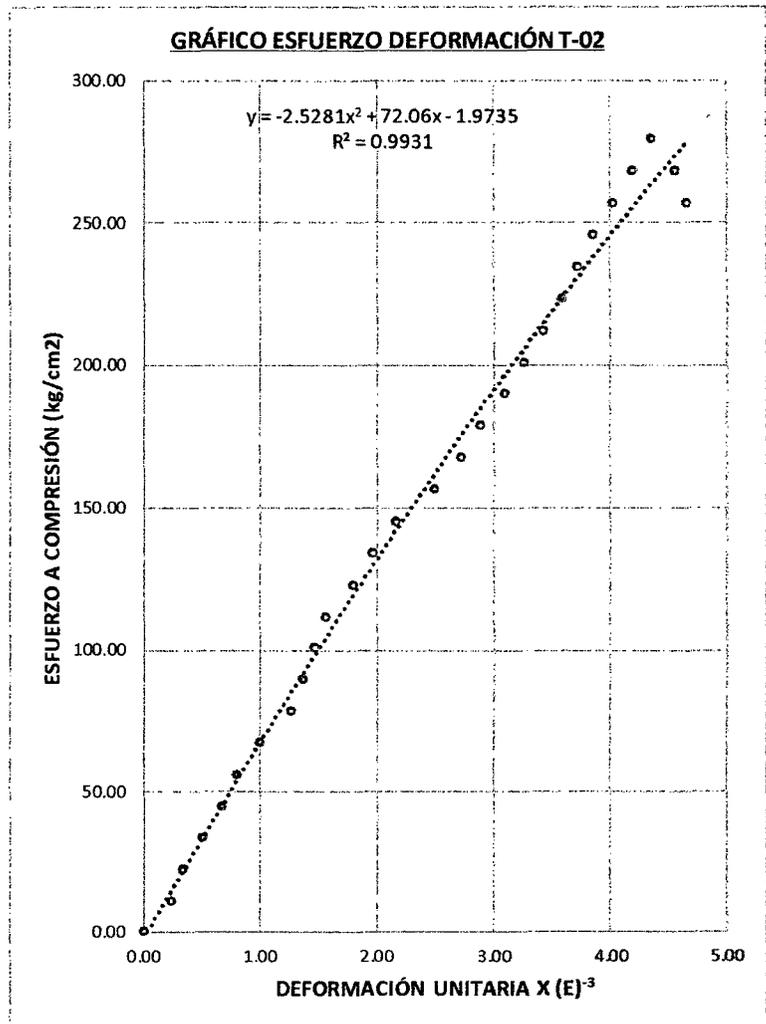
#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipo SIN FIBRA  
 Cód T-02 Edad: 28 días  
 A= 179.08 cm2  
 L= 301.00 mm

$$\text{Esfuerzo corr} = Y = -2,5281X^2 + 72,06X - 1,9735$$

Carga Tn	Def. mm	Def.Unit. *1000	Esf. kg/cm2	Esf. Corr.
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.07	0.23	11.17	14.65
4.00	0.10	0.33	22.34	21.69
6.00	0.15	0.50	33.50	33.31
8.00	0.20	0.66	44.67	44.79
10.00	0.24	0.80	55.84	53.88
12.00	0.30	1.00	67.01	67.34
14.00	0.38	1.26	78.18	84.97
16.00	0.41	1.36	89.35	91.49
18.00	0.44	1.46	100.51	97.96
20.00	0.47	1.56	111.68	104.38
22.00	0.54	1.79	122.85	119.17
24.00	0.59	1.96	134.02	129.56
26.00	0.65	2.16	145.19	141.85
28.00	0.75	2.49	156.36	161.88
30.00	0.82	2.72	167.52	175.57
32.00	0.87	2.89	178.69	185.19
34.00	0.93	3.09	189.86	196.54
36.00	0.98	3.26	201.03	205.84
38.00	1.03	3.42	212.20	215.01
40.00	1.08	3.59	223.37	224.03
42.00	1.12	3.72	234.53	231.15
44.00	1.16	3.85	245.70	238.19
46.00	1.21	4.02	256.87	246.85
48.00	1.26	4.19	268.04	255.37
50.00	1.31	4.35	279.21	263.76
48.00	1.37	4.55	268.04	273.63
46.00	1.40	4.65	256.87	278.50

Ec. Esf.  $Y = -2,5281X^2 + 72,06X - 1,9735$   
 Coef. de correlación (i) 0.9931  
 Def. de rotura unitaria\*1000 4.352159  
 Esf. de rotura (Kg/cm2) 263.7576  
 Mód. elast. (kg/cm2) 250466.4  
 M. elast. Gráf. (kg/cm2) 186776.1



## 7.10.2 Ensayo a compresión usando 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

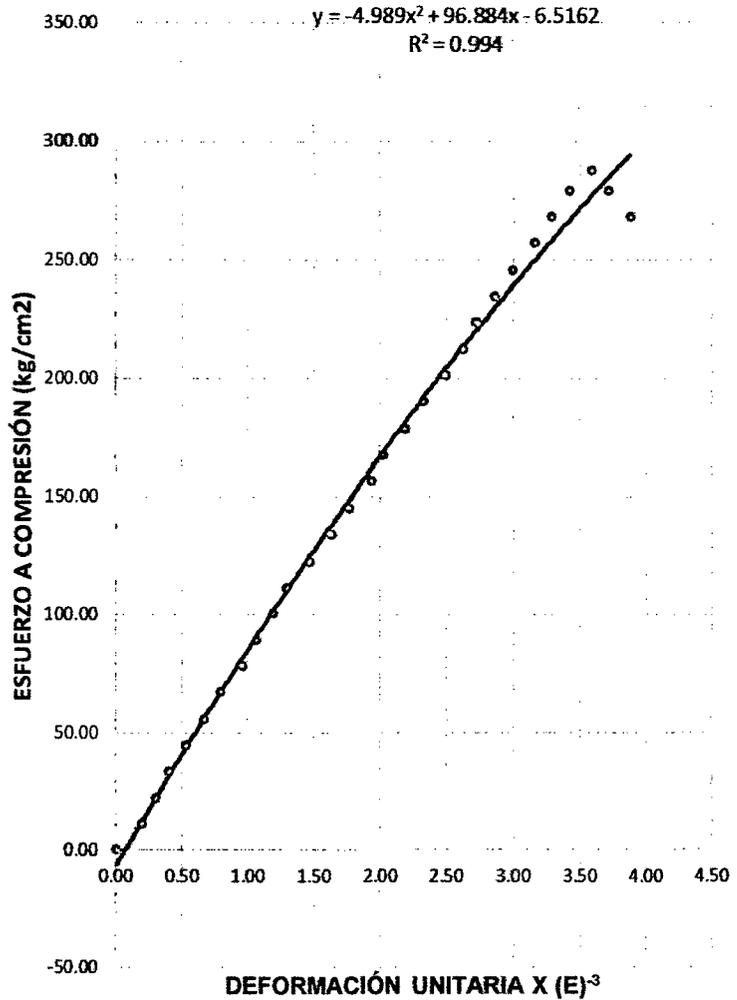
Tipo 30 kg/m<sup>3</sup>  
 Cód T-06 Edad: 28 días  
 A= 179.08 cm<sup>2</sup>  
 L= 301.00 mm

Carga Tn	Def. mm	Def. Unit. *1000	Esf. kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corr.
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.06	0.20	11.17	12.60
4.00	0.09	0.30	22.34	22.01
6.00	0.12	0.40	33.50	31.32
8.00	0.16	0.53	44.67	43.57
10.00	0.20	0.66	55.84	55.66
12.00	0.24	0.80	67.01	67.56
14.00	0.29	0.96	78.18	82.20
16.00	0.32	1.06	89.35	90.84
18.00	0.36	1.20	100.51	102.22
20.00	0.39	1.30	111.68	110.64
22.00	0.44	1.46	122.85	124.45
24.00	0.49	1.63	134.02	137.98
26.00	0.53	1.76	145.19	148.61
28.00	0.58	1.93	156.36	161.65
30.00	0.61	2.03	167.52	169.34
32.00	0.66	2.19	178.69	181.93
34.00	0.70	2.33	189.86	191.81
36.00	0.75	2.49	201.03	203.91
38.00	0.79	2.62	212.20	213.40
40.00	0.82	2.72	223.37	220.39
42.00	0.86	2.86	234.53	229.57
44.00	0.90	2.99	245.70	238.57
46.00	0.95	3.16	256.87	249.57
48.00	0.99	3.29	268.04	258.17
50.00	1.03	3.42	279.21	266.59
51.50	1.08	3.59	287.58	276.88
50.00	1.12	3.72	279.21	284.91
48.00	1.17	3.89	268.04	294.70

Ec. Esf.  $Y = -4.989X^2 + 96.884X - 6.5162$   
 Coef. de correlación (i) 0.9928  
 Def. de rotura unitaria\*1000 3.58804  
 Esf. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 276.8789  
 Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 249737.2  
 M. elast. Gráf. (kg/cm<sup>2</sup>) 186069.6

$$\text{Esfuerzo corr} = Y = -4.989X^2 + 96.884X - 6.5162$$

**GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN T-06**



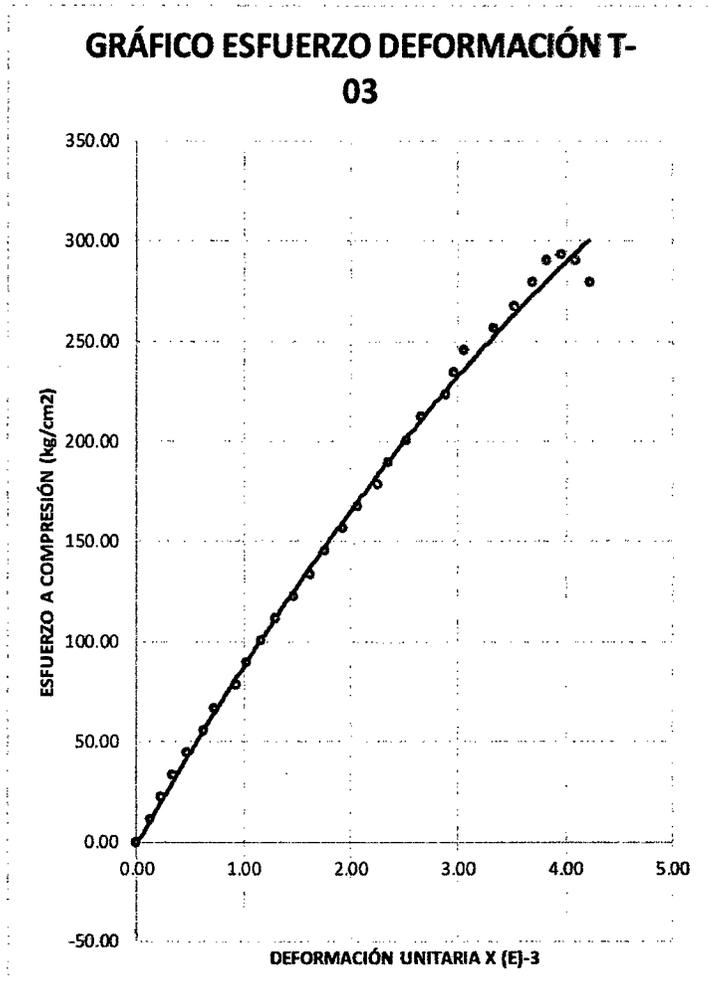
### 7.10.3 Ensayo a compresión usando 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipo 50 kg/m<sup>3</sup>  
 Cód T-03 Edad: 28 días  
 A= 179.08 cm<sup>2</sup>  
 L= 301.00 mm

$$\text{Esfuerzo corr} = Y = -5,2763X^2 + 93,703X - 0,7221$$

Carga Tn	Def. mm	Def.Unit. *1000	Esf. kg/cm <sup>2</sup>	Esf. Corr.
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.04	0.13	11.17	11.64
4.00	0.07	0.23	22.34	20.78
6.00	0.10	0.33	33.50	29.83
8.00	0.14	0.47	44.67	41.72
10.00	0.19	0.63	55.84	56.32
12.00	0.22	0.73	67.01	64.95
14.00	0.28	0.93	78.18	81.88
16.00	0.31	1.03	89.35	90.19
18.00	0.35	1.16	100.51	101.10
20.00	0.39	1.30	111.68	111.83
22.00	0.44	1.46	122.85	124.98
24.00	0.49	1.63	134.02	137.84
26.00	0.53	1.76	145.19	147.91
28.00	0.58	1.93	156.36	160.24
30.00	0.62	2.06	167.52	169.90
32.00	0.68	2.26	178.69	184.04
34.00	0.71	2.36	189.86	190.95
36.00	0.76	2.52	201.03	202.23
38.00	0.80	2.66	212.20	211.05
40.00	0.87	2.89	223.37	226.03
42.00	0.89	2.96	234.53	230.21
44.00	0.92	3.06	245.70	236.39
46.00	1.00	3.32	256.87	252.35
48.00	1.06	3.52	268.04	263.83
50.00	1.11	3.69	279.21	273.07
52.00	1.15	3.82	290.38	280.26
52.50	1.19	3.95	293.17	287.26
52.00	1.23	4.09	290.38	294.08
50.00	1.27	4.22	279.21	300.71



Ec. Esf.  $Y = -5,2763X^2 + 93,703X - 0,7221$   
 Coef. de correlación (i) 0.9964  
 Def. de rotura unitaria\*1000 3.953488  
 Esf. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 287.2627  
 Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 254377.1  
 M. elast. Gráf. (kg/cm<sup>2</sup>) 183553.4

### 7.10.4 Ensayo a compresión usando 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

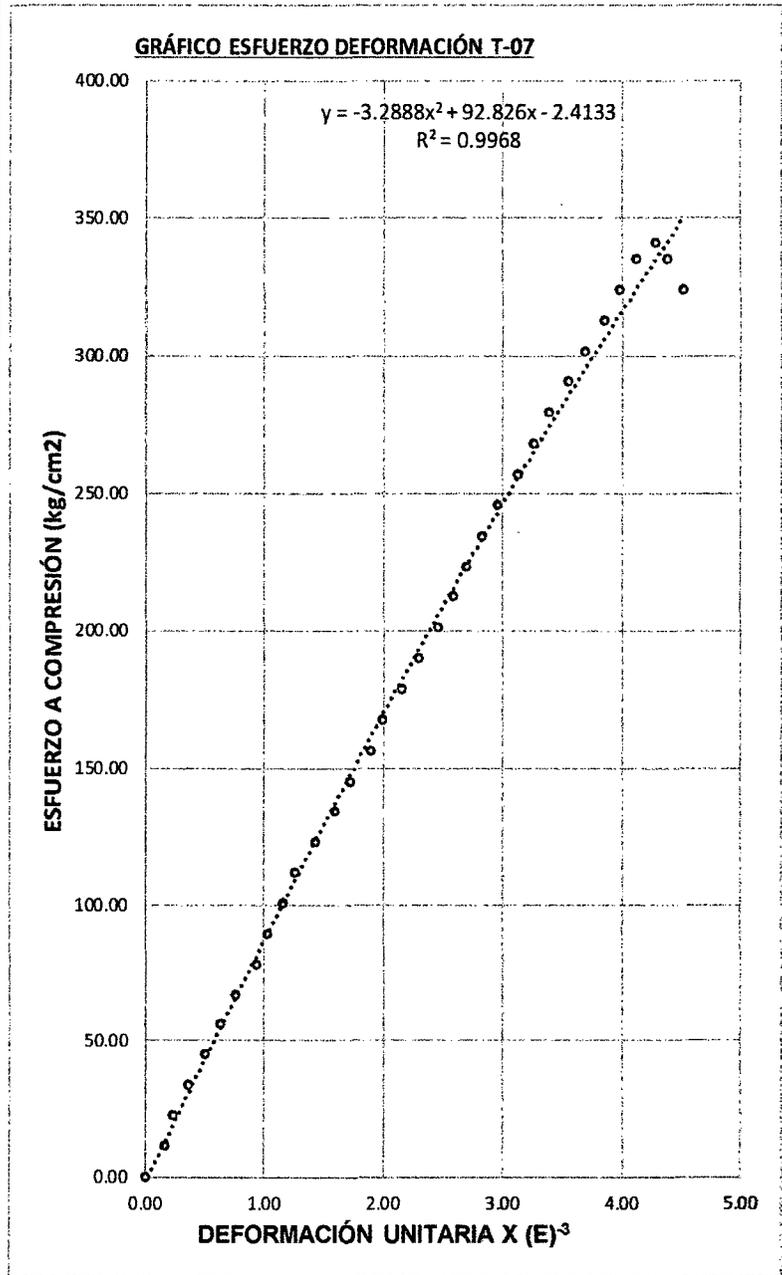
#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipo 70 kg/m<sup>3</sup>  
 Cód T-07 Edad: 28 días  
 A = 179.08 cm<sup>2</sup>  
 L = 301.00 mm

Esfuerzo corr=  $Y = -3,2888X^2 + 92,826X - 2,4133$

Carga	Def	Def/Unit	Esf	Esf
Tn	mm	*1000	Kg/cm <sup>2</sup>	Cor.
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.05	0.17	11.17	12.92
4.00	0.07	0.23	22.34	19.00
6.00	0.11	0.37	33.50	31.07
8.00	0.15	0.50	44.67	43.03
10.00	0.19	0.63	55.84	54.87
12.00	0.23	0.76	67.01	66.60
14.00	0.28	0.93	78.18	81.09
16.00	0.31	1.03	89.35	89.70
18.00	0.35	1.16	100.51	101.08
20.00	0.38	1.26	111.68	109.53
22.00	0.43	1.43	122.85	123.48
24.00	0.48	1.59	134.02	137.25
26.00	0.52	1.73	145.19	148.14
28.00	0.57	1.89	156.36	161.58
30.00	0.60	1.99	167.52	169.55
32.00	0.65	2.16	178.69	182.70
34.00	0.69	2.29	189.86	193.09
36.00	0.74	2.46	201.03	205.92
38.00	0.78	2.59	212.20	216.05
40.00	0.81	2.69	223.37	223.57
42.00	0.85	2.82	234.53	233.49
44.00	0.89	2.96	245.70	243.30
46.00	0.94	3.12	256.87	255.40
48.00	0.98	3.26	268.04	264.95
50.00	1.02	3.39	279.21	274.38
52.00	1.07	3.55	290.38	286.01
54.00	1.11	3.69	301.54	295.18
56.00	1.16	3.85	312.71	306.48
58.00	1.20	3.99	323.88	315.39
60.00	1.24	4.12	335.05	324.18
60.00	1.32	4.39	335.05	341.42
58.00	1.36	4.52	323.88	349.86

Ec. Esf.  $Y = -3,2888X^2 + 92,826X - 2,4133$   
 Coef. de correlación (i) 0.9968  
 Def. de rotura unitaria\*1000 4.285714  
 Esf. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 335.0059  
 Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 274703.7  
 M. elast. Gráf. (kg/cm<sup>2</sup>) 194125.9



## 7.10.5 Ensayo a flexión para la muestra sin fibra de acero.

### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tipo SIN FIBRA

Cód T-02 Edad: 28 días

D.carga 15.00 cm

L= 45.00 cm

Carga Kg	Defle. mm	Rf. kg/cm <sup>2</sup>	Rf. Corr.
0.00	0.0	0.00	-0.02
100.00	0.1	1.33	1.00
200.00	0.1	2.67	2.43
300.00	0.2	4.00	3.84
400.00	0.3	5.33	5.25
500.00	0.3	6.67	6.65
600.00	0.4	8.00	8.04
700.00	0.5	9.33	9.42
800.00	0.5	10.67	10.80
900.00	0.6	12.00	12.16
1000.00	0.7	13.33	13.52
1100.00	0.8	14.67	14.88
1200.00	0.8	16.00	16.22
1300.00	0.9	17.33	17.56
1400.00	1.0	18.67	18.89
1500.00	1.0	20.00	20.21
1600.00	1.1	21.33	21.53
1700.00	1.2	22.67	22.83
1800.00	1.2	24.00	24.13
1900.00	1.3	25.33	25.43
2000.00	1.4	26.67	26.71
2100.00	1.5	28.00	27.99
2200.00	1.5	29.33	29.26
2300.00	1.6	30.67	30.52
2400.00	1.7	32.00	31.77
2500.00	1.7	33.33	33.02
2600.00	1.8	34.67	34.26
2700.00	1.9	36.00	35.49
2800.00	1.9	37.33	36.71
2900.00	2.0	38.67	37.93
3000.00	2.1	40.00	39.13
3100.00	2.2	41.33	40.33
3200.00	2.22	42.67	41.53
3200.00	2.2	42.67	41.53
3200.00	2.2	42.67	41.53

Ec. Esf.  $Y = -0,7784X^2 + 20,441X - 0,0157$

Coef. de correlación (r) 0.9975

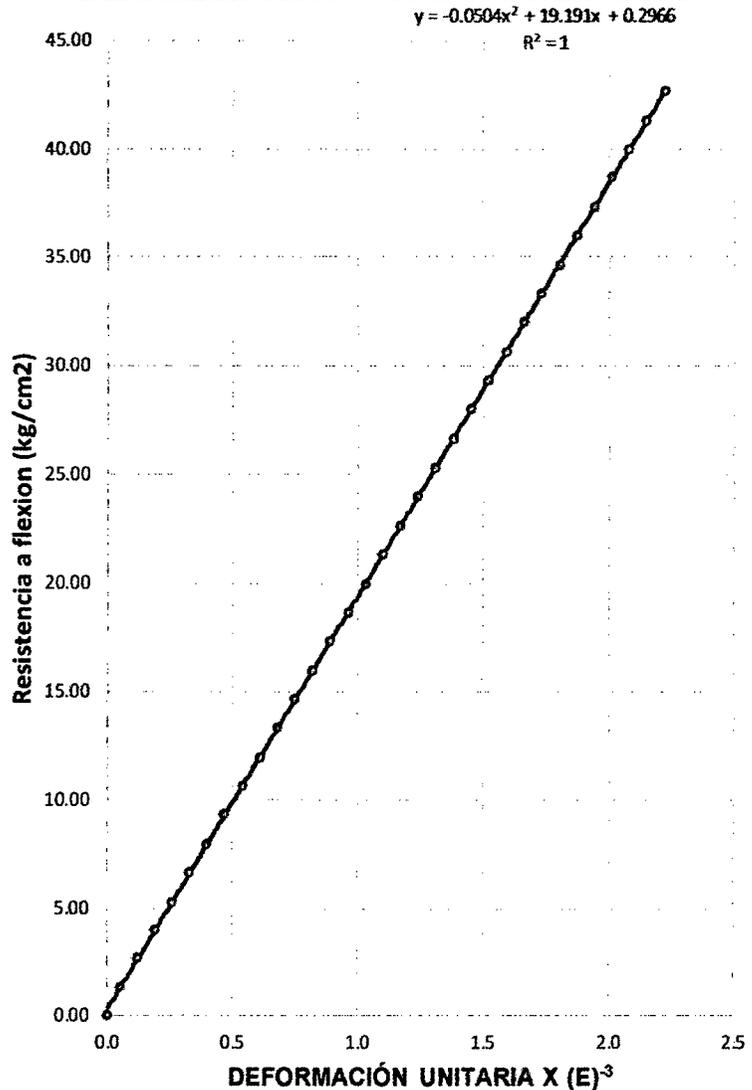
Res. a primera fisura (Kg/cm<sup>2</sup>) 241.527053

Res. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 41.527053

Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 24553.126

Esfuerzo corr=  $Y = -0,7784X^2 + 20,441X - 0,0157$

Grafico esfuerzo a flexion vs deflexion con ASTM C-1609



## 7.10.6 Ensayo a flexión usando 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

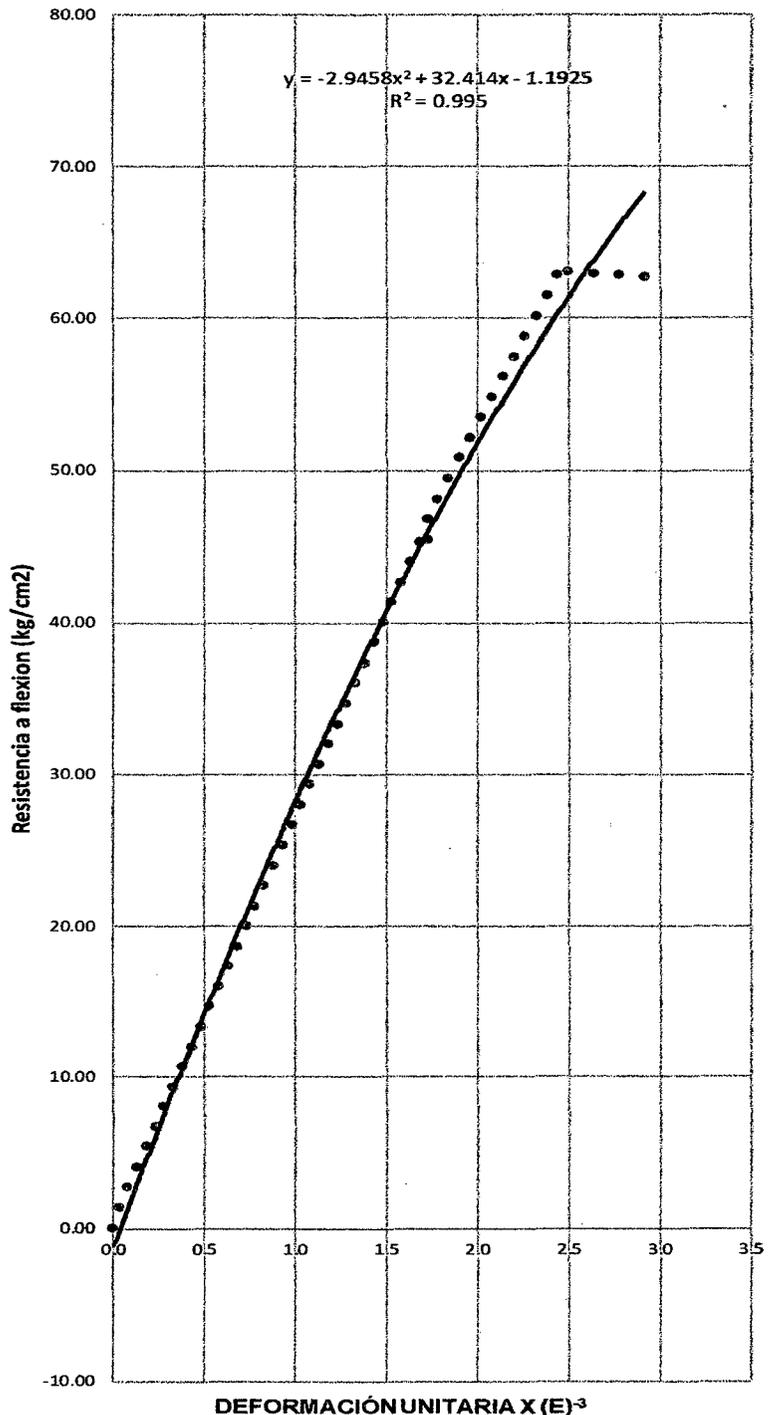
### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tipo 30 kg/m<sup>3</sup>  
 Cód T-03 Edad: 28 días  
 D.carga 15.00 cm  
 L = 45.00 cm

Carga	Defle.	Rf.	Rf.
Kg	mm	kg/cm <sup>2</sup>	Corr.
0.00	0.0	0.00	0.00
100.00	0.0	1.33	0.98
200.00	0.1	2.67	2.63
300.00	0.1	4.00	4.25
400.00	0.2	5.33	5.85
500.00	0.2	6.67	7.44
600.00	0.3	8.00	9.01
700.00	0.3	9.33	10.57
800.00	0.4	10.67	12.11
900.00	0.4	12.00	13.63
1000.00	0.5	13.33	15.14
1100.00	0.5	14.67	16.63
1200.00	0.6	16.00	18.10
1300.00	0.6	17.33	19.56
1400.00	0.7	18.67	21.00
1500.00	0.7	20.00	22.43
1600.00	0.8	21.33	23.83
1700.00	0.8	22.67	25.23
1800.00	0.9	24.00	26.60
1900.00	0.9	25.33	27.96
2000.00	1.0	26.67	29.30
2100.00	1.0	28.00	30.63
2200.00	1.1	29.33	31.94
2300.00	1.1	30.67	33.24
2400.00	1.2	32.00	34.51
2500.00	1.2	33.33	35.77
2600.00	1.3	34.67	37.02
2700.00	1.3	36.00	38.25
2800.00	1.4	37.33	39.46
2900.00	1.4	38.67	40.65
3000.00	1.5	40.00	41.83
3100.00	1.5	41.33	43.00
3200.00	1.6	42.67	44.14
3300.00	1.6	44.00	45.27
3400.00	1.7	45.33	46.39
3410.00	1.73	45.47	47.49
3510.00	1.7	46.80	47.49
3610.00	1.8	48.13	48.57
3710.00	1.8	49.47	49.84
3810.00	1.9	50.80	51.09
3910.00	2.0	52.13	52.32
4010.00	2.0	53.47	53.53
4110.00	2.1	54.80	54.71
4210.00	2.1	56.13	55.87
4310.00	2.2	57.47	57.00
4410.00	2.3	58.80	58.11
4510.00	2.3	60.13	59.20
4610.00	2.4	61.47	60.26
4710.00	2.4	62.80	61.30
4730.00	2.50	63.07	62.32
4720.00	2.6	62.93	64.60
4710.00	2.8	62.80	66.75
4700.00	2.9	62.67	68.78

$$\text{Esfuerzo corr} = Y = -3,2728X^2 + 33,11X - 1,4147$$

Grafico esfuerzo a flexion vs deflexion con ASTM C-1609



Ec. Esf.  $Y = -3,2728X^2 + 33,11X - 1,4147$   
 Coef. de correlación (i) 0.9929  
 Res. a primera fisura (Kg/cm<sup>2</sup>) 47.485137  
 Res. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 63.066667  
 Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 26933.792

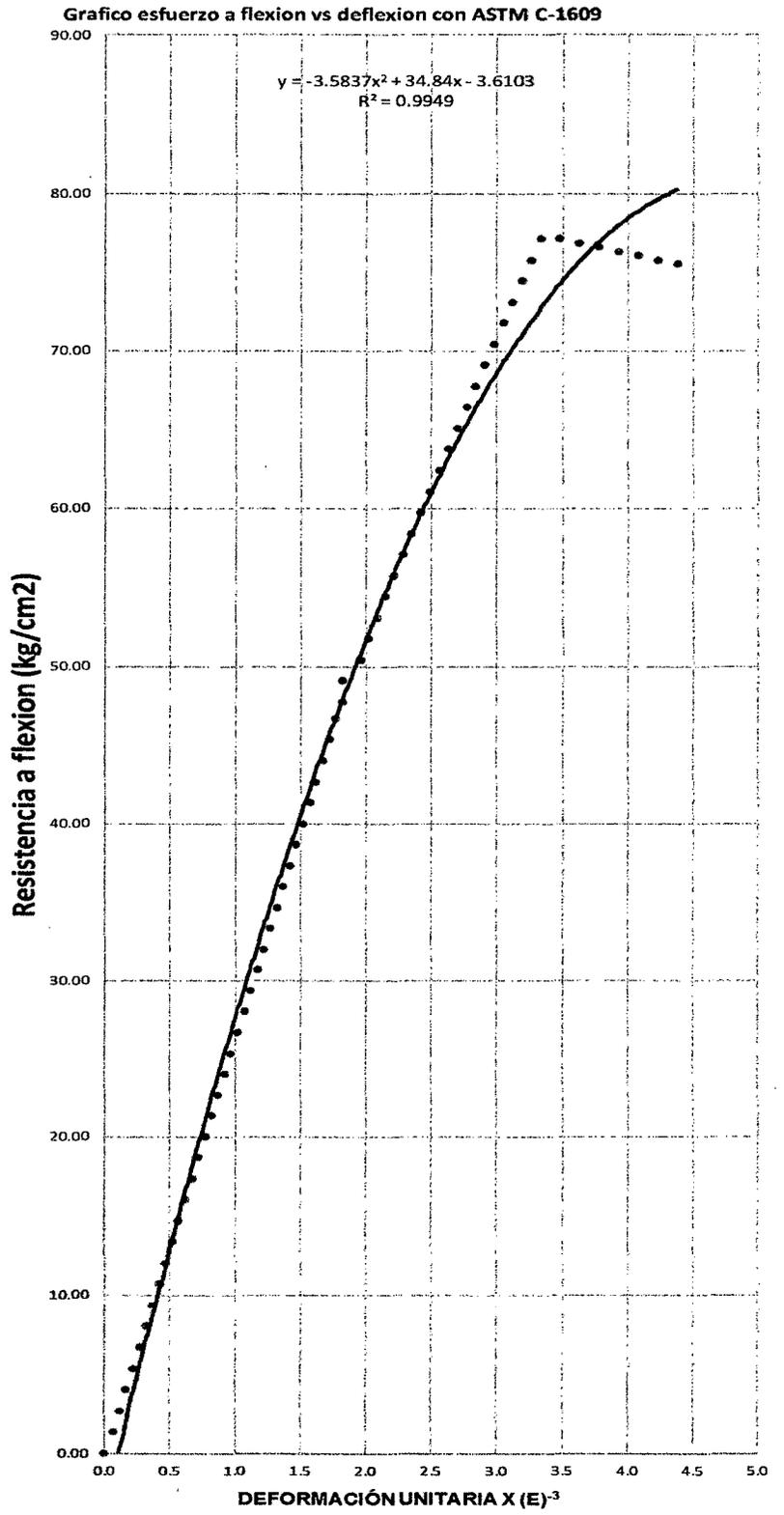
## 7.10.7 Ensayo a flexión usando 50 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tipo 50 kg/m<sup>3</sup>  
 Cód T-04 Edad: 28 días  
 D.carga 15.00 cm  
 L = 45.00 cm

$$\text{Esfuerzo corr} = Y = -3,5837X^2 + 34,84X - 3,6103$$

Carga Kg	Defle. mm	Rf. kg/cm <sup>2</sup>	Rf. Corr.
0.00	0.0	0.00	0.00
100.00	0.1	1.33	2.42
200.00	0.1	2.67	4.13
300.00	0.2	4.00	5.82
400.00	0.2	5.33	7.49
500.00	0.3	6.67	9.15
600.00	0.3	8.00	10.78
700.00	0.4	9.33	12.40
800.00	0.4	10.67	14.00
900.00	0.5	12.00	15.58
1000.00	0.5	13.33	17.15
1100.00	0.6	14.67	18.69
1200.00	0.6	16.00	20.22
1300.00	0.7	17.33	21.73
1400.00	0.7	18.67	23.23
1500.00	0.8	20.00	24.70
1600.00	0.8	21.33	26.16
1700.00	0.9	22.67	27.60
1800.00	0.9	24.00	29.02
1900.00	1.0	25.33	30.42
2000.00	1.0	26.67	31.81
2100.00	1.1	28.00	33.18
2200.00	1.1	29.33	34.53
2300.00	1.2	30.67	35.86
2400.00	1.2	32.00	37.17
2500.00	1.3	33.33	38.47
2600.00	1.3	34.67	39.74
2700.00	1.4	36.00	41.00
2800.00	1.4	37.33	42.25
2900.00	1.5	38.67	43.47
3000.00	1.5	40.00	44.68
3100.00	1.6	41.33	45.87
3200.00	1.6	42.67	47.04
3300.00	1.7	44.00	48.19
3400.00	1.7	45.33	49.32
3500.00	1.8	46.67	50.44
3580.00	1.82	47.73	51.54
3680.00	1.8	49.07	51.54
3780.00	2.0	50.40	54.52
3880.00	2.0	51.73	55.75
3980.00	2.1	53.07	57.16
4080.00	2.2	54.40	58.34
4180.00	2.2	55.73	59.49
4280.00	2.3	57.07	60.81
4380.00	2.4	58.40	62.08
4480.00	2.4	59.73	63.33
4580.00	2.5	61.07	64.53
4680.00	2.6	62.40	65.70
4780.00	2.6	63.73	66.84
4880.00	2.7	65.07	67.94
4980.00	2.8	66.40	69.01
5080.00	2.8	67.73	70.04
5180.00	2.9	69.07	71.04
5280.00	3.0	70.40	72.00
5380.00	3.1	71.73	72.92
5480.00	3.1	73.07	73.82
5580.00	3.2	74.40	74.67
5680.00	3.3	75.73	75.49
5780.00	3.3	77.07	76.29
5780	3.5	77.07	77.84
5760	3.6	76.80	79.25
5740	3.8	76.53	80.49
5720	3.9	76.27	81.57
5700	4.1	76.00	82.49
5680	4.2	75.73	83.25
5660	4.4	75.47	83.85



$Y = -3,5837X^2 + 34,84X - 3,6103$   
 Coef. de correlación (r) 0.9949  
 Res. a primera fisura (Kg/cm<sup>2</sup>) 51.538152  
 Res. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 77.066667  
 Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 27202.51

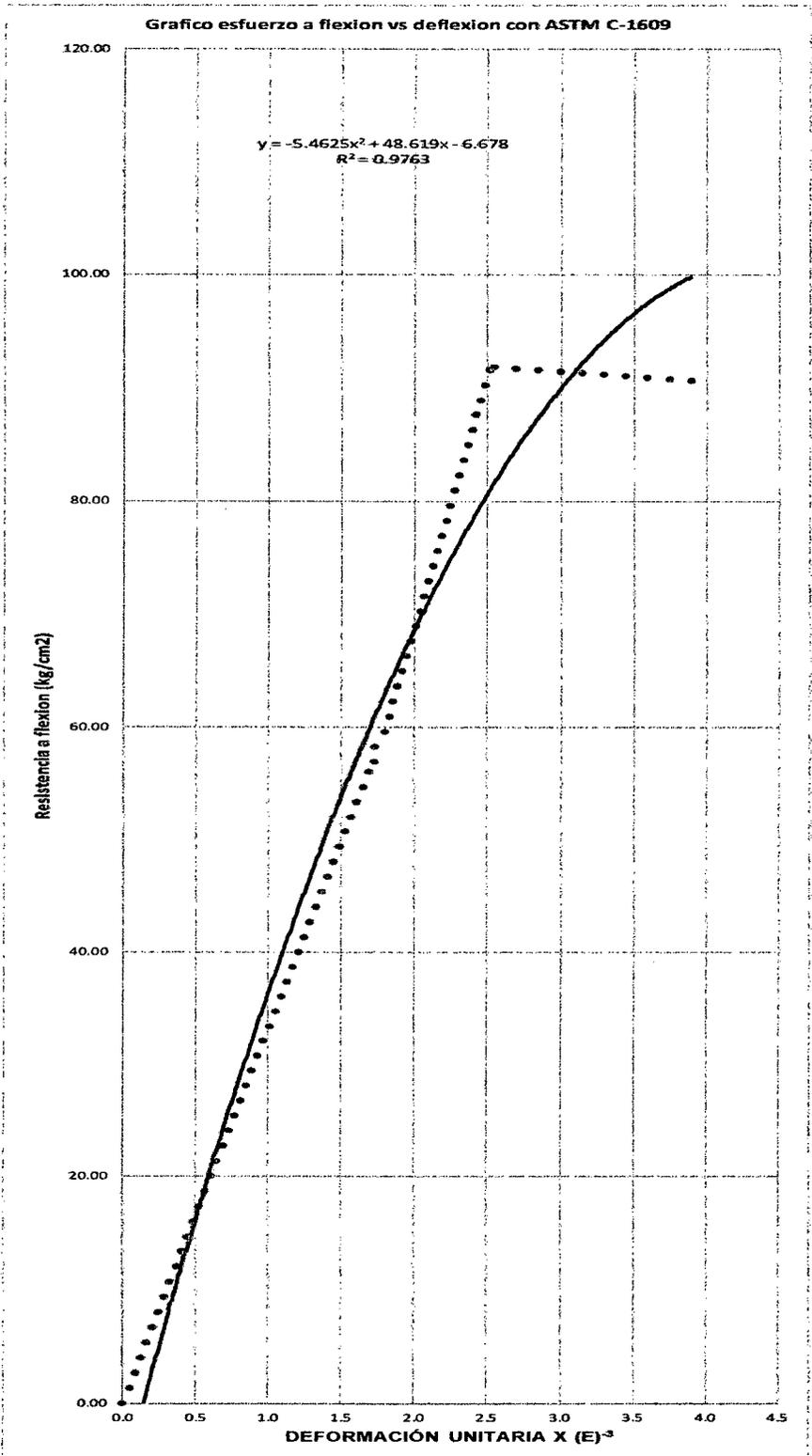
### 7.10.8 Ensayo a flexión usando 70 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero.

#### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Tipo 70 kg/m<sup>3</sup>  
 Cód T-07 Edad: 28 días  
 D.carga 15.00 cm  
 L = 45.00 cm

Esfuerzo corr=  $Y=-5,4625X^2+48,619X-6,678$

Carga Kg	Defle. mm	Rf. kg/cm <sup>2</sup>	Rf. Corr.
0.00	0.0	0.00	0.00
100.00	0.1	1.33	2.42
200.00	0.1	2.67	4.33
300.00	0.1	4.00	6.23
400.00	0.2	5.33	8.11
500.00	0.2	6.67	9.97
600.00	0.3	8.00	11.81
700.00	0.3	9.33	13.64
800.00	0.3	10.67	15.45
900.00	0.4	12.00	17.24
1000.00	0.4	13.33	19.02
1100.00	0.5	14.67	20.77
1200.00	0.5	16.00	22.51
1300.00	0.5	17.33	24.23
1400.00	0.6	18.67	25.94
1500.00	0.6	20.00	27.62
1600.00	0.7	21.33	29.29
1700.00	0.7	22.67	30.95
1800.00	0.7	24.00	32.58
1900.00	0.8	25.33	34.20
2000.00	0.8	26.67	35.80
2100.00	0.9	28.00	37.38
2200.00	0.9	29.33	38.94
2300.00	0.9	30.67	40.49
2400.00	1.0	32.00	42.02
2500.00	1.0	33.33	43.53
2600.00	1.1	34.67	45.03
2700.00	1.1	36.00	46.50
2800.00	1.1	37.33	47.96
2900.00	1.2	38.67	49.41
3000.00	1.2	40.00	50.83
3100.00	1.3	41.33	52.24
3200.00	1.3	42.67	53.63
3300.00	1.3	44.00	55.00
3400.00	1.4	45.33	56.36
3500.00	1.4	46.67	57.69
3600.00	1.5	48.00	59.01
3700.00	1.5	49.33	60.32
3800.00	1.5	50.67	61.60
3900.00	1.6	52.00	62.87
4000.00	1.6	53.33	64.12
4100.00	1.7	54.67	65.35
4200.00	1.7	56.00	66.56
4270.00	1.73	56.93	67.76
4370.00	1.7	58.27	67.76
4470.00	1.8	59.60	69.82
4570.00	1.8	60.93	70.68
4670.00	1.9	62.27	71.53
4770.00	1.9	63.60	72.38
4870.00	1.9	64.93	73.21
4970.00	2.0	66.27	74.04
5070.00	2.0	67.60	74.85
5170.00	2.0	68.93	75.66
5270.00	2.0	70.27	76.45
5370.00	2.1	71.60	77.24
5470.00	2.1	72.93	78.01
5570.00	2.1	74.27	78.78
5670.00	2.2	75.60	79.53
5770.00	2.2	76.93	80.28
5870.00	2.2	78.27	81.01
5970.00	2.3	79.60	81.74
6070.00	2.3	80.93	82.46
6170.00	2.3	82.27	83.16
6270.00	2.3	83.60	83.86
6370.00	2.4	84.93	84.54
6470.00	2.4	86.27	85.22
6570.00	2.4	87.60	85.89
6670.00	2.5	88.93	86.55
6770.00	2.5	90.27	87.19
6870.00	2.5	91.60	87.83
6970.00	2.6	92.93	88.46
6970.00	2.7	91.73	91.45
6870.00	2.9	91.60	94.19
6860.00	3.0	91.47	96.69
6850.00	3.2	91.33	98.95
6840.00	3.3	91.20	100.96
6830.00	3.5	91.07	102.72
6820.00	3.6	90.93	104.23
6810.00	3.8	90.80	105.50
6800.00	3.9	90.67	106.53



Y=-5,4625X<sup>2</sup>+48,619X-6,678  
 Coef. de correlación (r) 0.9736  
 Res. a primera fisura(Kg/cm<sup>2</sup>) 67.762  
 Res. de rotura (Kg/cm<sup>2</sup>) 91.867  
 Mód. elast. (kg/cm<sup>2</sup>) 27554.333

7.11 Anexo XII panel fotográfico.

7.11.1 Ensayos de los agregados.

7.11.1.1 Análisis granulométrico de los agregados (granulometría).



*Ilustración 1. Juego de tamices normalizados para el agregado fino realizando el tamizado.*

7.11.1.2 Peso específico y absorción.



*Ilustración 2. Secado de muestras y preparación.*



*Ilustración 3. Saturado de muestras*

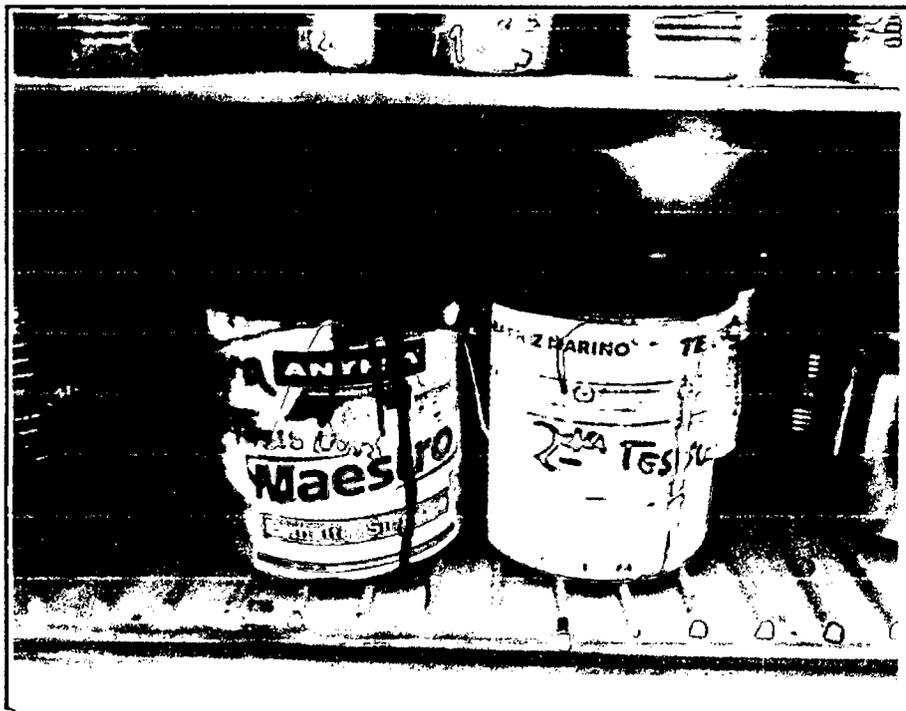


*Ilustración 4. Proceso de ensayo*



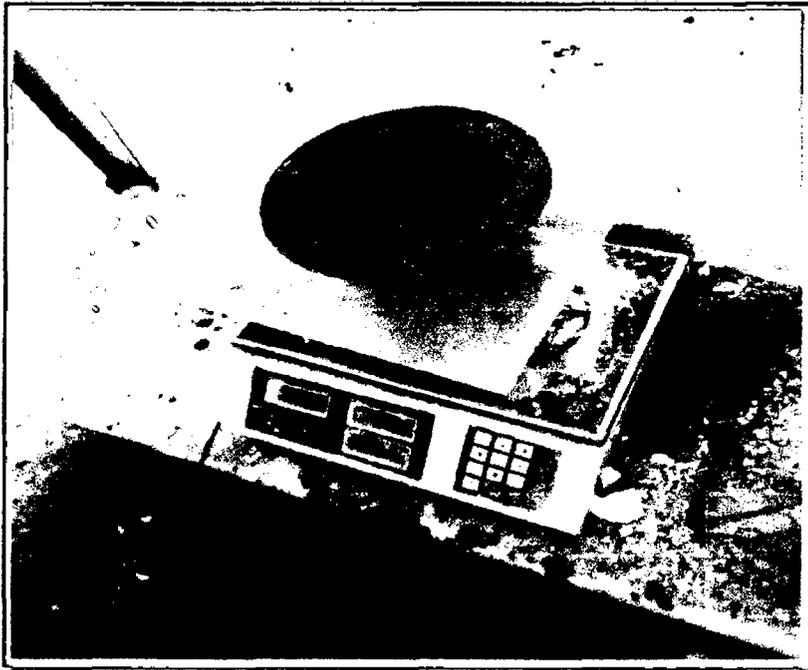
*Ilustración 5. Retirando las burbujas de aire atrapadas en el volumen de agregado.*

7.11.1.3 Contenido de humedad.



*Ilustración 6. Secado de la muestra de agregado fino y grueso.*

7.11.1.4      **Peso unitario.**



*Ilustración 7. Cálculo del peso unitario suelto y seco.*

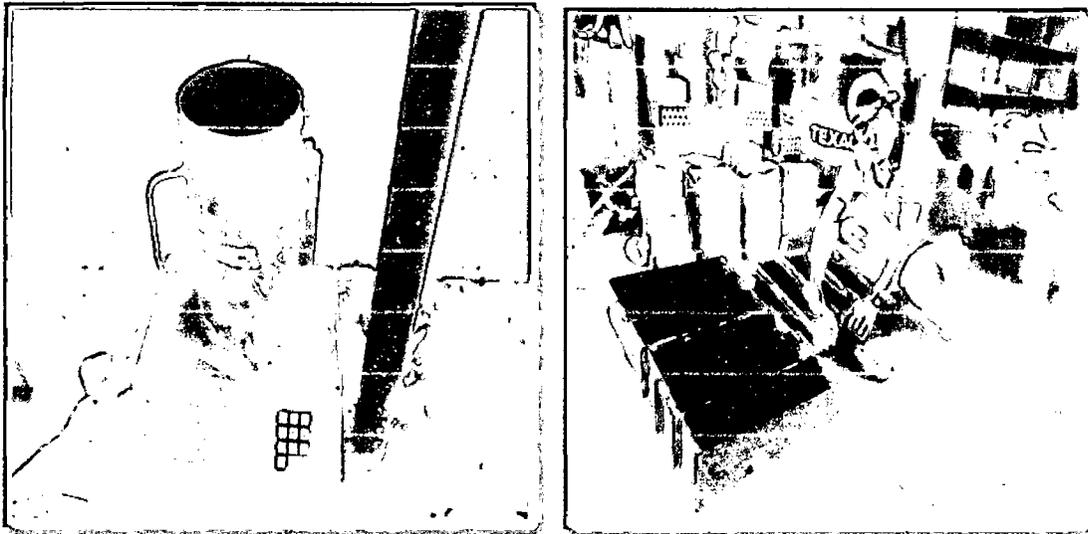
7.11.1.5      **Abrasión.**



*Ilustración 8. Preparación y ensayo de las muestras de agregado.*

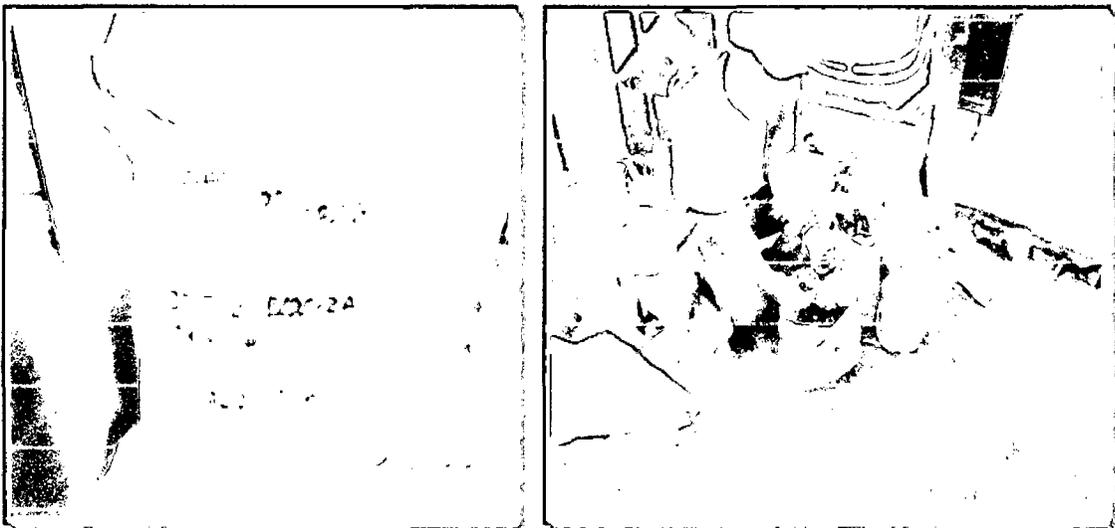
7.11.2 Preparación, curado y roturas de los testigos realizados en laboratorio.

7.11.2.1 Preparación de moldes cilíndricos y prismáticos.- esto consta de limpiar adecuadamente la superficie de los moldes y pasar aceite o grasa con el fin de que el encofrado no se adhiera al concreto, esto se realizaba cada día antes de empezar a preparar la mezcla de concreto.



*Ilustración 9. Preparación de moldes Cilíndricos y Prismáticos.*

7.11.2.2 Pesado de los componentes del concreto.



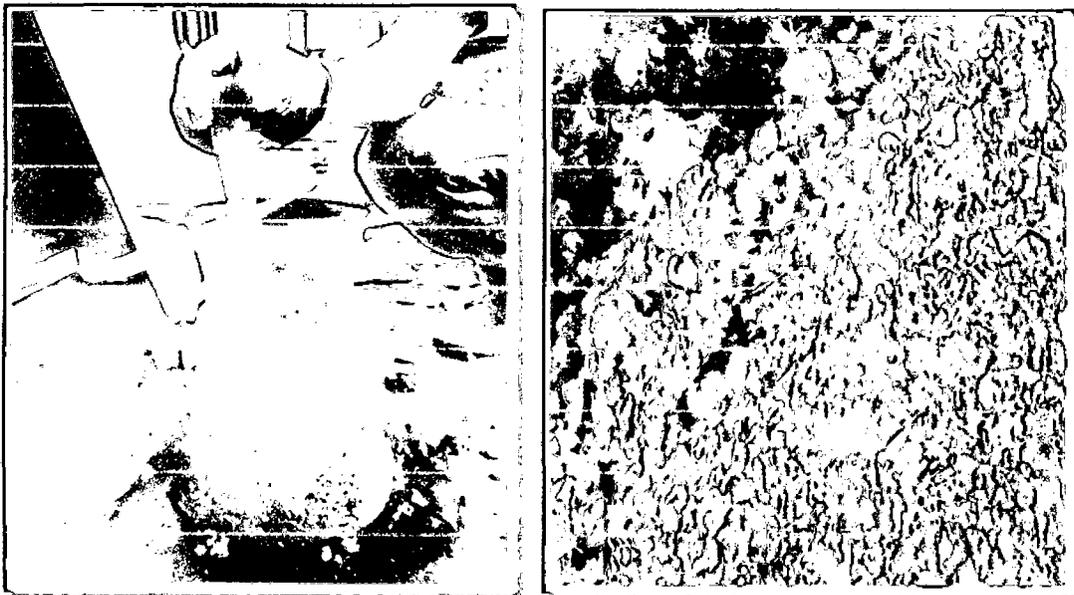
*Ilustración 10. Presentación de la fibra utilizada.*

7.11.2.3 Preparación de las tandas de concreto.



*Ilustración 11. Preparación de la mezcladora y la apariencia homogénea de la mezcla lograda en todos los ensayos realizados.*

7.11.3 Ensayos en estado fresco.

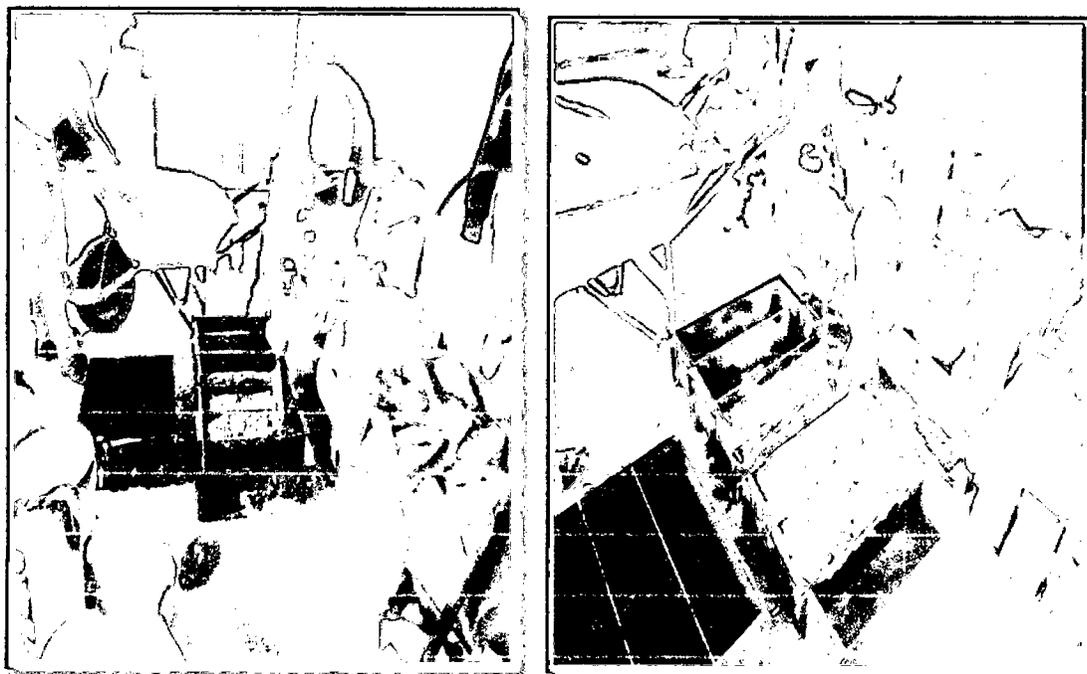


*Ilustración 12. Se mide el SLUMP o asentamiento de la mezcla destacando la homogeneidad que se consigue con la aplicación de la fibra junto con los agregados y la mezcla total.*

### 7.11.3.1 Encofrado o moldeado de los especímenes.



*Ilustración 13. Se muestra la consistencia del concreto así como el encofrado del mismo.*



*Ilustración 14. Compactado de las probetas prismáticas.*

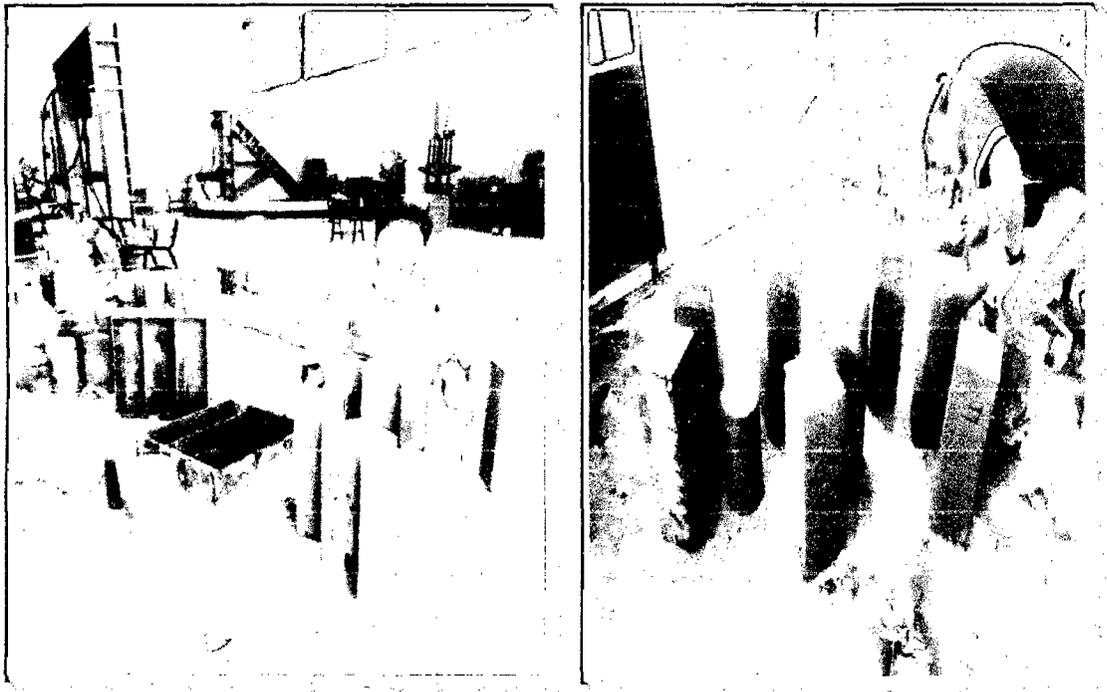


*Ilustración 15. Compactado de las probetas prismáticas y cilíndricas.*

7.11.3.2 Desencofrado.



*Ilustración 16. Esto se realizó luego de transcurridas 24 horas aproximadamente para lo cual era necesario haberlas habilitado los moldes adecuadamente para obtener muestras muy uniformes en todas sus medidas.*



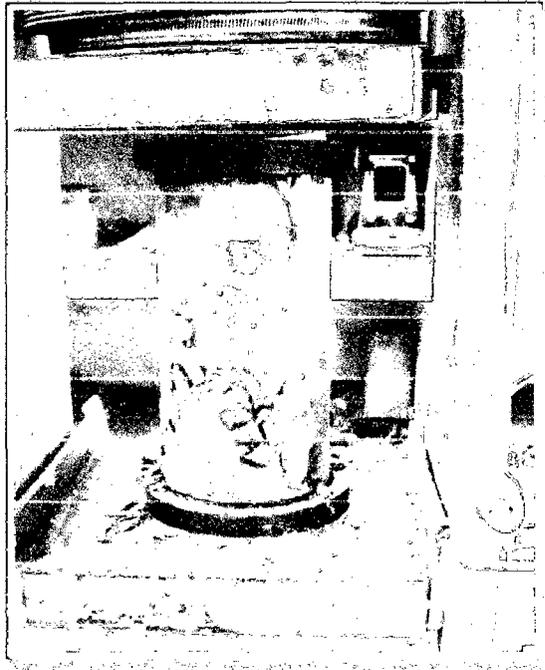
*Ilustración 17. Etiquetado de probetas y muestra de la calidad y la exactitud prismática que se obtuvieron.*

#### 7.11.3.3 Curado.



*Ilustración 18. Se realizó el curado en una poza habilitada para este propósito, así se tuvieron sumergidas durante 28 días por conveniencia y para la veracidad de los resultados.*

#### 7.11.3.4 Ensayos



*Ilustración 19. Por cada día de elaboración de probetas prismáticas, también se hicieron probetas cilíndricas para así contrastar los resultados y tener una relación entre el esfuerzo a compresión y de flexión.*



*Ilustración 20. Fallas típicas que se obtuvieron para  $30 \text{ kg/m}^3$ .*



*Ilustración 21. Fallas típicas que se obtuvieron para 50 kg/m<sup>3</sup>.*



*Ilustración 22. Fallas típicas que se obtuvieron para 70 kg/m<sup>3</sup>.*

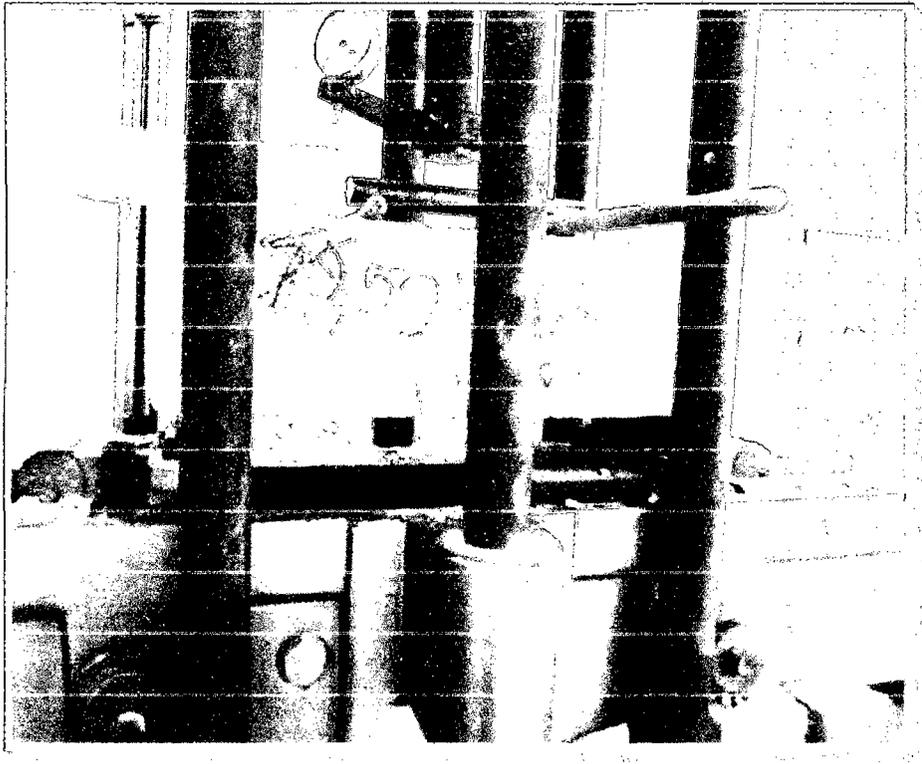
7.11.3.5 Preparación y ensayos de los elementos prismáticos.



*Ilustración 23. Fallas típicas que se obtuvieron para la muestra patrón 0 kg/m<sup>3</sup>.*



*Ilustración 24. Fallas típicas que se obtuvieron para la muestra patrón 30 kg/m<sup>3</sup>.*



*Ilustración 25. Fallas típicas que se obtuvieron para la muestra patrón 50 kg/m<sup>3</sup>.*



*Ilustración 26. Fallas típicas que se obtuvieron para las probetas de 70 kg/m<sup>3</sup>.*



*Ilustración 27.- Todas las probetas ensayadas fallaron en el tercio central las cuales son válidas según ASTM C-1609*