



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$ Y UN CONCRETO $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$ ADICIONADO CON 0.6 KG/M^3 Y 1.0 KG/M^3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019.”

Presentado por

Br. Angelino Alagón Danae Sosamin

Para optar al título profesional de

Ingeniero Civil

Asesor

Ing. Heiner Soto Florez

CUSCO – PERÚ

2019





Dedicatoria

Dedico mi tesis a mis padres, Carola y Germán, a mi hermano Gabriel, a mi esposo Cristhian y en especial a mi hijo Stefano Alejandro por ser la motivación y la fuerza para lograr mis metas.

Agradecimientos

Agradecer a Dios en primer lugar por las bendiciones brindadas en todo momento.

A mis padres y hermano; Germán, Carola y Gabriel; por su apoyo, comprensión, dedicación y desprendimiento en toda mi vida universitaria, fue gracias a ello que hoy puedo iniciar mi vida profesional.

A mi esposo Cristhian, por su apoyo y compañía en todo momento de la elaboración de esta investigación.



Resumen

El objetivo principal de esta investigación es analizar y comparar los valores de ductilidad entre un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado de 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas Sikafiber, para lo cual se elaboró probetas cilíndricas sometidas a los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad a los 28 días de edad, según las normas ASTM C39 Y ASTM C469 respectivamente.

Para calcular la ductilidad de estos tipos de concreto fue necesario comparar la curva de esfuerzo – deformación elaborada en el procesamiento de datos del ensayo de módulo de elasticidad con el modelo planteado por Kent y Park.

Al final de la investigación se concluye que las variables analizadas de los concretos añadidos con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas aumentan sus valores frente a un concreto patrón de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, teniendo los siguientes resultados: El ensayo de resistencia a la compresión, presenta en la primera dosificación de fibras sintéticas un incremento de 7.41%, la segunda dosificación un incremento de 14.81% frente a un concreto patrón; el ensayo de módulo de elasticidad incrementa 4.23 %, en la primera dosificación de fibras, 12.66% en la segunda dosificación frente a un concreto patrón; por último, los valores calculados de la ductilidad para la primera dosificación aumenta en 28.14% y para la segunda dosificación en un 55.58% frente a un concreto patrón, siendo estos valores resultantes favorables en el diseño de edificaciones de concreto.

Palabras clave: Ductilidad, módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, fibras sintéticas Sikafiber.



Abstract

The main objective of this research is to analyze and compare the ductility values between a concrete pattern $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$ and a concrete $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$ added of 0.6 kg / m^3 and 1.0 kg / m^3 of fibers Synthetic Sikafiber, for which cylindrical specimens were prepared, subjected to the tests of compressive strength and modulus of elasticity at 28 days of age, according to the ASTM C39 and ASTM C469 standards respectively.

To calculate the ductility of these types of concrete it was necessary to compare the stress - strain curve developed in the data processing of the modulus of elasticity test with the model proposed by Kent and Park.

At the end of the investigation it is concluded that the analyzed variables of the concrete added with 0.6 kg / m^3 and 1.0 kg / m^3 of synthetic fibers increase their values against a concrete design pattern $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$, having the following results: The test of resistance to compression, presents in the first dosage of synthetic fibers an increase of 7.41%, the second dosage an increase of 14.81% against a concrete pattern; the modulus of elasticity test increases 4.23%, in the first dosage of fibers, 12.60% in the second dosage against a concrete standard; finally, the calculated ductility values for the first dosage increase by 28.14% and for the second dosage by 55.58% versus a concrete standard, these resulting favorable values are in the design of concrete buildings.

Key words: Ductility, modulus of elasticity, resistance to compression, Sikafiber synthetic fibers.



Introducción

El hormigón o concreto desde la antigüedad, ha sido conocido por su fragilidad, la cual es responsable en ocasiones de fallas catastróficas de estructuras. Se han hecho muchos intentos por modificar el concreto, de modo que pueda tomar una carga de tensión, actualmente, la modificación más efectiva ha sido la introducción de fibras a la mezcla de concreto que ha dado como resultado reforzar las características convencionales de este.

El mayor desafío en el concreto ha sido producir uno que retenga las propiedades benéficas del concreto convencional, tales como la alta resistencia a compresión, la durabilidad y al mismo tiempo el producto final posea ductilidad, de modo que ocurra fluencia en lugar de fractura, cuando el concreto esté sobrecargado.

En la presente investigación tenemos como objetivo general “Analizar comparativamente los valores de ductilidad entre un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas”. Para el desarrollo de esta investigación se trabajó con cemento Frontera IP, agua potable, fibras sintéticas Sikafiber, agregados de la cantera del río Apurímac, distrito de Coporaque, provincia de Espinar, a su vez se realizó los ensayos necesarios según nuestra Norma Técnica Peruana para la obtención de la dosificación del concreto según el diseño de mezclas ACI 211.

Esta investigación tiene como contenido el planteamiento y la descripción del problema; el marco teórico donde se detalla los conceptos pertinentes para la elaboración de la misma; la metodología de investigación donde se detalla el proceso de la investigación como la población y muestra, instrumentos, procedimientos y análisis de recolección de datos; resultados del análisis de datos; conclusiones, discusiones y recomendaciones concernientes a los resultados obtenidos, las hipótesis planteadas y contrastes con el marco teórico. Por último, los anexos donde se muestran las plantillas Excel elaboradas, fotografías y en apéndices normativas usadas y referencias externas.



Índice

Resumen	II
Abstract	III
Introducción	IV
Índice	V
1. Planteamiento del Problema	1
1.1. Identificación del problema.	1
1.1.1. Descripción del problema.	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema.	3
1.2. Justificación de la investigación.	3
1.2.1. Justificación técnica.	3
1.2.2. Justificación social.	3
1.2.3. Justificación por viabilidad.	4
1.2.4. Justificación por relevancia.	4
1.3. Limitaciones de la investigación.	4
1.3.1. Limitación geográfica.	4
1.3.2. Limitación de materiales.	5
1.3.3. Limitación de ensayos.	5
1.4. Objetivo de la investigación.	6
1.4.1. Objetivo general.	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
2. Marco Teórico	7
2.1. Antecedentes de la tesis.	7
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.	7
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.	10
2.2. Bases teórico científicas.	11
2.2.1. El concreto.	11
2.3. Hipotesis.	59
2.3.1. Hipótesis general.	59
2.3.2. Sub hipótesis.	59
2.4. Definición de variables.	60



- 2.4.1. Variables independientes. 60
- 2.4.2. Variables dependientes..... 60
- 2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables..... 62
- 3. Metodología 63**
- 3.1. Metodología de la tesis..... 63
- 3.1.1. Enfoque de la investigación. 63
- 3.1.2. Nivel de la investigación..... 63
- 3.1.3. Método de investigación. 63
- 3.2. Diseño de la investigación. 64
- 3.2.1. Diseño metodológico. 64
- 3.2.2. Diseño de ingeniería..... 65
- 3.3. Población y muestra..... 66
- 3.3.1. Población..... 66
- 3.3.2. Muestra..... 66
- 3.3.3. Criterios de inclusión. 67
- 3.4. Instrumentos..... 68
- 3.4.1. Instrumentos de recolección de datos. 68
- 3.5. Procedimiento de recolección de datos. 73
- 3.5.1. Granulometría del agregado grueso (NTP 400-037)..... 73
- 3.5.2. Granulometría del agregado fino (NTP 400-037)..... 76
- 3.5.3. Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y agregado fino..... 78
- 3.5.4. Peso específico y absorción de agregado fino (NTP 400-022) 84
- 3.5.5. Peso específico y absorción de agregado grueso (NTP 400-022)..... 89
- 3.5.6. Elaboración de las probetas cilíndricas de concreto patrón, concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintética y concreto adicionado 1.0 kg/m³ de fibras sintética..... 93
- 3.5.7. Ensayo de resistencia a la compresión. 98
- 3.5.8. Ensayo de módulo de elasticidad. 102
- 3.6. Procedimiento de análisis de datos..... 111
- 3.6.1. Granulometría del agregado fino..... 111
- 3.6.2. Granulometría del agregado grueso. 113
- 3.6.3. Peso unitario del agregado fino..... 116
- 3.6.4. Peso unitario del agregado grueso..... 116



3.6.5.	Peso específico y absorción del agregado fino.....	117
3.6.6.	Peso específico y absorción del agregado grueso.	118
3.6.7.	Cálculo de humedad agregado fino.....	119
3.6.8.	Cálculo de humedad agregado grueso.....	120
3.6.9.	Diseño de mezcla para un concreto de calidad de diseño de 210 kg/cm ² por el método del comité 211 del ACI.....	121
3.6.10.	Resistencia a la compresión (ASTM C-39)	129
3.6.11.	Módulo de elasticidad del concreto (norma ASTM C-469).	134
3.6.12.	Cálculo de la ductilidad (modelo de Kent y Park).	142
4.	Resultados.....	152
4.1.	Granulometría del agregado fino.	152
4.2.	Granulometría del agregado grueso.	152
4.3.	Características de los agregados.	153
4.4.	Diseño de mezclas ACI C-211.....	154
4.5.	Resistencia a la compresión.	154
4.6.	Módulo de elasticidad.	156
4.7.	Ductilidad.....	163
5.	Discusiones.....	168
6.	Glosario.....	172
7.	Conclusiones	176
8.	Recomendaciones	177
9.	Referencias	179
10.	Anexos	181
11.	Apéndices	257



Índice de Figuras

<i>Figura 01:</i> Falla dúctil por agotamiento del concreto.....	1
<i>Figura 02:</i> Falla frágil por agotamiento del acero.	2
<i>Figura 03:</i> Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.....	12
<i>Figura 04:</i> Estados de saturación del agregado.	18
<i>Figura 05:</i> Fibras sintéticas.....	29
<i>Figura 06:</i> Secciones de las fibras comunes	30
<i>Figura 07:</i> Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometido a un esfuerzo de tracción.	31
<i>Figura 08:</i> Curva esfuerzo vs deformación típica del concreto.....	44
<i>Figura 09:</i> Curva esfuerzo vs deformación típica del concreto.....	56
<i>Figura 10:</i> Modelo de esfuerzo – deformación de Kent y Park para concreto confinado y no confinado.	57
<i>Figura 11:</i> Tipos de ductilidad, gráficas y definiciones.....	59
<i>Figura 12:</i> Selección del agregado por el método de cuarteo.....	74
<i>Figura 13:</i> Pesado de la muestra.	74
<i>Figura 14:</i> Serie de tamices para agregado grueso.	75
<i>Figura 15:</i> Pesado de agregado grueso retenido en cada malla.	75
<i>Figura 16:</i> Selección del agregado por el método de cuarteo y colocación de la muestra.	77
<i>Figura 17:</i> Pesado de agregado fino retenido en cada malla.	77
<i>Figura 18:</i> Pesado de molde.....	79
<i>Figura 19:</i> Colocación del agregado fino.....	80
<i>Figura 20:</i> Compactación del agregado fino.....	80
<i>Figura 21:</i> Compactación del agregado grueso.	81
<i>Figura 22:</i> Enrasado de agregado fino en el borde superior del molde.	81
<i>Figura 23:</i> Enrasado de agregado grueso en el borde superior del molde.	82



<i>Figura 24:</i> Pesado de agregado fino.....	82
<i>Figura 25:</i> Pesado de agregado grueso.	83
<i>Figura 26:</i> Peso del picnómetro con agua.....	85
<i>Figura 27:</i> Agregado fino sumergido por 24 horas.....	85
<i>Figura 28:</i> colocado de muestra superficialmente seco en el cono.....	86
<i>Figura 29:</i> Agregado fino en estado saturado superficialmente seco.	87
<i>Figura 30:</i> Pesado del picnómetro con muestra y agua.	87
<i>Figura 31:</i> Pesado muestra retirada del picnómetro y secada por 24 horas.....	88
<i>Figura 32:</i> Muestra sumergida por 24 horas.....	90
<i>Figura 33:</i> Secado superficial de la muestra sumergida por 24 horas.	90
<i>Figura 34:</i> Determinación del peso de la muestra saturada superficialmente seca.....	91
<i>Figura 35:</i> Colocado de la muestra en el horno.	92
<i>Figura 36:</i> Pesado de la muestra secada en horno por 24 horas.	92
<i>Figura 37:</i> Pesado de fibras sintéticas para el mezclado de concreto.....	94
<i>Figura 38:</i> Cálculo de proporciones para la mezcla.....	95
<i>Figura 39:</i> Mezclado de concreto.	95
<i>Figura 40:</i> Añadido de fibras sintéticas a la mezcla de concreto.....	96
<i>Figura 41:</i> Colocado de muestra para prueba de slump con el cono de Abrams.....	96
<i>Figura 42:</i> Calculo del slump con el cono de Abrams.....	97
<i>Figura 43:</i> Vaciado de briquetas de concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibras sintéticas.	97
<i>Figura 44:</i> Curado de briquetas.	98
<i>Figura 45:</i> Pesado de briqueta y medida de diámetros.	99
<i>Figura 46:</i> Rotura de briquetas en la máquina de compresión uniaxial.....	100
<i>Figura 47:</i> Colocación y nivelación del compresometro.	103
<i>Figura 48:</i> Medición de distancias del eje al pivote y del eje al deformímetro.	103
<i>Figura 49:</i> Aplicación de carga a la briqueta.....	104



<i>Figura 50:</i> Curva granulométrica del agregado fino de la cantera del río Apurímac.	113
<i>Figura 51:</i> Curva granulométrica del agregado grueso de la cantera del río Apurímac.	115
<i>Figura 52:</i> Cálculo de la deformación longitudinal para una determinada carga.	135
<i>Figura 53:</i> Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto patrón P1.	138
<i>Figura 54:</i> Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibras sintéticas F2.	140
<i>Figura 55:</i> Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto adicionado con 1.0 kg/m ³ de fibras sintéticas S1.	142
<i>Figura 56:</i> Comparación de curvas esfuerzo-deformación de un concreto simple y uno confinado.	142
<i>Figura 57:</i> Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto patrón P1.	145
<i>Figura 58:</i> Gráfico esfuerzo – deformación unitaria del concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibras sintéticas F6.	150
<i>Figura 59:</i> Curva granulométrica del agregado fino de la cantera del río Apurímac.	152
<i>Figura 60:</i> Curva granulométrica del agregado grueso de la cantera del río Apurímac.	153
<i>Figura 61:</i> Gráfico comparativo de los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto.	156
<i>Figura 62:</i> Gráfico comparativo de los valores promedio del módulo de elasticidad del concreto.	159
<i>Figura 63:</i> Gráfico comparativo de los valores promedio del módulo de elasticidad del concreto.	161
<i>Figura 64:</i> Gráfico comparativo de los valores promedio de los resultados de ductilidad del concreto.	165



Índice de Tablas

Tabla 01: <i>Límites de granulometría del agregado fino.</i>	21
Tabla 02: <i>Límites granulométricos del agregado grueso.</i>	25
Tabla 03: <i>Resistencia a la compresión promedio.</i>	33
Tabla 04: <i>Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.</i>	34
Tabla 05: <i>Consolidación del concreto.</i>	34
Tabla 06: <i>Requerimientos aproximados de agua de mezclado.</i>	35
Tabla 07: <i>Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.</i>	36
Tabla 08: <i>Relación agua-cemento de diseño en peso.</i>	36
Tabla 09: <i>Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.</i>	38
Tabla 10: <i>Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes.</i>	48
Tabla 11: <i>Clasificación del coeficiente de variación.</i>	51
Tabla 12: <i>Valores de dispersión en el control del concreto.</i>	51
Tabla 13: <i>Criterio de Chauvenet para rechazar una lectura.</i>	52
Tabla 14: <i>Tabla de operacionalización de variables.</i>	62
Tabla 15: <i>Cuantificación de la muestra.</i>	66
Tabla 16: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.</i>	68
Tabla 17: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.</i>	69
Tabla 18: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.</i>	69
Tabla 19: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.</i>	70
Tabla 20: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado grueso.</i>	70



Tabla 21: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado fino.</i>	71
Tabla 22: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo contenido de humedad.</i>	71
Tabla 23: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión.</i>	72
Tabla 24: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad.</i>	72
Tabla 25: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.</i>	76
Tabla 26: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.</i>	78
Tabla 27: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario del agregado fino.</i> ...	83
Tabla 28: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario del agregado grueso.</i>	84
Tabla 29: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico del agregado fino.</i> 88	
Tabla 30: <i>Peso mínimo de muestra para el cálculo de peso específico.</i>	89
Tabla 31: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico del agregado grueso.</i>	93
Tabla 32: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de concreto patrón.</i>	100
Tabla 33: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	101
Tabla 34: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de resistencia a la compresión de concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	101
Tabla 35: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad de concreto patrón.</i>	104
Tabla 36: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad de concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	106
Tabla 37: <i>Ficha de recolección de datos para ensayo de módulo de elasticidad de concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	108
Tabla 38: <i>Límites granulométricos para el agregado fino.</i>	112



Tabla 39: <i>Resultados del análisis granulométrico del agregado fino.</i>	112
Tabla 40: <i>Límites máximos y mínimos de la gradación utilizada para el agregado grueso.</i>	114
Tabla 41: <i>Resultados del análisis granulométrico del agregado grueso.</i>	115
Tabla 42: <i>Análisis de datos del ensayo de peso unitario del agregado fino.</i>	116
Tabla 43: <i>Análisis de datos del ensayo de peso unitario del agregado grueso.</i>	117
Tabla 44: <i>Análisis de datos del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.</i> ..	118
Tabla 45: <i>Análisis de datos del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.</i>	119
Tabla 46: <i>Análisis de datos del ensayo de humedad natural del agregado fino.</i>	120
Tabla 47: <i>Análisis de datos del ensayo de humedad natural del agregado fino.</i>	120
Tabla 48: <i>Características del agregado fino.</i>	121
Tabla 49: <i>Características del agregado fino.</i>	121
Tabla 50: <i>Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.</i>	122
Tabla 51: <i>Consolidación del concreto.</i>	122
Tabla 52: <i>Resistencia a la compresión promedio.</i>	123
Tabla 53: <i>Requerimientos aproximados de agua de mezclado.</i>	123
Tabla 54: <i>Relación agua cemento vs resistencia del concreto.</i>	124
Tabla 55: <i>Porcentaje de aire atrapado en el concreto.</i>	125
Tabla 56: <i>Volumen de agregado, grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de finza de agregado fino.</i>	126
Tabla 57: <i>Volúmenes calculados.</i>	127
Tabla 58: <i>Pesos de los materiales.</i>	127
Tabla 59: <i>Corrección por humedad de los agregados.</i>	128
Tabla 60: <i>Proporción final de los materiales por peso.</i>	129
Tabla 61: <i>Proporción final de los materiales por volumen.</i>	129
Tabla 62: <i>Factor de corrección H/D.</i>	129



Tabla 63: <i>Criterio de Chauvenet para rechazar una lectura.</i>	130
Tabla 64: <i>Clasificación del coeficiente de variación.</i>	131
Tabla 65: <i>Valores de dispersión en el control del concreto.</i>	131
Tabla 66: <i>Cálculo de los valores de resistencia a la compresión del concreto patrón.</i>	132
Tabla 67: <i>Cálculo de los valores de resistencia a la compresión del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	133
Tabla 68: <i>Cálculo de los valores de resistencia a la compresión del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	134
Tabla 69: <i>Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto patrón P1.</i>	137
Tabla 70: <i>Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas F2.</i>	139
Tabla 71: <i>Cálculo de los valores del módulo de elasticidad del concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas S1.</i>	141
Tabla 72: <i>Cálculo de los valores de ductilidad del concreto patrón P6.</i>	144
Tabla 73: <i>Cálculo del promedio de los valores de las deformaciones unitarias ϵ_0 para el concreto patrón.</i>	146
Tabla 74: <i>Cálculo del promedio de los valores de las deformaciones unitarias ϵ_0 para el concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	147
Tabla 75: <i>Cálculo del promedio de los valores de las deformaciones unitarias ϵ_0 para el concreto adicionado con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas.</i>	147
Tabla 76: <i>Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de deformación unitaria para f'_c máximo.</i>	147
Tabla 77: <i>Cálculo de los valores de ductilidad del concreto adicionado con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas F6.</i>	149
Tabla 78: <i>Resumen de las características del agregado fino.</i>	153
Tabla 79: <i>Resumen de las características del agregado fino.</i>	153
Tabla 80: <i>Proporción final de los materiales por peso.</i>	154
Tabla 81: <i>Proporción final de los materiales por volumen.</i>	154



Tabla 82: Promedio de los valores de resistencia a la compresión del concreto patrón. 155

Tabla 83: Promedio de los valores de resistencia a la compresión del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas. 155

Tabla 84: Promedio de los valores de resistencia a la compresión del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas. 155

Tabla 85: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de resistencia a la compresión del concreto. 156

Tabla 86: Promedio de los valores del módulo de elasticidad del concreto patrón. 157

Tabla 87: Promedio de los valores del módulo de elasticidad del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas. 157

Tabla 88: Promedio de los valores del módulo de elasticidad del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas. 158

Tabla 89: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores del módulo de elasticidad del concreto. 158

Tabla 90: Promedio de los valores del módulo de elasticidad teórico del concreto patrón.. 159

Tabla 91: Promedio de los valores del módulo de elasticidad teórico del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas. 160

Tabla 92: Promedio de los valores del módulo de elasticidad teórico del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas. 160

Tabla 93: Cuadro comparativo de graficas del módulo de elasticidad entre concretos. 162

Tabla 94: Promedio de los valores de ductilidad del concreto patrón. 163

Tabla 95: Promedio de los valores de ductilidad del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas. 163

Tabla 96: Promedio de los valores de ductilidad del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas. 164

Tabla 97: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de ductilidad del concreto. 164

Tabla 98: Promedio de los valores de deformación unitaria del concreto patrón. 165



Tabla 99: Promedio de los valores de deformación unitaria del concreto añadido con 0.6 kg/m³ de fibras sintéticas. 165

Tabla 100: Promedio de los valores de deformación unitaria del concreto añadido con 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas. 166

Tabla 101: Cuadro comparativo de resumen de resultados e incremento porcentual de los valores de deformación unitaria del concreto. 166

Tabla 102: Cuadro comparativo de graficas de ductilidad entre concretos..... 167

1. Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema.

1.1.1. Descripción del problema.

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la región del Cusco, en la industria de la construcción, esto se debe a su gran versatilidad, durabilidad, trabajabilidad y resistencia a la compresión que proporciona en sus diferentes estados físicos. La utilización del concreto se da en un variado campo de aplicación, se encuentran en los edificios, carreteras, presas, puentes, etc.

La siguiente investigación toma como referencia el campo de aplicación de edificaciones, donde la utilidad del concreto es esencial, debido a su uso masivo en la provincia de Espinar, departamento de Cusco.

En las edificaciones convencionales donde se usa el concreto como material principal en los elementos estructurales como columnas, placas, vigas y losas, es necesario también el uso de acero, debido a que estos elementos estructurales no solo necesitan de la resistencia a la compresión del concreto sino también de admitir esfuerzos de tracción como los que admite el acero; en el diseño del concreto armado, llamado así por la combinación de concreto y acero, es necesario que los elementos estructurales antes mencionados sean diseñados para fallar dúctilmente, es decir, que presente deformaciones antes del colapso, si la estructura solo contaría con las propiedades convencionales del concreto al momento de fallar o llegar a su resistencia máxima, esta colapsaría sin indicar previamente que está llegando a su límite de resistencia, es por ello que además de garantizar las propiedades antes mencionadas del concreto, en los elementos estructurales de las edificaciones, es necesario brindar de ductilidad a estos.

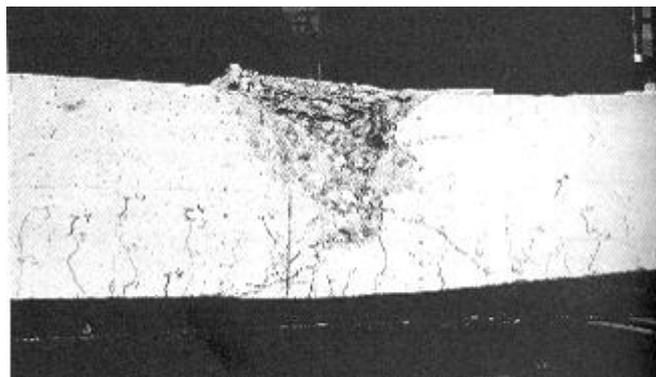


Figura 01: Falla dúctil por agotamiento del concreto.

Fuente: Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla, 2010.

En el diseño de edificaciones la cantidad de acero que tienen los elementos estructurales es importante, debido a que su mal diseño o mala proporción puede ocasionar fallas drásticas cuando el elemento estructural llega a su límite sin permitir adoptar medidas de seguridad antes de su colapso, como se puede observar en la siguiente imagen.

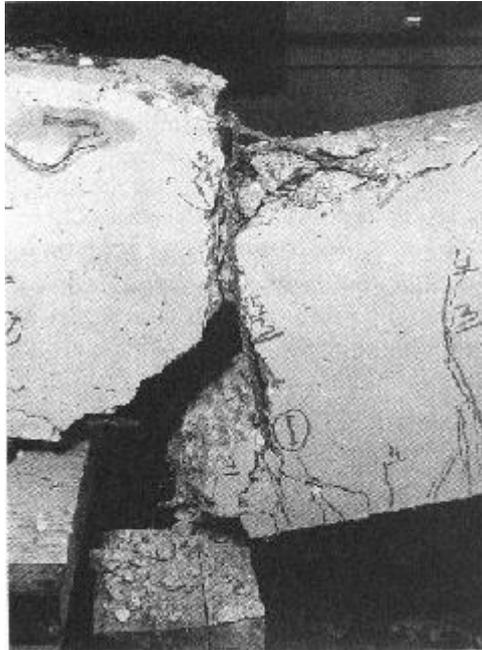


Figura 02: Falla frágil por agotamiento del acero.

Fuente: Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla, 2010.

Si bien es cierto que la ductilidad no es una cualidad del concreto, es una propiedad que podemos reforzar para analizar, como lo propone esta investigación; brindar de ductilidad al concreto garantiza evitar fallas drásticas o frágiles, que son las que causan mayores estragos en las edificaciones como se ha mostrado a través de la historia.

Debido a la falta de conocimiento del estudio de esta propiedad en el concreto en la provincia de Espinar, departamento de Cusco, es que surge esta investigación, que como ya se mencionó, la ductilidad no es cualidad del concreto pero si esencial en los elementos estructurales que se elaboran con este material tan importante, es por ello que poder brindar ductilidad al concreto y dar algunos segundos de prevención o de tiempo para evacuar cualquier edificación en caso de cualquier falla; ya sea una falla frágil, que se brindaría un pequeño aviso, o en caso de una falla dúctil, que se brindaría mayor tiempo de evacuación, sería ventajoso para salvar vidas y brindar mayor seguridad a los usuarios de cualquier edificación.



1.1.2. Formulación interrogativa del problema.

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general.

¿Cuál es el análisis comparativo entre los valores de ductilidad de un concreto patrón $f'c = 210$ kg/cm² y un concreto $f'c = 210$ kg/cm² adicionado con 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos.

Problema específico n° 1

¿Cuál es el análisis comparativo entre los valores de resistencia a la compresión de un concreto patrón $f'c = 210$ kg/cm² y un concreto $f'c = 210$ kg/cm² adicionado con 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas?

Problema específico n° 2

¿Cuál es el análisis comparativo entre los valores del módulo de elasticidad de un concreto patrón $f'c = 210$ kg/cm² y un concreto $f'c = 210$ kg/cm² adicionado con 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas?

1.2. Justificación de la investigación.

1.2.1. Justificación técnica.

Esta investigación se justifica desde el punto de vista técnico ya que en su desarrollo se encuentra en el marco de la Ingeniería Civil, en las ramas de Estructuras y Construcciones donde se revisarán y consolidarán los aspectos teóricos examinados en las materias de Materiales de Construcción, Tecnología del Concreto, Resistencia de Materiales y Sismoresistencia, puntualmente temas referidos a propiedades mecánicas de los materiales, elasticidad, flexiones y otros.

En esta investigación se pretende desarrollar un procedimiento simplificado, verificable, y repetible para efectuar el análisis entre los resultados.

En esta investigación los resultados están enfocados a la aplicación al diseño y construcción de edificaciones, puesto que se espera un incremento en la ductilidad netamente del concreto, importante característica para el diseño de concreto armado.

1.2.2. Justificación social.

Los principales beneficiados serán todos los usuarios que tengan acceso a esta investigación tanto para su aplicación como para la proposición de otras alternativas de estudio abarcando así a los estudiantes de la Universidad Andina del Cusco ya que, a partir de los procedimientos



implementados, los instrumentos metodológicos propuestos, el marco teórico de esta investigación; podrán aplicar la misma en otros contextos.

1.2.3. Justificación por viabilidad.

La presente investigación es viable, debido a que se cuenta con los instrumentos y equipos necesarios para realizar los ensayos descritos en el ítem 1.3.3., además, el investigador dispone de tiempo y economía necesaria para el desarrollo de la investigación.

Los ensayos se realizarán en el laboratorio de mecánica de suelos de la Municipalidad Provincial de Espinar, por lo tanto, los instrumentos y equipos serán facilitados por el laboratorio mencionado, con el apoyo de algunos instrumentos del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Andina del Cusco para el ensayo de módulo de elasticidad. Asimismo, la fibra sintética Sikafiber es de fácil acceso para su adquisición en el mercado nacional.

1.2.4. Justificación por relevancia.

La optimización de procedimientos constructivos es un punto crítico en diferentes proyectos, por ende, cada vez se tiene que brindar mayor seguridad en edificaciones ya que son las construcciones que albergan la mayor cantidad de personas todo el tiempo; la incorporación de fibras de una manera sencilla ayuda al procedimiento constructivo de estos edificios, brindando al concreto propiedades benéficas que generalmente no posee.

Adoptar nuevas metodologías, como es el caso de uso y aplicación de fibras dentro del diseño y construcción de elementos de carga estructural en edificaciones, es necesario, ya que además de mejorar el concreto, constructivamente son de fácil aplicación, aún más con el apoyo de las investigaciones actuales.

1.3. Limitaciones de la investigación.

1.3.1. Limitación geográfica.

- Región: Cusco.
- Provincia: Espinar.
- Distrito: Yauri.

La zona donde se desarrollará la investigación corresponde al distrito de Yauri, provincia de Espinar, departamento de Cusco, limitándose por tanto los resultados que se obtengan solo a este territorio ceñido por las características en cuanto a materiales provenientes de la cantera del río Apurímac con un tamaño máximo nominal de 1" para el agregado grueso, clima frígido, sus temperatura oscilan entre -4° y 19° y condiciones de la zona, que presenta heladas fuertes y agua con bastante contenido de minerales y metales pesados.



1.3.2. Limitación de materiales.

- Agregado fino de la cantera del río Apurímac del distrito de Coporaque, provincia de Espinar.
- Agregado grueso de la cantera del río Apurímac del distrito de Coporaque, provincia de Espinar.
- Cemento Frontera tipo IP de peso específico 2.85 gr/cm³.
- Fibras sintéticas Sikafiber con dosificaciones de 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³.
- Agua potable proveniente del servicio USAPAL que brinda la Municipalidad Provincial de Espinar.

1.3.3. Limitación de ensayos.

Todos los ensayos desarrollados en la presente tesis, descritos a continuación, fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Municipalidad Provincial de Espinar, con apoyo de la Universidad Andina del Cusco la cual brindó anillos y dial para el ensayo de módulo de elasticidad.

Ensayos.

- Granulometría del agregado fino y agregado grueso.
- Peso específico y absorción del agregado fino y agregado grueso.
- Peso unitario del agregado fino y agregado grueso.
- Contenido de humedad del agregado fino y agregado grueso.
- Diseño de mezclas por el método ACI 211.
- Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de 6" x 12" (15cm x 30cm) y curadas por inmersión durante 28 días.
- Módulo de elasticidad.

Como limitantes tenemos: la Norma Técnica Peruana 400.012, 400.017 y 400.022 para los ensayos necesarios de los agregados, el diseño de mezclas se realizará para columnas y vigas, que comprende un revenimiento de 4" como máximo, con un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1", la norma ASTM (American Society of Testing Materials) C-469 para determinar la variable de módulo de elasticidad, norma ASTM C-39 para la variable de resistencia a la compresión y el modelo esfuerzo-deformación del concreto propuesto por Kent y Park para el cálculo de la ductilidad. El procesamiento de los datos obtenidos realizados en los ensayos a los agregados, será realizado en la Universidad Andina del Cusco.



Ademas cabe mencionar que el ensayo de módulo de elasticidad se rige a la precisión de la videocámara con la que se trabajó y el lector de video VLC media player.

1.4. Objetivo de la investigación.

1.4.1. Objetivo general

Analizar comparativamente los valores de ductilidad entre un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico n° 1

Analizar comparativamente los valores de resistencia a la compresión entre un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas.

Objetivo específico n° 2

Analizar comparativamente los valores del módulo de elasticidad entre un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas.



2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la tesis.

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional.

Tesis 1.

- Título: “Estudio de la metodología “diseño por capacidad” en edificaciones aporticadas de concreto armado para ser incorporada a la Norma Peruana E-060 como alternativa de diseño”
- Autora: Maribel Burgos Namuche
- Universidad Nacional de Ingeniería (UNI Lima-Perú, 2007).

a) Resumen

El objetivo de este trabajo es demostrar que con el “Diseño por Capacidad”, metodología de Nueva Zelanda, se puede conseguir una estructura dúctil o extremadamente tolerante a los desplazamientos impuestos por el sismo; evitando el colapso, a pesar de haber excedido su resistencia, garantizando de esta manera que la estructura llegue a formar el mecanismo de colapso escogido durante la etapa de diseño (vigas débiles y columnas fuertes). El “Diseño por Capacidad” ha sido adaptado a los requerimientos mínimos de nuestra norma de concreto E-060 y de la norma del ACI-2005 (combinaciones de carga, acero mínimo, espaciamientos mínimos del refuerzo transversal, procedimiento de redistribución de momentos, etc.) con la finalidad de presentar una propuesta para introducir esta metodología a la norma peruana de concreto armado E-060 como alternativa de diseño para los sistemas de pórticos. Esta metodología se aplica a una edificación aporticada de cuatro pisos, la misma que se diseña por resistencia, según la norma E-060, con el fin de hacer un análisis comparativo. Para ambos casos, se evalúa las máximas demandas en el rango no-lineal a través del análisis no lineal estático “Pushover” y el análisis no lineal dinámico incremental (Incremental Dynamic Non linear Analyses, IDA). Finalmente, se llega a demostrar los objetivos del presente trabajo a través de los análisis no lineales tiempo-historia usados para el análisis IDA, el cual es un análisis más preciso, real pero también más complejo. Para este análisis, se tomaron los registros sísmicos del Perú más importantes.

**b) Influencia en la tesis.**

El primer antecedente explica la necesidad y la importancia de un diseño por capacidad, así como asegurar ductilidad en las estructuras de concreto, el cual sirve como base para describir el problema de la presente tesis.

Tesis 2.

- Título: “Análisis comparativo de las magnitudes de las propiedades mecánicas: resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión, de un concreto $f'c = 210$ kg/cm² con dosificación estándar, concreto reforzado con 20 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX® 3d y concreto reforzado con 20 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX® 4d.”
- Autores: Aguilar Huricayo Cristhian Bartho, Pilares Vargas Alexander.
- Universidad Andina del Cusco (Cusco – Perú, 2018).

a) Resumen

La presente investigación, tiene como objetivo principal, analizar en cuánto difieren porcentualmente las magnitudes de las propiedades mecánicas: Resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión, de un concreto con dosificación $f'c=210$ kg/cm², un concreto reforzado con 20 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX® 3D y un concreto reforzado con 20 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX® 4D, evaluadas a los 28 días. Se realizaron probetas cilíndricas (briquetas) y prismáticas (viguetas) de concreto, curadas durante 28 días, a las cuales se les sometió a los ensayos de Resistencia a la Compresión, Módulo de Elasticidad y Resistencia a la Flexión según las normas ASTM C39, ASTM C469 y ASTM C78 correspondientemente. Al final de la investigación, de las tres propiedades analizadas (Resistencia a la Compresión, Módulo de elasticidad y Resistencia a la Flexión) se concluye que los concretos añadidos con fibras de acero Dramix 3D y 4D tienen un incremento en las magnitudes de sus propiedades mecánicas respecto al concreto patrón, por lo tanto, tienen un mejor comportamiento mecánico. Afirmando que se obtuvo un incremento en la resistencia a flexión en un 15% para el concreto adicionado con 20 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX® 3D y un incremento de 17% para el concreto adicionado, con 20 kg/m³ de fibras de acero DRAMIX® 4D, ambos respecto al concreto patrón de dosificación estándar. El cual estos resultados son favorables para un diseño de pavimentos Rígidos.

**b) Influencia en la tesis.**

La segunda tesis fue puesta como antecedente, ya que su estudio ha sido necesario por la similitud de ensayos, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, que realizan los tesisistas y el análisis de estas variables determinadas en sus ensayos, además, se puede concluir también que se tomó en cuenta sobre todo los procedimientos detallados de los ensayos realizados con los mismos equipos de la Universidad Andina del Cusco.

Tesis 3.

- Título: “Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado.”
- Autor: Gianfranco Alegre Gago
- Pontificia Universidad Católica del Perú (Lima – Perú, 2017).

a) Resumen

El reforzamiento de estructuras o elementos de concreto armado es practicado cuando se presentan déficit en alguna de las propiedades de dichas estructuras o elementos de concreto armado respecto a una nueva sollicitación de su vida útil. Generalmente estas nuevas sollicitaciones se presentan por el aumento en su carga de servicio, problemas de durabilidad debido a materiales de construcción pobres e inapropiados, cambios en el ambiente omitidos en el estudio y diseño inicial, incremento de cargas originada por el cambio de uso de la estructura o incremento de la vida útil de la estructura. En los últimos años con la aparición de nuevas metodologías de refuerzo de elementos estructurales de concreto armado han surgido mayores alternativas de solución que nos permiten “reforzar” elementos de concreto armado que son sometidos a mayores cargas luego de haber alcanzado su periodo de servicio, así mismo nos permite comparar en cuanto a costo las diversas alternativas que existen en el mercado. El uso de materiales compuestos como reforzamientos estructurales cada vez es más utilizado, por ejemplo, el uso de la fibra de carbono brinda seguridad a la estructura, aumenta su resistencia y además mitiga los efectos de las fallas producidas por flexión y por corte. El presente proyecto tiene como objetivo principal estudiar el comportamiento elástico e inelástico de vigas de concreto armado reforzadas con fibras de carbono sometidas a flexión. Para lo cual se analizarán vigas de concreto armado reforzadas con acero y con fibras de carbono (CFRP), empleando diferentes cuantías de cada una. Se estudiará el comportamiento de cada caso mediante diagramas momento – curvatura y se comparará el aporte del uso de fibra CFRP tanto para la ductilidad como resistencia de las vigas de concreto armado sometidas a flexión. Se



realizará el análisis comparativo para determinar las ventajas y desventajas del uso de este método de reforzamiento. Finalmente se presentarán las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas del análisis empleado, brindando las consideraciones básicas para el uso de CFRP como reforzamiento de elementos estructurales.

b) Influencia en la tesis.

La tercera tesis puesta como antecedente es útil por la similitud de estudio de variables, de resistencia a la compresión y ductilidad del concreto, además de tener como referencia para el análisis de la ductilidad que en la presente investigación se analiza teóricamente.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.

Tesis 4.

- Título: “Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado.”
- Autor: Jorge López Román.
- Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. (2016).

a) Resumen

En el presente trabajo se evalúa mediante los resultados obtenidos de un estudio experimental la influencia que tiene dos tipos particulares de fibras, fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno, en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, cuando dichas fibras se emplean en diferentes porcentajes volumétricos iguales o menores al 1% en mezclas de concreto fabricadas con agregados traídos del Edo de México y del Edo de Hidalgo. El estudio comprende la fabricación de mezclas de concreto con agregado grueso de origen calizo de 3/8” de tamaño máximo, arena andesítica, cemento Portland compuesto resistente a los sulfatos (CPC 40 RS), fibra de acero DRAMIX (RC 65/35 BN) y macrofibra de polipropileno (MAC Matriz). En total se fabricaron ocho mezclas; una sin fibra (mezcla testigo o de referencia), tres con fibras cortas de acero para porcentajes volumétricos de 0.5, 0.75 y 1.0% (0, 40, 60 y 80 kg/m³) y cuatro con macrofibras de polipropileno para porcentajes volumétricos de 0.25, 0.5, 0.75 y 1.0% (2.3, 4.6, 7.0 y 9.3 kg/m³). Los parámetros para el diseño de mezclas fueron el revenimiento de 15 cm, un porcentaje de volumen absoluto para los agregados de 52% para la grava y de 48% para la arena, y una relación de agua/cemento de 0.5 para el concreto sin fibra. En el caso de las mezclas con fibras, se mantuvo el diseño de la mezcla del concreto



de referencia, más la adición del tipo y consumo de fibra y en todos los casos se añadió un aditivo plastificante compuesto por lingosulfonatos (Pozzolith 322N) para mantener el revenimiento en el rango deseado, mismo que cumple con la Norma ASTM C 494 para aditivos Tipo A. Se determinaron las propiedades en estado fresco de cada una de las mezclas: revenimiento, masa volumétrica, contenido de aire atrapado, cono invertido y resistencia al agrietamiento por contracción plástica.

Además, en estado endurecido se determinó: resistencia a compresión, tensión, flexión, cortante, impacto, abrasión, módulo elástico, contracción por secado, tenacidad, permeabilidad al agua y flujo plástico (CREEP). A partir de los resultados experimentales obtenidos y del análisis efectuado, se podrá evaluar la influencia y desempeño del tipo y porcentaje de fibra en las diversas propiedades estudiadas en estado fresco y endurecido del concreto.

b) Influencia en la tesis.

La última tesis también es usada como antecedente y referencia por la similitud de análisis de variables especialmente el módulo de elasticidad, que se considera en la presente investigación, además que el reforzamiento que se hace al concreto también es con la adición fibra por ello se considera útil su aporte.

2.2. Bases teórico científicas.

2.2.1. El concreto.

Según Rivva López (2013), el concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto principalmente de la combinación de cemento, agua y agregados finos y gruesos. El concreto incluye un pequeño volumen de aire atrapado y puede incluir también aire intencionalmente incorporado mediante el empleo de un aditivo.

Igualmente, en la mezcla de concreto también se utilizan con frecuencia otros aditivos para propósitos tales como acelerar o retardar el fraguado y el endurecimiento inicial; mejorar la trabajabilidad; reducir los requisitos de agua de la mezcla; incrementar la resistencia o modificar otras propiedades (Rivva López, 2013).

Según Pasquel Carbajal (1998), el concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción.

De esta definición se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para construir un material que manifiesta un comportamiento particular y original (Pasquel Carbajal, 1998).

En consecuencia, para poder dominar el uso de este material, hay que conocer no solo las manifestaciones del producto resultante, sino también la de los componentes y su interrelación, ya que son en primera instancia los que confieren su particularidad (Pasquel Carbajal, 1998).

Como cualquier material, se contrae al bajar la temperatura, se dilata si se aumenta, se ve afectado por sustancias agresivas y se rompe si es sometido a esfuerzos que superan sus posibilidades, por lo que responde perfectamente a las leyes físicas y químicas (Pasquel Carbajal, 1998).

Según Kumar Mehta (1998), este material de construcción es el más utilizado por varias razones, primero, porque posee una gran resistencia a la acción del agua sin sufrir un serio deterioro, además de que puede ser moldeado para dar una gran variedad de formas y tamaños gracias a la trabajabilidad de la mezcla, siendo esta de gran popularidad entre los ingenieros civiles por su pronta disponibilidad en obras y su bajo costo.

2.2.1.1. Componentes del concreto.

Pasquel Carbajal (1998). El concreto se compone por diversos materiales como: cemento, agua, aire, agregado grueso, agregado fino y aditivos. Si bien la definición tradicional consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente normal, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento.



Figura 03: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.

Fuente: Pasquel Carbajal, 1998



2.2.1.1.1. Cemento.

Pasquel Carbajal (1998). El cemento es el componente más activo del concreto y generalmente, tiene el mayor costo unitario. Por ello y considerando que las propiedades del concreto dependen tanto de la cantidad como de la calidad de sus componentes, la selección y uso adecuado del cemento son fundamentales para obtener en forma económica las propiedades deseadas para una mezcla dada.

Según Abanto Castillo, el cemento es uno de los componentes más importantes para la producción del concreto. El cemento más usado es el portland. En esencia, es un material aglomerante con la capacidad de unir a los demás agregados del concreto y formar la pasta. Para esto, debe ocurrir un proceso conocido como hidratación, el cual se da al entrar en contacto con el agua.

El cemento posee distintos compuestos, siendo los cuatro más importantes el:

- Silicato tricálcico
- Silicato dicálcico
- Aluminato tricálcico
- Ferroaluminato tetracálcico.

Además de estos compuestos principales hay otros que tienen un rol menos preponderante en el proceso de hidratación.

2.2.1.1.1.1. Cemento portland.

Pasquel Carbajal (1998). El nombre proviene de la similitud en apariencia y el efecto publicitario que pretendió darle en el año 1824 Joseph Apsdin un constructor inglés, al patentar un proceso de calcinación de caliza arcillosa que producía un cemento que al hidratarse adquiriría según él, la misma resistencia que la piedra de la isla de Portland cerca del puerto de Dorset.

Según Abanto Castillo, el cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contiene cal, alúmina y sílice en proporciones determinadas.



2.2.1.1.1.2. Cemento puzolánico.

Quiroz y Salamanca (2006). Cemento portland puzolánico es el producto resultante de la adición al cemento portland normal de material puzolánico, en un porcentaje de 15 a 50%. Dicha unión puede efectuarse en el estado de clinker, para ser molidos conjuntamente, a la fineza adecuada o también directamente con el cemento, antes de ensacar o en lo, mezcladora.

- **Puzolanas**, según el criterio de Lea adoptado por las actuales normas del ASTM es el material silíceo que no siendo aglomerante por si mismo -o en muy baja magnitud- contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.
- **Tipos de puzolanas**, en una primera clasificación, las puzolanas se dividen en dos grandes grupos: naturales y artificiales, estos últimos, arcillas, pizarras, etc., calcinadas. Los dos grupos, a su vez, se han clasificado atendiendo a diversos criterios. El Bureau of Reclamation, entidad norteamericana con mayor experiencia en la materia, considera los siguientes tipos:
 - Arcillas y pizarras (que requieren calcinarse para ser activas):
 - Colinita
 - Montmorillonita
 - Materiales opalinos (En los cuales la calcinación puede o no ser necesaria).
 - Tierra de diatomeas, semiopalos y pizarras.
 - Tobas volcánicas y pumicitas (en las cuales la calcinación puede o no ser necesaria)
 - Riolíticos
 - Andesíticos
 - Fenolíticos.
 - Sub productos industriales:
 - Escoria de alto horno.
 - Ceniza volante.
 - Humo silíceo.
- **Propiedades y deficiencias del cemento portland puzolánico**, las características más significativas de los cementos puzolánicos se encuentran en el incremento de las condiciones de trabajabilidad y durabilidad de los concretos.



- En el concreto fresco:
 - Mejora la docilidad del concreto, permitiendo su fácil puesta en obra (encofrados).
 - Disminuye la exudación de las mezclas y la tendencia a la segregación.
- En el concreto endurecido: Durabilidad.
 - Mejor resistencia al intemperismo.
 - Resistencia a las aguas agresivas (obras de cimentación, tuberías, desagües, obras de alcantarillado).
 - Menor calor de hidratación (favorable en obras mäsicas, cimentaciones, presas, cte.).
 - Impermeabilidad es mejorada especialmente en las mezclas pobres y en las primeras edades (recomendable por ello su empleo en obras marítimas e hidráulicas).
 - En regiones de agregados reactivos con cementos de proporción de álkalis significativa, el cemento puzolánico pasa bien esta prueba. Cabe advertir que, en el Perú, no se ha determinado este fenómeno.
- En lo que respecta a las características de deformación y resistencia:
 - Retracción y fluencia. Ambos fenómenos se ven acrecentados en el caso de los portland puzolánicos. El campo de variación es amplio, según sea la puzolana, cemento usado y tipo de agregado.' En todo caso no hay leyes que determinen las deformaciones del concreto.
 - Las condiciones de deformación elástica del concreto son ligeramente disminuidas por los cementos puzolánicos. Aunque no se puede determinar coeficientes al respecto, dada la cantidad de parámetros incidentes.
 - Las resistencias mecánicas disminuyen en los cementos puzolánicos, especialmente en los concretos ricos en aglomerantes. En las mezclas pobres, eventualmente, los cementos puzolánicos pueden acrecentar la resistencia.
- Las obras de concreto puzolánicos exigen mayor control y curado especial y continuado para prevenir los peligros de fisuración y otras anomalías.



2.2.1.1.2. Agregados.

Pasquel Carbajal (1998). Se definen los agregados como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total, las calidades de estos tienen una importancia primordial en el producto final.

Pasquel Carbajal (1998). La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductividad, durabilidad etc.

Pasquel Carbajal (1998). Están formados usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

Pasquel Carbajal (1998). La distribución volumétrica de las partículas tiene gran trascendencia en el concreto para obtener una estructura densa y eficiente, así como una trabajabilidad adecuada. Está científicamente demostrado que debe haber un ensamble casi total entre las partículas, de manera que las más pequeñas ocupen espacios entre las mayores y el conjunto esté unido por la pasta de cemento.

2.2.1.1.2.1. Clasificación de los agregados.

Pasquel Carbajal (1998). La clasificación que se describe a continuación no son necesariamente las únicas ni las completas, pero responden a la práctica usual en tecnología del concreto.

a) Por su procedencia.

- **Agregados naturales.** - Son los formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles de años, y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concreto. Estos agregados son los más usados a nivel mundial y particularmente en nuestro país por su amplia disponibilidad tanto en calidad como en cantidad, lo que los hace ideales para producir concreto (Pasquel Carbajal, 1998).
- **Agregados artificiales.** - Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. Algunos agregados de este tipo los constituyen



la escoria de altos hornos, la arcilla horneada, el concreto reciclado, la microfílice etc. El potencial de uso de estos materiales es muy amplio, en la medida que se van investigando y desarrollando otros materiales y sus aplicaciones en concreto, por lo que a nivel mundial hay una tendencia muy marcada hacia progresar en este sentido (Pasquel Carbajal, 1998). En nuestro país, existen zonas como por ejemplo en la Selva donde no se dispone de agregados normales para hacer concreto y la mayor parte de las veces se tienen que improvisar soluciones que no garantizan el material resultante, por lo que es imprescindible el empezar a ahondar en las posibilidades de desarrollar materiales artificiales en aquellas regiones, estimulando en las universidades la investigación orientada hacia la solución técnica y económica de estos problemas (Pasquel Carbajal, 1998).

b) Por su gradación.

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas que como se mencionó tiene suma importancia en el concreto. Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y menores de 4.75mm (malla standard ASTM#4). Esta clasificación corresponde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento del agregado (zarandeo, chancado) tienden separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo (Pasquel Carbajal, 1998).

c) Por su densidad.

Entendiendo densidad como la gravedad específica, es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en normales con $G_e = 2.5$ a 2.75 , ligeros con $G_e < 2.5$ y pesados con $G_e > 2.75$. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y uso para cada caso (Pasquel Carbajal, 1998).

2.2.1.1.2.2. Características de los agregados.

Pasquel Carbajal (1998). En general son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad, y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación. Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas standard que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas. Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claros los conceptos relativos a las siguientes características físicas de los agregados y sus expresiones numéricas :

a) Condiciones de saturación.

En la figura 04 se han esquematizado las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial, pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas, que servirán durante el desarrollo del presente capítulo (Pasquel Carbajal, 1998).



Figura 04: Estados de saturación del agregado.

Fuente: Sotacuro 2015

b) Peso específico.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las normas ASTM C-127 y C-128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio. Hay que tomar en cuenta que las expresiones de la norma son adimensionales, luego hay que multiplicarlas por la densidad del agua en las unidades que se deseen para obtener el parámetro a usar en los cálculos. Su valor para agregados normales oscila entre 2,500 y 2,750 kg/m³ (Pasquel Carbajal, 1998).

c) Peso unitario.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. La norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. En este último caso hay que tener en cuenta que estas conversiones asumen que el material en estado natural tiene el peso unitario obtenido en la prueba estándar, lo cual no es cierto por las características de compactación indicadas. Algunas personas aplican el mismo ensayo, pero sin compactar el agregado para determinar el "peso unitario suelto", sin embargo, este valor tampoco es necesariamente el del material en cancha, por lo que se



introducen también errores al hacer conversiones de diseños en peso a volumen (Pasquel Carbajal, 1998).

La mejor recomendación para reducir el error aludido, es hacer por lo menos 5 determinaciones de peso unitario suelto en porciones de muestras de agregados que representen varios niveles de las pilas de almacenaje para reflejar las probables variaciones por segregación. El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1,500 y 1,700 kg/m³ (Pasquel Carbajal, 1998).

d) Porcentaje de vacíos.

Pasquel Carbajal (1998). Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. La misma norma ASTM C-29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar:

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Donde:

S : Peso específico de masa (g).

W: Densidad del agua (g).

M: Peso unitario compactado seco (g).

e) Absorción.

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias (Pasquel Carbajal, 1998). Las normas ASTM C-127 y 128 establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P.S.S.S. - P.S.}{P.S.}$$

Donde:



% Absorción: Porcentaje de absorción.

P.S.S.S. : Peso superficialmente seco de la muestra (g).

P.S. : Peso seco de la muestra (g).

f) Porosidad.

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados, pues es representativa de la estructura interna de las partículas. No hay un método estándar en ASTM para evaluarla, sin embargo, existen varias formas de determinación por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de estimarla es mediante la determinación de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya que como hemos indicado en el párrafo anterior, nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas. Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15% aunque por lo general el rango común es del 1 al 5%. En agregados ligeros, se pueden tener porosidades del orden del 15 al 50% (Pasquel Carbajal, 1998).

g) Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas (Pasquel Carbajal, 1998). La humedad se expresa de la siguiente manera según ASTM C-566

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P - P.S.}{P.S.} \times 100$$

Donde:

% Humedad : Porcentaje de absorción.

P : Peso original de la muestra (g).

P.S. : Peso seco de la muestra (g).

2.2.1.1.3. Agregado fino

Según Rivva López (2013):

- Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz NTP 3/8" (9.5 mm) y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037.
- El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias de perfil preferentemente angular, duras compactadas y resistentes.
- El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.
- El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la norma NTP 400.037. Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:
 - a) La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler.
 - b) El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
 - c) En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

Tabla 01: Límites de granulometría del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8"	100%
Nro. 4	95 % a 100%
Nro.8	80% a 100%
Nro.16	50% a 85%
Nro. 30	25% a 60%
Nro.50	5% a 30%
Nro. 100	0% a 10%

Fuente: NTP 400.037

- El porcentaje indicado para las mallas N° 50 y N° 100 podrá ser reducido a 5% y 0 % respectivamente, si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo



contenido de cemento es mayor de 225 kg/m³, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 300kg/m³, o se emplea un aditivo mineral para suplir la deficiencia en el porcentaje que pasa estas mallas.

- El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de más o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.35 y 3.15
- Si se excede el límite indicado de más o menos 0.2, el agregado podrá ser rechazado por la inspección o, alternativamente, ésta podrá autorizar en las proporciones de la mezcla para compensar las variaciones en la granulometría. Estos ajustes no deberán significar reducciones en el contenido de cemento.
- El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la NTP 400.013.

2.2.1.1.4. Agregado grueso.

Según Abanto Castillo, el agregado grueso es el material retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4) y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C33.

Se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente (Abanto Castillo).

Su función principal es la de dar volumen y aportar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida da concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda (Abanto Castillo).

2.2.1.1.4.1. Granulometría del agregado grueso.

Según Rivva López (2013). El agregado grueso estará graduado dentro de los límites especificado en la norma NTP 400.037 o en la norma ASTM C33, los cuales están indicado en la tabla 02. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

Según Rivva López (2013):

Es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.



- La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.
- La granulometría seleccionada no deber tener más del 5% del agregado retenido en la malla 1 ½” y no más del 6% el agregado que pasa la malla ¼”.

2.2.1.1.4.2. Tamaño máximo.

De acuerdo a la norma ASTM C33 el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado.

2.2.1.1.4.3. Tamaño máximo nominal.

Según Rivva López (2013). El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado, la malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados, o
- Un tercio del peralte de las losas; o
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones; o ductos de preesfuerzo.

2.2.1.1.4.4. Especificaciones técnicas.

El Reglamento Nacional de Construcción (2018), especifica la granulometría de los agregados gruesos en 10 series granulométricas similares a las normalizadas por el ASTM.

Estas series, no constituyen curvas rigurosas, sino que definen zonas o franjas granulométricas, con límites amplios. Este tipo de especificación es admisible si tenemos en cuenta que los agregados son materiales de producción barata, que no deben tener costo excesivo en su manejo; siendo prudente utilizar aquellos que se encuentran en el lugar de la obra o en su velocidad.

La elección de una serie granulométrica debe efectuarse de acuerdo con el tamaño máximo del agregado, asegurando una adecuada trabajabilidad, de manera que el concreto pueda ser consolidado sin exigir demasiado trabajo mecánico.



Una vez definida la granulometría, para la producción de un concreto de calidad, es necesario que el aprovisionamiento del agregado grueso presente la menor variación posible, manteniéndose la regularidad de su granulometría.

Las mallas utilizadas para determinar la granulometría de los agregados gruesos, se designan por el tamaño de la abertura cuadrada en pulgadas. Las mallas son las siguientes: 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8" y n°4 establecidas por la norma ASTM.



Tabla 02: Límites granulométricos del agregado grueso.

N° ASTM	Tamaño nominal	% que pasa por los tamices normalizados												
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	1.18 mm (N°16)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	50 a 25.0 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75 mm (2" a N°4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 1 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N°4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25.0 a 9.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 5	0 a 5		
57	25.0 a 4.75 mm (1" a N°4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N°4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N°4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N°8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037



2.2.1.1.5. Agua para el concreto.

Según Pasquel Carvajal (1998):

El agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento. El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento.

2.2.1.2. Refuerzos en el concreto.

Fibrenamics (2019). El concreto, uno de los materiales utilizados en la construcción de estructuras, que se caracteriza por su alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción. Debido a este comportamiento diferente cuando se somete a esfuerzos de tracción, el hormigón está reforzado con barras de acero en el mismo, con el fin de resistir tales esfuerzos de tracción. La principal desventaja de la utilización de barras de acero es debido a los problemas de corrosión que surgen en el medio / largo plazo. Estos problemas se aceleran cuando el hormigón tiene recubrimiento inadecuado, grietas que salen de la armadura expuesta o cuando se expone a ambientes corrosivos, tales como en el caso de edificios al mar.

Actualmente, una de las formas concretas de refuerzo es por la adición de fibras cortas distribuidas al azar para mejorar el mezclado. Por lo tanto, es posible aumentar la resistencia a la tracción del hormigón, reduciendo su agrietamiento, y la mecánica responsable de la propagación de grietas. Las características mecánicas, así como otras propiedades físicas de hormigón armado con fibras dependen de las propiedades de la matriz de fibra, las interacciones fibra-matriz, y la dispersión de la fibra dentro de la matriz de cemento.

Las fibras con una adecuada resistencia mecánica a la tracción, homogéneamente distribuidas dentro de un hormigón, constituyen una microarmadura la cual, por un lado, se muestra extremadamente eficaz para contrastar el muy conocido fenómeno de la fisuración por retracción y, por otro lado, confiere al hormigón una ductilidad que puede llegar a ser considerable.



2.2.1.2.1. Concreto reforzado con fibras.

Sánchez Laparade (2009). Los avances tecnológicos han permitido el diseño y producción de nuevos materiales sintéticos con características específicas. Estos desarrollos logran que, en la actualidad, existan materiales diseñados para cumplir funciones que antaño eran reservadas exclusivamente para los materiales tradicionales, o que materiales como el concreto mejor en sus cualidades.

La facilidad de controlar características como la resistencia a la tensión, el módulo de elasticidad y la adherencia permite que se puedan modelar materiales específicos para determinadas funciones. En este sentido, la industria del concreto premezclado está cada vez más acostumbrada a adoptar nuevas tecnologías en materia de aditivos y adiciones en pos de mejorar la calidad del concreto y brindarle características acordes con los diseños estructurales cada vez más exigentes. A nivel mundial, la tendencia es proveer concretos con un valor agregado para el contratista. Que este reciba una solución que le permita ahorrar tiempo y dinero o realizar sus obras con mayor seguridad, siendo las empresas concreteras las que capitalicen este ahorro.

ICONTEC (2007). El uso de las fibras en materiales de construcción se remonta hasta antes de la aparición del cemento portland y del concreto. Fibras naturales como pasto, fique, junco y pelo animal han sido tradicionalmente agregadas al adobe para disminuir su tendencia a la fisuración y mejorar el desempeño del material a esfuerzos de tensión. La introducción de “agregados” de forma específica y una resistencia a la tracción superior a la matriz en la que están embebidos, ha conferido cualidades adicionales que no alcanzarían, sin dicho refuerzo, el adobe, el yeso, el estuco, la cerámica o el concreto. Durante los últimos cincuenta años el empleo y estudio de las fibras en la construcción ha llevado al desarrollo y fabricación de tipos específicos de fibras que responden a diferentes necesidades. Hoy, existen, y se usan dentro de la composición del concreto, fibras de vidrio (especialmente resistentes a los álcalis), polipropileno, polivinilos, polietilenos, acero, carbono, entre otros. Cabe decir que las fibras tienen dos usos específicos en función de su trabajo dentro de la mezcla de concreto y de sus características físicas.

Tipos de fibras.

a) Microfibras

Sánchez Laparade, (2009). Son fibras de plástico, polipropileno, polietileno o nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras



durante las primeras horas de la colocación del concreto o mientras la mezcla permanece en estado plástico. Los mejores resultados se obtienen con fibras multifilamento, cuyas longitudes oscilan entre los 12 y 75 mm y se dosifican en el concreto entre 0.6 kg/m³ y 1 kg/m³.

b) Macrofibras

Sánchez Laparade (2009). Son de materiales como acero, vidrio, sintéticos o naturales fique y otros, los cuales se usan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como la malla electrosoldada y las varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Otro beneficio del concreto reforzado con fibras (CRF) es el incremento de resistencia al impacto. Adicionalmente, controlan la fisuración durante la vida útil del elemento y brindan mayor resistencia a la fatiga. Su diámetro oscila entre 0.25 mm y 1.5 mm, con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm. La más importante propiedad del CRF es la tenacidad, descrita como la capacidad de absorción de energía de un material, que se refleja en el concreto una vez se han presentado fisuras, momento en que las fibras trabajan como refuerzo.

Clasificación de las fibras.

a) Fibras sintéticas.

Sánchez Laparade (2009). Investigaciones realizadas en Estados Unidos, Canadá y Australia han comprobado que las fibras sintéticas (polietilenos y polipropilenos densos, entre otras) debidamente diseñadas, pueden usarse exitosamente como alternativa tradicional a la malla electrosoldada.

En este caso, las fibras sintéticas se clasifican dentro del grupo de las macrofibras, cuyo efecto principal dentro del concreto es asegurar una tenacidad acorde con las necesidades del diseño estructural. Al igual que las fibras metálicas, las macrofibras están diseñadas para mejorar las características mecánicas del concreto y se suministran en longitudes y diámetros distintos.



Figura 05: Fibras sintéticas.

Fuente: Sika

b) Fibras de polipropileno, vidrio y nylon.

Sánchez Laparade (2009). Estos materiales se usan como microfibras destinadas a prevenir la fisuración del concreto en estado fresco o durante edades tempranas debido a la retracción plástica. Están diseñados para ser compatibles con el ambiente altamente alcalino de la matriz del concreto; sin embargo, en su caso particular, las fibras de vidrio deben ser resistentes a los álcalis. Algunas fibras existentes en el mercado pueden contener aditivos destinados a combatir bacterias o aumentar el asentamiento. Normalmente se usan bajas dosificaciones en masa, de alrededor de 1 kg/m³.

c) Fibras de acero.

Sánchez Laparade (2009). Las fibras de acero 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 hormigón en estado fresco empleando metodologías de mezclado tradicionales.

En función de la capacidad de aumentar la resistencia del hormigón. Las fibras serán estructurales si la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de hormigón. Las fibras serán no estructurales caso contrario.

Sánchez Laparade (2009). Las fibras suponen una mejora ante determinadas propiedades como el control de la fisuración por retracción, y el incremento en la resistencia al fuego, abrasión e impacto, de acero, se encuentra normalizadas en la norma ASTM A820/ A – 820 M-06.

Sánchez Laparade (2009). La fibra es un producto de acero caracterizado geoméricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del hormigón, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas.

La fibra está caracterizada geoméricamente por:

- “L”: Longitud de la Fibra (mm)
- “De”: Diámetro o diámetro equivalente de la fibra (mm)
- “λ”: Esbeltez o relación de aspecto de la fibra (L/De)
- “A”: Área de la sección transversal de la fibra (mm²)

Sánchez Laparade (2009). Las fibras de acero pueden ser de acero al carbono (en ocasiones con aleaciones con el fin de mejorar prestaciones técnicas y mecánicas) o acero inoxidable. También se pueden encontrar fibras con revestimiento de zinc o galvanizadas, que resultan menos costosas que las de acero inoxidable y presentan resistencia a la corrosión.

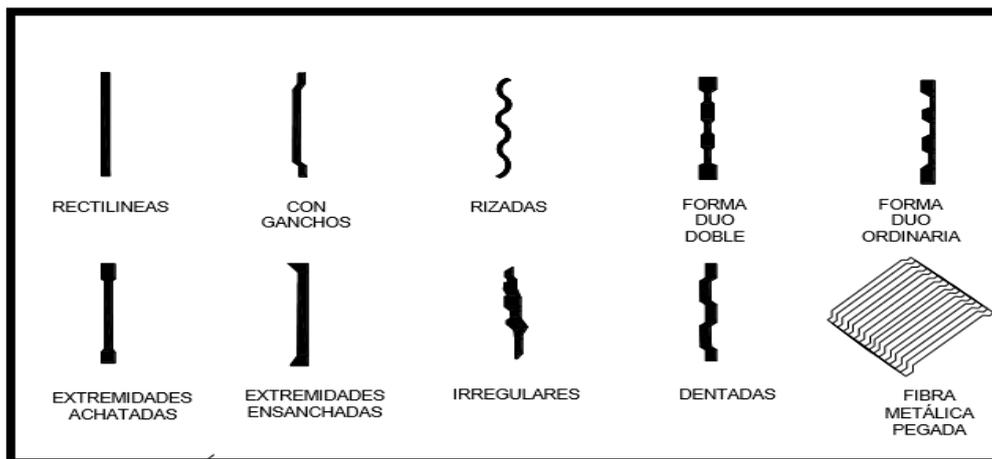


Figura 06: Secciones de las fibras comunes.

Fuente: Maccaferri

Características de las fibras.

a) Influencia de la longitud de la fibra.

Hernández (2010) señala lo siguiente:

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase del concreto. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la interfaz de las fases del concreto y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-concreto cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación como el que se muestra en la figura 11; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde el concreto.

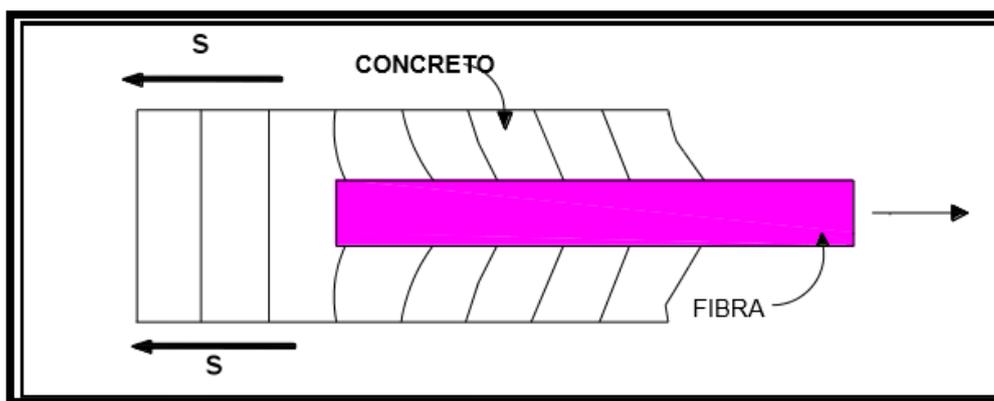


Figura 07: Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometido a un esfuerzo de tracción.

Fuente: Hernández

2.2.1.3. Diseño de mezclas (método ACI 211).

Rivva López (2013). El diseño de mezclas es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

Rivva López (2013). Existen diferentes métodos de diseños de mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos, sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión. En oportunidades no es necesario tener exactitud en cuanto a las proporciones de los componentes del concreto, en estas situaciones se frecuenta el uso de reglas generales, lo que permite establecer las dosis



correctas a través de recetas que permiten contar con un diseño de mezcla apropiado para estos casos.

Rivva López (2013). El procedimiento descrito en ACI 211 detalla dos métodos de proporcionar mezclas de concreto de peso normal y denso, que son:

- Basado en un peso estimado del concreto por volumen unitario.
- Basado en el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto

Rivva López (2013). Los métodos descritos proporcionan una aproximación preliminar de las cantidades de materiales necesarios para elaborar la mezcla de concreto, que luego deben ser verificadas mediante mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo y efectuar los ajustes que sean necesarios con el objetivo de lograr las características deseadas en el concreto fresco y endurecido.

Rivva López (2013). El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas de los Cuadros, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de concreto.

2.2.1.3.1. Requerimientos para el diseño de mezclas.

Según Rivva López (2013):

Será útil la siguiente información de materiales disponibles:

- a) Análisis granulométrico del agregado fino y grueso.
- b) Peso unitario del agregado grueso.
- c) Peso específico en masa, porcentaje de absorción y humedad de los agregados a utilizarse.
- d) Peso específico del cemento.
- e) Requerimientos de agua de mezclado, en base a experiencias con los agregados disponibles.
- f) Relaciones entre la resistencia y la relación agua cemento, para las combinaciones posibles de cemento y agregados.

2.2.1.3.2. Cálculo de la resistencia promedio requerida.

Rivva López (2013). Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requerida (f'_{cr}) se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos



consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada $f'c$. La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén 35 kg/cm² por debajo de la resistencia especificada $f'c$.

Según Rivva López (2013):

- Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el método 1 o el método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar “s” calculada.

$$f'cr = f'c + 1.34S \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$f'cr = f'c + 2.33S - 35 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$f'cr$ = Resistencia a la compresión requerida (kg/cm²).

$f'c$ = Resistencia a compresión específica (kg/cm²).

S = Desviación estándar (kg/cm²).

- Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizará la tabla 03 para la determinación de la resistencia promedio requerida.

Tabla 03: Resistencia a la compresión promedio.

$F'c$	$F'cr$
Menos de 210	$F'c + 70$
210 – 350	$F'c + 85$
Sobre 350	$1.1 * F'c + 50$

Fuente: RNE E060.

2.2.1.3.3. Pasos para el diseño de mezclas.

Paso N° 1: Selección del asentamiento.

Según Rivva López (2013). Si las especificaciones de obra no dan el asentamiento de la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla 04, podemos seleccionar un valor adecuado para el determinado trabajo que se va a utilizar.



Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

Tabla 04: *Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.*

Slump para diversos tipos de estructuras.		
Tipo de estructura	Slump maximo	Slump minimo
Zapatatas y muros de cimentacion reforzados	3"	1"
Cimentacion simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclopeo	2"	1"

Fuente: Rivva López.

Estos valores de asentamiento mostrado, se aplicarán cuando el método de consolidación utilizado sea vibración.

- Cuando se utilizan métodos de consolidación del concreto diferentes de vibración, estos valores pueden ser incrementados en 1".

Tabla 05: *Consolidación del concreto.*

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	$\geq 5"$

Fuente: Rivva López.

Pasó N° 2: Selección del tamaño máximo del agregado.

Según Rivva López (2013). Los concretos con mayor tamaño de agregados, requieren menos mortero por unidad de volumen de concreto que tamaños menores.

El tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor que sea económicamente compatible con las dimensiones de la estructura; en la medida en que el tamaño máximo del agregado grueso (piedra) nunca será mayor de:

- Un quinto de la dimensión más angosta entre caras del encofrado.
- Un tercio del espesor de las losas.



- Tres cuartos de la distancia libre entre barras o paquetes de barras o cables pretensores.

Pasó N° 3: Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

Según Rivva López (2013). La cantidad de agua por unidad de volumen de concreta necesaria para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento.

La tabla 06 nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

Como se observará, la tabla 08 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados.

La tabla 07 nos muestra, además, la cantidad aproximada de aire atrapado a ser esperado en un concreto sin aire incorporado y el promedio recomendado del contenido total de aire para concretos en los cuales el aire es incorporado intencionalmente por razones de durabilidad.

Tabla 06: *Requerimientos aproximados de agua de mezclado.*

Cantidad aproximada de agua para amasado.								
Slump	Tamaño maximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: Rivva López.

Tabla 07: *Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.*

Porcentaje de aire atrapado.								
Concreto sin aire incorporado.								
T. maximo de A°G° (")	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Aire atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20
Concreto con aire incorporado.								
T. maximo de A°G° (")	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Grado de exposicion								
Normal	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Moderada	8.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Extrema	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00

Fuente: Rivva López.

Paso N° 4: Selección de la relación agua cemento (a/c).

Según Rivva López (2013). La relación agua-cemento requerido es determinada teniendo en consideración no solamente la resistencia sino también factores como durabilidad y propiedades de acabado de concreto.

Desde que diferentes agregados y cementos, producen generalmente diferentes resistencias para una misma relación agua-cemento, es muy útil tener o desarrollar las interrelaciones entre la resistencia y la relación agua cemento para los materiales a ser usados en la preparación de la mezcla.

En el caso de no contar con estos datos, valores aproximados y relativamente conservadores para concretos preparados con cemento portland pueden ser tomados de la tabla 08 si en la preparación del concreto se utilizan materiales típicos, entonces las relaciones agua-cemento tabuladas producirán las resistencias mostradas, las cuales se han obtenido ensayando las muestras a los 28 días, curadas bajo condiciones estándares de laboratorio.

Tabla 08: *Relación agua-cemento de diseño en peso.*

Realación agua/ cemento vs resistencia requerida del concreto.		
f'cr a 28 dias (kg/cm2)	Relacion agua/cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Pasquel Carbajal.



- Los valores correspondidos a resistencias promedio para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 07. Para una relación agua-cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

Paso N° 5: Cálculo del contenido de cemento.

Según Rivva López (2013). La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto es igual al agua de mezclado (paso 3) dividido entre la relación agua-cemento (paso 4)

$$C. Ce = \left[\frac{A}{a/c} \right]$$

Donde:

C.Ce = Contenido de cemento (Kg/m³).

A = Agua de mezcla (Kg/m³).

a/c = Relación agua cemento para f_{cp}.

Si las especificaciones indican un contenido mínimo de cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla deberá diseñarse con aquel criterio que conduzca a una mayor cantidad de cemento.

Paso N° 6: Estimación del contenido de agregado grueso.

Según Rivva López (2013). Los agregados de esencialmente el mismo tamaño máximo y granulometría, producirían concreto de satisfactoria trabajabilidad, cuando un volumen dado de agregado seco y compactación es empleado por unidad de volumen de concreto.

La tabla 09, nos proporciona valores aproximados para estos volúmenes de agregado, como puede observarse, para similar trabajabilidad, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, depende solamente de su tamaño máximo y módulo de fineza del agregado fino.

El peso seco del agregado grueso por metro de concreto, en base al volumen seco y compactado del mismo, es igual al valor obtenido de la tabla 09, multiplicado por el peso unitario seco y compactado del agregado grueso.



$$C. Ag. Gr. = Vol. Ag. Gr. \times P. U. S. C.$$

Donde:

C. Ag. Gr. = Cantidad de agregado grueso (kg)

Vol. Ag. Gr. = Volumen de agregado grueso (cm³)

P. U. S. C. = Peso unitario seco y compactado del agregado grueso. (kg/cm³)

Tabla 09: *Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.*

Volumen del agregado grueso compactado.				
Volumen de A°G° compactado en seco.				
Tamaño máximo nominal A.G	Modulo de fineza de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.79	0.78	0.75
4"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Pasquel Carbajal.

- Los volúmenes de agregado grueso mostrados, está en condición seca y compactada, tal como se describe en la norma ASTM C29.

Estos volúmenes han sido seleccionados a partir de las relaciones empíricas para producir concretos con un grado de trabajabilidad para construcciones armadas usuales.

Paso N° 7: Estimación del contenido de agregado fino.

Según Rivva López (2013). Para la determinación del contenido agregado fino, ambos se basan en el hecho de que una vez concluido el paso n° 06, todos los ingredientes a excepción del agregado fino son conocidos por metro cubico de concreto, pudiendo hallarse el mismo por diferencia, empleando el método de los pesos o el método de los volúmenes. Es decir:

$$P.A.F. = PC^{\circ} - (P.A.G. + P.Ce + P.A.M.)$$

Donde:

P.A.F = Cantidad de agregado grueso (kg).

P.C° = Peso del concreto (kg).

P.A.G = Peso agregado grueso (kg).



P.Ce. = Peso del cemento (kg).

P.A.M = Peso del agua de mezclado (kg).

Cuando se desea un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por m^3 , puede emplearse la siguiente fórmula:

$$U = 10G_a (100-A) + CM (1-G_a/G_c) - WM (G_a-1)$$

Donde:

U = Peso del concreto fresco (kg/m^3).

G_a = Promedio pesado del peso específico de la combinación de agregado fino y grueso, a granel en condición SSS (kg/m^3).

G_c = Peso específico del cemento (kg/m^3).

A = Porcentaje de contenido de aire, (%).

WM = Requerimiento de agua de mezclado (kg/m^3).

CM = Requerimiento de cemento (kg/m^3).

Paso N°8: Ajuste por contenido de humedad de los agregados.

Según Rivva López (2013). Generalmente los agregados utilizados en la preparación de un concreto, se encuentran húmedos por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como superficial. Así el agua de mezclado añadida a la colada, debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido total de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

Por lo tanto, si:

Agregado grueso

Humedad total = W_g %

Porcentaje de absorción = a_g %

Agregado fino

Humedad total = W_f %

Porcentaje de absorción = a_f %



$$\text{P.A.G.H.} = \text{P.A.G.S.} \times (1 - \text{Wg}\%)$$

Donde:

P.A.G.H. = Peso del agregado grueso húmedo (kg)

P.A.G.S. = Peso del agregado grueso seco (kg)

Wg% = Porcentaje de humedad del agregado grueso (kg)

$$\text{P.A.F.H.} = \text{P.A.F.S.} \times (1 - \text{Wf}\%)$$

Donde:

P.A.F.H. = Peso del agregado fino húmedo (kg)

P.A.F.S. = Peso del agregado fino seco (kg)

Wf% = Porcentaje de humedad del agregado fino (kg)

$$\text{A.A.} = \text{A.N.} - \text{P.A.F.S.} \times (\text{Wf}\% - \text{af}\%) - \text{P.A.G.S.} \times (\text{Wg}\% - \text{ag}\%)$$

Donde:

A.A. = Agua a añadir (kg)

A.N. = Agua neta o efectiva (kg)

P.A.G.S. = Peso del agregado grueso seco (kg)

P.A.F.S. = Peso del agregado fino seco (kg)

2.2.1.4. Elaboración de probetas de concreto.

2.2.1.4.1. Operaciones previas.

Según la Norma Técnica Peruana 339.033. (2015):

- Cuando se preparen varias probetas de la misma muestra, se moldearán simultáneamente.
- El concreto usado en ensayos de asentamiento, aire incorporado u otros, no será empleado para la prueba de resistencia.
- El moldeo de las probetas se efectúa sobre una superficie horizontal, libre de vibraciones y protegida del tránsito.
- Antes del llenado se verificará que los moldes y bases se encuentran limpios y aceitados.
- La junta entre la base y el molde, se puede sellar con material trabajable a temperatura ambiente, como mezclas de parafina y cera, arcilla de moldear y grasa pesada.
- De ser necesario se efectuará un premezclado a mano, utilizando la plancha de albañil, para tener un pastón con características de uniformidad.



2.2.1.4.2. Muestreo de probetas cilíndricas.

Según la Norma Técnica Peruana 339.033. (2015):

- Los especímenes deben ser cilindros de concreto vaciado y fraguado en posición vertical, de altura igual a dos veces el diámetro, siendo el espécimen estándar de 6×12 pulgadas, o de 4×8 pulgadas para agregado de tamaño máximo que no excede las 2”.
- Las muestras deben ser obtenidas al azar, por un método adecuado y sin tener en cuenta la aparente calidad del concreto. Se deberá obtener una muestra por cada 120 m³ de concreto producido o 500 m² de superficie llenada y en todo caso no menos de una diaria. Este ya es un tema sujeto al criterio del ingeniero residente o del supervisor de obra, ya que la importancia de determinado elemento estructural puede ameritar la toma de un mayor número de muestras para control.

Colocar el molde sobre una superficie rígida, horizontal, nivelada y libre de vibración.

- Colocar el concreto en el interior del molde, depositándolo con cuidado alrededor del borde para asegurar la correcta distribución del concreto y una segregación mínima.
- Llenar el molde en tres capas de igual volumen. En la última capa agregar la cantidad de concreto suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. Ajustar el sobrante o faltante de concreto con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes. Cada capa se debe compactar con 25 penetraciones de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compacta penetrando no más de 1” en la capa anterior. Después de compactar cada capa golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas (es usual dar pequeños golpes con la varilla de fierro en caso de no contar con el mazo de goma).
- Enrasar el exceso de concreto con la varilla de compactación y completar con una llana metálica para mejorar el acabado superior. Debe darse el menor número de pasadas para obtener una superficie lisa y acabada.
- Identificar los especímenes con la información correcta respecto a la fecha, tipo de mezcla y lugar de colocación. Hay que proteger adecuadamente la cara descubierta de los moldes con telas humedecidas o películas plásticas para evitar la pérdida de agua por evaporación.
- Después de elaboradas las probetas se transportarán al lugar de almacenamiento donde deberán permanecer sin ser perturbados durante el periodo de curado inicial. Si la parte superior de la probeta se daña durante el traslado se debe dar nuevamente el acabado.



Durante las primeras 24 horas los moldes deberán estar a las siguientes temperaturas: para $f'c > 422 \text{ kg/cm}^2$: entre 20 y 26°C y para $f'c < 422 \text{ kg/cm}^2$: entre 16 y 27°C.

- No deben transcurrir más de 15 minutos entre las operaciones de muestreo y moldeo del pastón de concreto. Se deben preparar al menos (02) probetas de ensayo de cada muestra para evaluar la resistencia a la compresión en determinada edad por el promedio. Lo usual es evaluar resistencias a los 7 y 28 días.

2.2.1.4.3. Desmoldeo.

Según la Norma Técnica Peruana 339.033. (2015):

- Las probetas se retirarán de los moldes entre las 18 y 24 primeras horas después de moldeadas. Se procederá soltando los elementos de cierre y, luego de un momento, se retirará cuidadosamente la probeta.
- Se marcarán en la cara circular de la probeta las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde, utilizando lápiz de cara o un pincel con pintura negra. Las probetas deberán ser llevadas a mano a la cámara de curado.

2.2.1.4.4. Curado.

Según Abanto Castillo, el curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento).

Si el concreto se seca muy rápidamente se producen rajaduras superficiales y además se le impide alcanzar la resistencia especificada. Los agentes más perjudiciales son el sol y el viento, debe evitarse que estos lleguen al concreto fresco (Abanto Castillo).

El concreto alcanza el 70% de su resistencia especificada a los 7 días del vaciado. La resistencia final del concreto depende en gran manera de las condiciones de humedad y temperatura durante este periodo inicial. El 30% o más puede perderse por un secado prematuro del concreto o si la temperatura baja a 5°C o menos durante los primeros, a menos que se mantenga el concreto continuamente húmedo durante un largo tiempo después del descenso de la temperatura. La congelación del concreto fresco puede reducir su resistencia hasta en 50% (Abato Castillo).

2.2.1.5. Propiedades del concreto fresco.

Pasquel Carbajal (1998). Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto



depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. 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.

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento mantiene siempre una película de mortero de al menos 1/4" sobre el agregado grueso. El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo, debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo. Una práctica recomendada por el U.S. bureau of reclamation, consiste en que una vez concluida la determinación del slump se procede a golpear con la varilla la plancha metálica de base, provocando el desmoronamiento del concreto lo que permite una estimación visual de la capacidad de acomodo al compactarlo (Pasquel Carbajal,1998).

2.2.1.5.1. Trabajabilidad.

Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones. No existe prueba alguna que permita cuantificar esta propiedad, generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia (Pasquel Carbajal,1998).

2.2.1.5.2. Consistencia.

Está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. El ensayo de consistencia llamado revenimiento (asentamiento) es utilizado para caracterizar el comportamiento del concreto fresco, es la prueba desarrollada por Duff Abrams fue adaptada en 1921 por el ASTM y corregida en 1978 (Pasquel Carbajal,1998).

2.2.1.6. Propiedades del concreto en estado endurecido.

2.2.1.6.1. Elasticidad

Pasquel Carbajal (1998). En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando,

ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un porcentaje de la tensión última. En la figura 08 se esquematiza la curva carga vs deformación típica del concreto. Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg/cm² y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y en relación inversa con la relación agua/cemento. Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. La norma que establece como determinar el módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469.

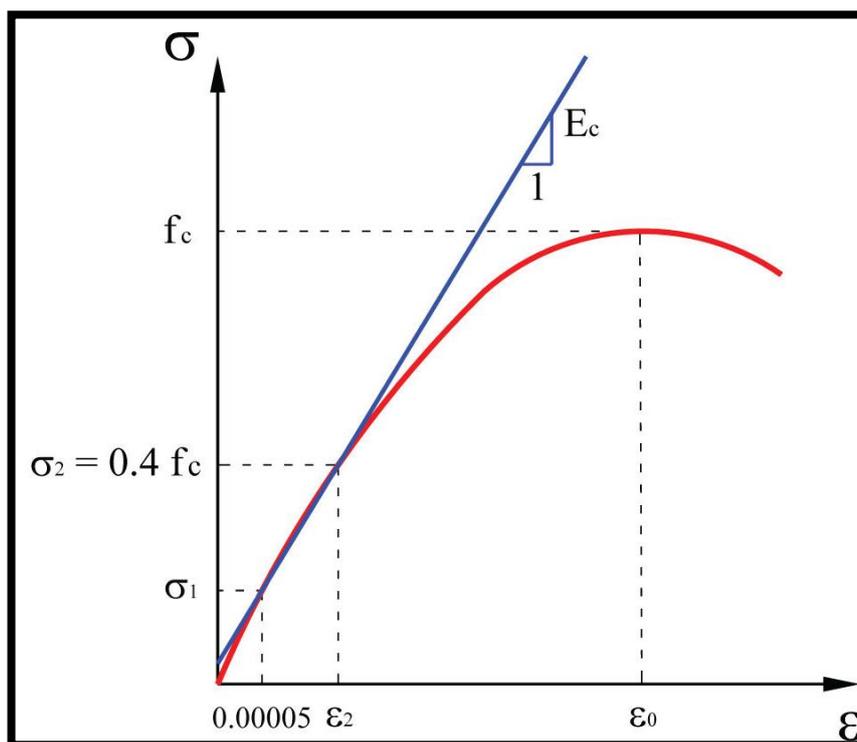


Figura 08: Curva esfuerzo vs deformación típica del concreto.

Fuente: Carrillo Julián

2.2.1.6.2. Resistencia

Pasquel Carbajal (1998). Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua/cemento en peso. La



afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto. Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 kg/cm², habiéndose logrado optimizaciones de diseños sin aditivos que han permitido obtener resistencias sobre los 700 kg/cm². Tecnologías con empleo de los llamados polímeros, constituidos por aglomerantes sintéticos que se añaden a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión que bordean los 1,500 kg/cm², y todo parece indicar que el desarrollo de estas técnicas permitirá en el futuro superar incluso estos niveles de resistencia (Pasquel Carbajal, 1998).

2.2.1.6.3. Rigidez

La rigidez se puede definir como la propiedad que tiene un material para oponerse a la deformación. La rigidez del material se cuantifica mediante el módulo de elasticidad o de Young (E). Ante un mismo esfuerzo, el material con mayor E se deforma menos, o la norma permite adoptar cualquier suposición razonable para la estimación de la rigidez en flexión (EI) y en torsión (GJ) de las columnas, vigas, muros, etc. Las suposiciones que se hagan deberán ser consistentes a lo largo de todo el análisis. (Pasquel Carbajal, 1998).

2.2.1.6.4. Ductilidad

La ductilidad se define como la propiedad del concreto de soportar deformaciones una vez alcanzado su límite elástico; es decir, la capacidad de deformarse en el rango inelástico sin colapsar definido por la relación entre la deformación unitaria última del concreto y la deformación unitaria para un f'_c máximo del concreto (Ottazzi, 2004).

La ductilidad es una de las propiedades más importantes en el comportamiento de las edificaciones de concreto armado ante sismos severos y poco frecuentes. El comportamiento dúctil de una sección de concreto armado se logra principalmente por la ductilidad del acero de refuerzo, permitiendo alcanzar grandes deformaciones luego de superar el límite de elasticidad. Caso contrario sucede con el concreto, el cual es un material frágil y con poca resistencia a la tracción. (Wendel y Keller, 2013).



Ottazzi (2004). Se han propuesto numerosas ecuaciones o modelos para describir analíticamente la curva esfuerzo – deformación del concreto en compresión. El problema es complejo ya que intervienen numerosas variables, entre ellas la presencia de confinamiento.

Afortunadamente las normas permiten simplificaciones importantes en el modelo de comportamiento que se utiliza para el diseño de secciones de concreto armado, por ejemplo, el ACI permite utilizar un bloque de compresiones rectangular. Sin embargo, cuando es necesario calcular (investigar) con mayor precisión la resistencia y ductilidad de un elemento, es necesario utilizar algún modelo de comportamiento. Hay que tener presente que rara vez se pueden determinar con precisión todas las variables que pueden influir en la forma de la curva y en los valores asociados de esfuerzos y deformaciones (Ottazzi, 2004).

2.2.1.7. Ensayos para determinar las magnitudes de la ductilidad del concreto.

Según Pasquel Carbajal (1998). El estudio de las propiedades del concreto que más influyen en el diseño son las que se refieren a su estado sólido es decir después de fraguar y durante el proceso de endurecimiento. En esta fase adquiere las características deseables para comportarse como un material estructural, con capacidad para soportar o transmitir cargas.

2.2.1.7.1. Resistencia a la compresión.

Según ASTM C-39:

- Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.
- Depende principalmente de la concentración de la pasta del cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación agua - cemento en peso.
- La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados que complementan la estructura del concreto.
- Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto

a) Equipos

Según ASTM C-39:



- Máquina de ensayo, la máquina de ensayo debe ser de un tipo tal, que tenga suficiente capacidad de carga y que reúna las condiciones de velocidad descritas en el ítem “c”.

b) Muestra

Según ASTM C-39:

- Las muestras no se deben ensayar si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro en más de 2%.
- Ninguna de las muestras ensayadas a compresión se debe separar de la perpendicularidad del eje en más de $0,5^\circ$ (equivalentes a 3 mm en 300 mm (0,12” en 12”) aproximadamente). El extremo de una muestra que no sea plana en 0.05 mm (0,002”) debe ser refrentado de acuerdo a lo indicado por la norma MTC E 703 o cuando se le permita la NTP 339.216. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal de la muestra se debe determinar con una precisión de 0,25 mm (0,01”), promediando los dos diámetros medidos en ángulo recto uno con respecto al otro y en la mitad del espécimen.

- El número individual de cilindros medidos para la determinación del diámetro promedio se puede reducir a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, lo que sea mayor, si se sabe que todos los cilindros han sido hechos con un único lote de moldes reutilizables que consistentemente producen especímenes de diámetro promedio en una variación de 0,50 mm (0,02”).

Cuando el diámetro promedio con un rango de variación de 0,50 mm o cuando los cilindros no están hechos con un único lote de moldes, cada cilindro ensayado se debe medir y el valor encontrado ser usado en los cálculos de la resistencia a la compresión de cada muestra. Cuando los diámetros son medidos con frecuencia reducida, el área de los cilindros ensayados en un determinado día se calculará como el promedio de la de los tres (3) o más cilindros que representan el grupo ensayado dicho día.

- Para la determinación de la densidad de la muestra, se debe remover cualquier humedad de la superficie con una toalla y medir la masa de la muestra usando una balanza o báscula con una precisión del 0,3% de la masa que esté siendo medida. Se debe medir la longitud de la muestra con una aproximación de 1 mm (0,05”) en tres partes espaciadas regularmente alrededor de la circunferencia. Se debe sacar un promedio de la longitud con una precisión de 1mm (0,05”). Alternativamente, se puede determinar la densidad del cilindro pesándolo en el aire y luego en el agua a $23^\circ \pm 2^\circ$ C, y calculando el volumen.

Cuando no se requiera determinar la densidad y la relación longitud/diámetro del cilindro sea menor de 1,8 ó mayor de 2,2 la longitud de éste se deberá medir con una aproximación de 0,05 D.

c) Procedimiento

Según ASTM C-39:

- El ensayo de compresión de muestras curadas en agua se debe hacer inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado.
- Las muestras se deben mantener húmedas utilizando cualquier método conveniente, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando son ensayadas. Se deberán ensayar en condición húmeda.
- Todos los especímenes de una edad determinada, se deben romper dentro de las tolerancias indicadas a continuación:

Tabla 10: *Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes.*

Edad del Ensayo	Tolerancias
12 horas	0,25 o 2.1%
24 horas	+ - 0.5 horas o 2.1%
3 días	2 horas o 2.28%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas 3.0%
56 días	40 horas o 3.0%
90 días	2 días o 2.2%

Fuente: Manual de ensayo de materiales MTC

- Colocación de la muestra, se coloca el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior.
Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se coloca el espécimen sobre el bloque inferior.



Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se debe rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

Antes de ensayar el espécimen se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

- Velocidad de carga, se aplica la carga continuamente sin golpes bruscos.
- La carga se deberá aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se debe mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.
- Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.
- Se aplica la carga hasta que el indicador señale que ella comienza a decrecer de manera continua y el cilindro muestra un patrón de falla bien definido. Si se usa una máquina equipada con un detector de rotura del espécimen no se permitirá su reconexión hasta que la carga haya caído a un valor menor de 95% de la máxima.
- Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última.
- Si la resistencia medida es muy inferior a la esperada, se examina el cilindro para detectar zonas con vacíos o con evidencias de segregación o si la fractura atraviesa partículas del agregado grueso y se verifican, también, las condiciones del refrentado.

d) Cálculos

Según ASTM C-39:

- Se calcula la resistencia a la compresión, dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo, por el promedio del área de la sección transversal, y expresando el resultado con una aproximación de 0,1 MPa (10 psi).
- Si la relación entre la longitud del espécimen y su diámetro es 1,75 o menor, se corrige el resultado multiplicándolo por el factor apropiado de los que se indican a continuación:

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

e) Evaluación estadística de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión del concreto.

Un concepto fundamental que hay que tener muy claro es que los métodos de diseño estructural en concreto son probabilísticos, es decir se basan en consideraciones estadísticas que asumen una cierta probabilidad de que los valores de $f'c$ se obtengan en obra dentro de cierto rango, al estar demostrado que la resistencia del concreto verificada bajo condiciones controladas, sigue con gran aproximación la distribución probabilística normal (Pasquel Carbajal, 1998).

Está demostrado científicamente que los resultados de resistencia a la compresión de un determinado concreto tienen una distribución de frecuencias que se ajusta a la denominada Distribución Normal (Pasquel Carbajal, 1998).

Otro parámetro muy útil para evaluaciones estadísticas lo constituye el coeficiente de variación (Pasquel Carbajal, 1998).

El coeficiente de variación (CV), es un cociente entre la desviación estándar y la media de los datos, expresado en porcentaje. Este parámetro es muy útil para evaluaciones estadísticas, permite comparar la variabilidad de diferentes muestras de una población o la variabilidad entre variables diferentes. En general un CV menor indica que los datos tienen poca variabilidad, que es lo mismo que decir que los valores observados son en general, cercanos al valor medio (Discovski, 2008).

$$CV = \frac{S * 100}{\mu}$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación (%).

S = Desviación estándar.

μ = Media de los datos.

En la tabla 11, muestra distintos rangos en coeficiente de variación según el INEI, y su respectiva clasificación en cuanto a si la estimación es confiable o no en términos estadísticos.

Tabla 11: *Clasificación del coeficiente de variación.*

Clasificación	Rango del coeficiente de variación (%)
Muy bueno	[0 , 5]
Bueno	[5 , 15]
Regular	[15 , 20]
Malo	[20 , 100]

Fuente: INEI Perú.

La distribución normal, que depende de la desviación estándar, permite estimar matemáticamente la probabilidad de ocurrencia, se infiere que en la medida que aumenta el valor de D_s la curva se vuelve más plana y alargada, como consecuencia mayor dispersión puesto que los datos se alejan del promedio y contrariamente, al disminuir D_s los valores tienden a agruparse cerca del promedio con menor dispersión (Pasquel Carbajal, 1998).

Tabla 12: *Valores de dispersión en el control del concreto.*

Dispersión total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

Fuente: Pasquel Carbajal.

Para evaluar los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión, se realizará un análisis estadístico por el criterio de Chauvenet y además un análisis como lo sugiere Pasquel Carbajal, de desviación estándar y coeficiente de variación (Pasquel Carbajal, 1998).

Antonio Abunahman (2005). El criterio de Chauvenet es un método estadístico usado para calcular si un dato experimental (a partir de ahora llamado dato dudoso), de un conjunto de datos experimentales, es probable que sea un valor atípico, este criterio rechaza el valor si:

$$Xi - X > Kn * S$$

Donde:

X_i = Valor de repetición.

X = Media del conjunto.

K_n = Coeficiente de Chauvenet.

S = Desviación estándar.

Tabla 13: *Criterio de Chauvenet para rechazar una lectura.*

n	k_n	n	k_n	n	k_n
2	1.15	8	1.86	30	2.40
3	1.35	9	1.92	40	2.48
4	1.54	10	1.96	50	2.57
5	1.65	15	2.13	100	2.81
6	1.73	20	2.24	300	3.14
7	1.80	25	2.33	500	3.29
-		-		1000	3.48

Fuente: Antonio Abunahman.

2.2.1.7.2. Módulo de elasticidad.

Según ASTM C – 469:

- El módulo de elasticidad, definido por la ecuación $E = \text{esfuerzo} / \text{deformación}$, es una medida de la tenacidad y rigidez, es decir la resistencia a la deformación del concreto.
- El hormigón no es un material verdaderamente elástico, pero el hormigón que ha endurecido por completo y se ha cargado en forma moderada tiene una curva de esfuerzo de compresión- deformación que, en esencia, es una recta dentro del rango de los esfuerzos usuales de trabajo.
- En general, los módulos de elasticidad se determinan a partir de pruebas a la compresión de cilindros de hormigón. Los diferentes valores que pueden determinarse a partir de una



prueba incluyen el módulo tangente inicial, el módulo secante y el módulo cuerda. Cada uno de estos valores se puede representar por la pendiente de la recta adecuada.

a) Equipos

Según ASTM C – 469:

- Máquina de ensayo, puede ser usada cualquier tipo de máquina de ensayo capaz de imponer una carga en la rata y de la magnitud establecida en el ítem c. La cabeza esférica y los bloques de apoyo estarán conforme con la norma ASTM C 39.
- Compresómetro, para determinar el módulo de elasticidad, se debe disponer de un dispositivo sensible unido o no a la probeta, para medir con una aproximación de 5 millonésima la deformación promedio de dos marcas de referencia diametralmente opuestas, cada una paralela al eje y centradas hacia la mitad de la altura del espécimen. La longitud efectiva de cada marca de referencia no deberá ser menor que tres veces el tamaño máximo del agregado en el concreto ni mayor que $2/3$ la altura del espécimen; la longitud preferida de las marcas de referencia es la mitad de la altura del espécimen. Las marcas de referencia pueden ser embebidas o adheridas al espécimen y la deformación de las dos líneas leídas independientemente; o puede ser usado un compresómetro, consistiendo en dos anillos, uno de los cuales está rígidamente ligado al espécimen y el otro ligado en dos puntos diametralmente opuestos de tal forma que está libre para rotar. En un punto de la circunferencia del anillo o yugo, a mitad entre los dos puntos de soporte, deberá ser usado un vástago pivotado para mantener una distancia constante entre los dos anillos. En el punto opuesto en la circunferencia del yugo rotativo, el cambio de distancia entre los dos anillos (esto es la lectura del deformímetro), sea igual a la suma del desplazamiento debido a la deformación del espécimen y el desplazamiento debido a la rotación del yugo sobre el pivote.
- La deformación puede ser medida por un dial usado directamente o por un sistema multiplicador de palanca, por un deformímetro de alambre o por un transformador diferencial lineal variable. Si la distancia del vástago pivotado y el medidor del plano vertical que pasa a través del punto de soporte del yugo rotativo son iguales, la deformación del espécimen es igual a un medio la lectura del dial. Si estas distancias no son iguales, la deformación deberá ser calculada como sigue:



$$d = g \text{ er } / (\text{er} + \text{eg}) \text{ (1)}$$

Donde:

d = Deformación total del espécimen a lo largo de la longitud efectiva de la línea de referencia, (μ pulg., μ m)

g = Lectura del dial, (μ pulg., μ m)

er = La distancia perpendicular, (pulg., mm), con aproximación de 0.01 pulg. (0.254 mm) desde el vástago pivotado al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del yugo rotativo.

eg = La distancia perpendicular, (pulg., mm), con aproximación de 0.01 pulg. (0.254 mm) desde el dial a al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del yugo rotativo.

b) Especímenes de ensayo

Según ASTM C – 469:

- Especímenes cilíndricos moldeados, los cilindros para ensayo serán moldeados de acuerdo con los requisitos para ensayo de probetas a compresión de la ASTM C39. Los especímenes estarán sujetos a las condiciones de curado especificado y ensayados a la edad para la cual se desea la información de elasticidad. Las probetas serán ensayadas dentro de 1 hora después de removerlos del curado o sala de almacenamiento. Las probetas sacadas del cuarto húmedo para ensayo, serán mantenidas húmedas mediante una tela húmeda que las cubra durante el intervalo de tiempo entre la remoción y el ensayo.
- Los extremos de los especímenes de ensayo serán perpendiculares a su eje (con tolerancia de $\pm 0.5^\circ$) y planos (dentro de 0.02 pulg., 0.05 mm). Los agregados salientes que ocurren en los extremos de la probeta pueden ser reparados con tal que el área total de los salientes no exceda el 10% del área del espécimen y las reparaciones sean hechas antes de completar el cabeceado o esmerilado. Será considerado plano dentro de la tolerancia, cuando una lámina calibrada de 0.002 pulg. (0.5 mm) no pase entre la superficie del espécimen y una lámina recta apoyada contra la superficie.
- El diámetro del espécimen de ensayo será medido por calibre con aproximación de 0.01 pulg. (0.25 mm) promediando dos diámetros medidos en ángulo recto entre sí, cerca del centro de la longitud del espécimen. Este diámetro promedio será usado para calcular el área de la sección transversal. La longitud del espécimen moldeado, incluyendo su



cabeceado será medida y reportado con una aproximación de 0.1 pulg. (2.54 mm). La longitud de los especímenes taladrados será medida de acuerdo con la norma ASTM C 174; la longitud, incluyendo el cabeceado, será reportada con una aproximación de 0.1 pulg.

c) Procedimiento

Según ASTM C – 469:

- Durante el ensayo, mantenga la temperatura ambiente y la humedad tan constante como sea posible. Registre alguna fluctuación inusual de la temperatura o humedad en el informe.
- Use el espécimen compañero para determinar la resistencia a la compresión de acuerdo al método de ensayo ASTM C39, previo al ensayo para módulo de elasticidad.
- Coloque el espécimen, con el equipo medidor de deformaciones unido, en la platina inferior o bloque de apoyo de la máquina de ensayo. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de carga superior con asiento esférico. Anote la lectura del deformímetro. A medida que el bloque de asiento esférico es llevado lentamente a asentarse sobre la probeta, rotar la parte móvil del bloque suavemente con las manos hasta que se obtenga un apoyo uniforme.
- Cargue el espécimen al menos dos veces. No registre ningún dato durante la primera carga. Los cálculos se basarán en el promedio de los resultados de las subsecuentes cargas. Por lo menos dos cargas subsecuentes son recomendadas para que la repetitividad del ensayo pueda ser notada. Durante la primera carga, la cual es primeramente para ajustar los deformímetros, observar el comportamiento de estos y corregir cualquier comportamiento inusual previo a la segunda carga. Obtener cada conjunto de lecturas como sigue: Aplique la carga continuamente y sin golpe. Las máquinas de ensayo tipo tornillo con cabezal móvil viajan a una rata de alrededor 0.05 pulg. (1.25 mm) / minuto cuando la maquina está corriendo libre. En máquinas operadas hidráulicamente, aplique la carga a una rata constante dentro del rango 35 ± 5 psi (241 ± 34 kPa)/segundos. Sin interrupción de carga, registre la carga aplicada y la deformación longitudinal en el punto (1) cuando la deformación longitudinal es 50 millonésima y (2) cuando la carga aplicada es igual al 40 % de la carga última. La deformación longitudinal es definida como el total de la deformación longitudinal dividida por la longitud efectiva del patrón.
- El módulo de elasticidad y la resistencia pueden ser obtenidos en la misma carga suministrada, aun cuando los deformímetros sean prescindibles, removibles o adecuadamente protegidos para cumplir con los requerimientos de carga continúa dados en

el método de ensayo ASTM C 39. En este caso, registrar varias lecturas y determinar el valor de la deformación al 40 % de la carga última por interpolación.

- Si se toman lecturas intermedias, dibujar los resultados de cada una de los tres ensayos con la deformación longitudinal en las abscisas y el esfuerzo de compresión en las ordenadas.

d) Cálculos

Según ASTM C – 469:

Calcúlese el módulo de elasticidad, de la siguiente manera:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)}$$

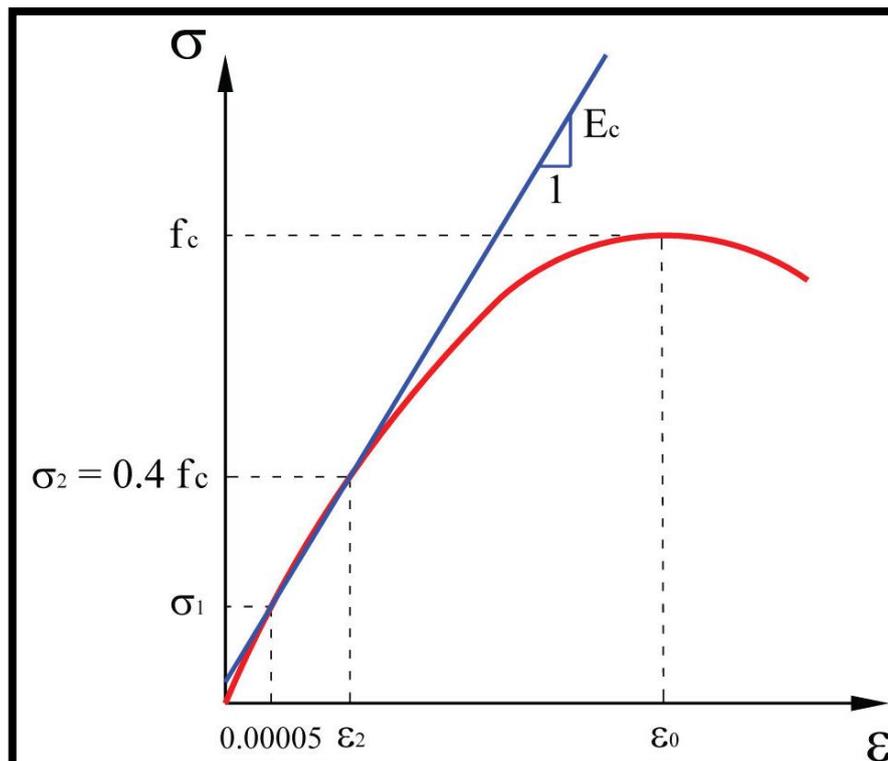


Figura 09: Curva esfuerzo vs deformación típica del concreto.

Fuente: Carrillo Julián

Donde:

E = Módulo de elasticidad secante, (kg/cm²).

S₂ = Esfuerzo correspondiente al 40 % de la carga última, (kg/cm²).

S₁ = Esfuerzo correspondiente a la deformación longitudinal, ϵ_1 , de 50 millonésima, (kg/cm²).

ϵ_2 = Deformación longitudinal producida por el esfuerzo S₂, (mm).



la práctica del diseño resistente a los terremotos, el término ductilidad se utiliza para evaluar el comportamiento sísmico de estructuras, mediante la indicación de la cantidad de energía sísmica que puede ser disipada mediante deformaciones plásticas (Gioncu, 2000).

Los tipos de ductilidad que se utilizan son los siguientes (Gioncu, 2000):

- Ductilidad del material o ductilidad axial, que caracteriza a las deformaciones plásticas del propio material.
- Ductilidad de la sección transversal, o ductilidad de curvatura, que se refiere a las deformaciones plásticas de la sección transversal, teniendo en cuenta la interacción entre las partes que componen la sección transversal en sí.
- Ductilidad del elemento, o la ductilidad de rotación, cuando se consideran las propiedades del elemento.
- Ductilidad de la estructura, o ductilidad de desplazamiento, que considera el comportamiento de toda la estructura.

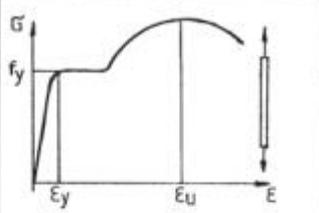
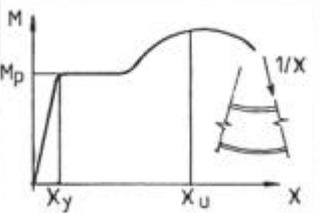
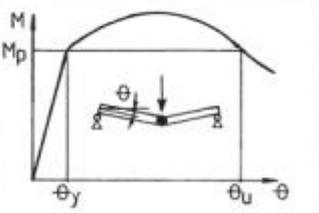
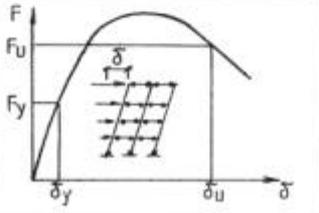
Ductility types	Schematic representation	Definition
Material (axial) ductility		$\mu_\epsilon = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y}$
Cross-section (curvature) ductility		$\mu_x = \frac{\chi_u}{\chi_y}$
Member (rotation) ductility		$\mu_\theta = \frac{\theta_u}{\theta_y}$
Structure (displacement) ductility		$\mu_\delta = \frac{\delta_u}{\delta_y}$

Figura 11: Tipos de ductilidad, gráficas y definiciones

Fuente: Gioncu (2000)

2.3. Hipótesis.

2.3.1. Hipótesis general.

Al hacer un análisis comparativo entre los valores de la ductilidad de un concreto $f'c = 210$ kg/cm² adicionado con 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas frente a un concreto patrón $f'c = 210$ kg/cm², estos aumentan.

2.3.2. Sub hipótesis.

Hipótesis específico n° 1

Al hacer un análisis comparativo entre los valores de la resistencia a la compresión de un concreto $f'c = 210$ kg/cm² adicionado con 0.6 kg/m³ y 1.0 kg/m³ de fibras sintéticas frente a un concreto patrón $f'c = 210$ kg/cm², estos aumentan.



Hipótesis específico n° 2

Al hacer un análisis comparativo entre los valores del módulo de elasticidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con 0.6 kg/m^3 y 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas frente a un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, estos aumentan.

2.4. Definición de variables.

2.4.1. Variables independientes.

- Fibras sintéticas
 - **Descripción:** Fibra sintética que se adiciona al concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
 - Nivel
 - 0.6 kg/m^3
 - 1.0 kg/m^3
 - **Indicadores**
 - Peso por metro cúbico (kg/m^3)
- Concreto
 - **Descripción:** El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos.
 - Nivel
 - Cemento Frontera IP
 - Agua potable
 - Agregado grueso
 - Agregado fino
 - **Indicadores**
 - Volumen (m^3)

2.4.2. Variables dependientes.

- Ductilidad
 - **Descripción:** La ductilidad se define como la relación entre la deformación unitaria última entre la deformación unitaria alcanzada para un $f'c$ máximo.
 - Nivel
 - Resistencia a la compresión
 - Módulo de elasticidad



○ **Indicadores**

- Esfuerzo (kg/cm²)
- Deformación unitaria (ϵ_u)
- Fuerza (kg)
- Área (cm²)



2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables.

Tabla 14: *Tabla de operacionalización de variables.*

Tipo de variable	Denominación	Descripción	Nivel	Indicadores	Instrumentos
Variables independientes	Fibra sintética	Fibra sintética que se adiciona al concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.	0.6	Peso por metro cubico (kg/m ³)	Ficha Informativa Sika
			1.0		
	Concreto	El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción.	Cemento IP	Volumen (m ³)	ASTM C150/C150 M NTP 334.009 ASTM C 33
			Agua potable	Peso (kg)	
			Agregado grueso		
	Agregado fino				
Variables dependientes	Ductilidad	La ductilidad se define como la propiedad del concreto de soportar deformaciones una vez alcanzado su límite elástico; es decir, la capacidad de deformarse en el rango inelástico sin colapsar.	Resistencia a la compresión ($f'c$)	Fuerza (kg) Area (cm ²)	ASTM C39
			Modulo de elasticidad (E_c)	Esfuerzo (kg/cm ²) Deformación unitaria (ϵ_u)	ASTM C469

Fuente: Elaboración propia.



3. Metodología

3.1. Metodología de la tesis.

3.1.1. Enfoque de la investigación.

El enfoque de la presente investigación es de tipo cuantitativa ya que usa la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías, además que en este enfoque los planteamientos a investigar son específicos y delimitados desde el inicio del estudio. (Hernández y Fernández, 2006).

Para obtener tales resultados el investigador recolecta datos numéricos de los objetos, fenómenos o participantes, que estudia y analiza mediante procedimientos estadísticos para luego ser procesados (Hernández y Fernández, 2006).

En esta investigación se midió los valores de las propiedades mecánicas del concreto (resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, ductilidad)

3.1.2. Nivel de la investigación.

Descriptivo, los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas, para así describir lo que se investiga. (Hernández y Fernández, 2006)

3.1.3. Método de investigación.

El método de la investigación es de tipo hipotético deductivo, este tipo de estudio consiste en hacer observaciones manipulables y analíticas, a partir de las cuales se formulan hipótesis que serán comprobadas mediante experimentos controlados. El método hipotético deductivo es un proceso iterativo, es decir, que se repite constantemente, durante el cual se examinan hipótesis a la luz de los datos que van arrojando los experimentos (Hernández y Fernández, 2006).

En esta investigación se utilizó en método hipotético deductivo por que se partió de una hipótesis, la cual se comprobó mediante un proceso experimental, el cual nos permitió demostrar la hipótesis planteada.



3.2. Diseño de la investigación.

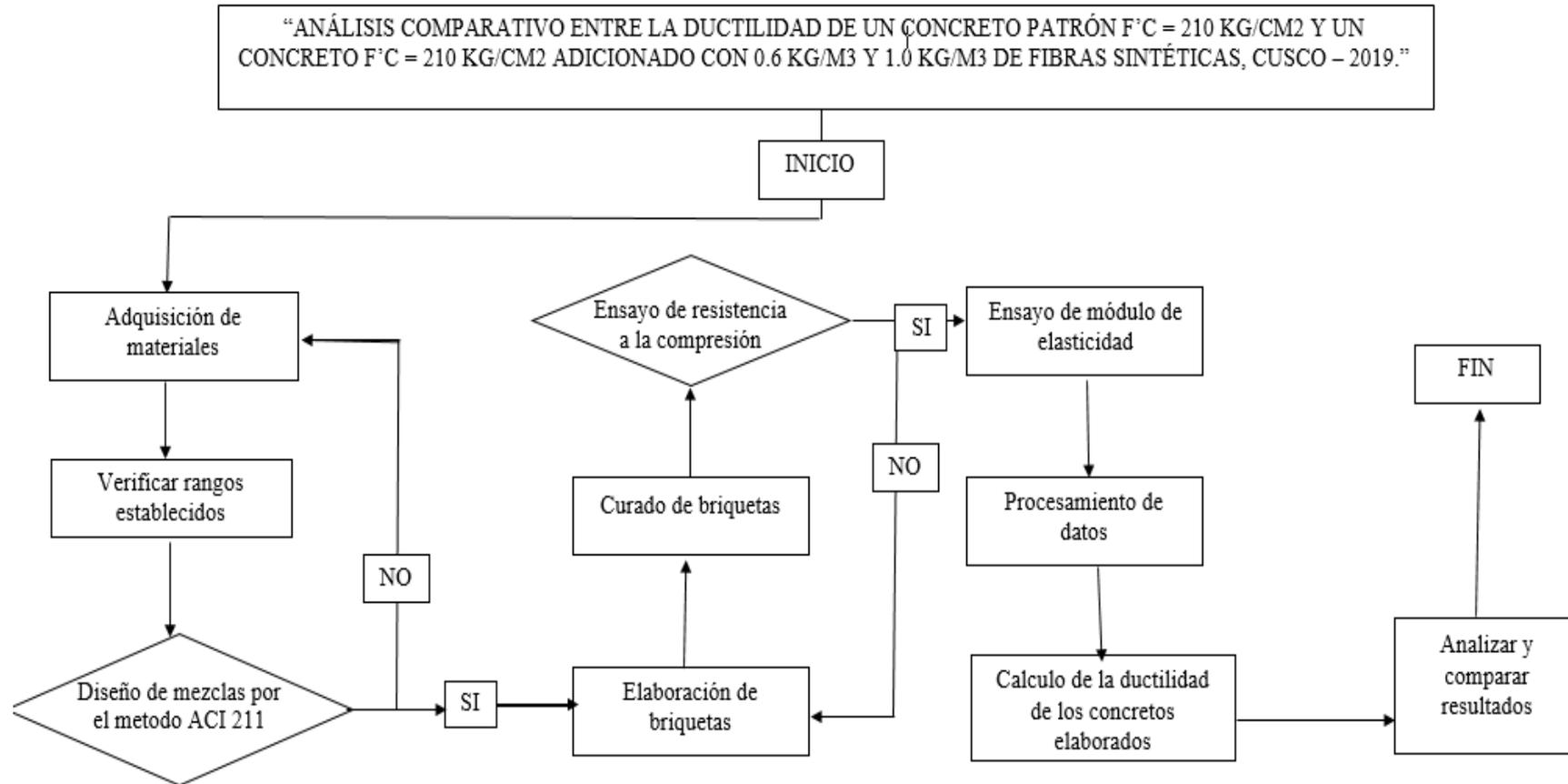
3.2.1. Diseño metodológico.

Experimental: Es un proceso sistemático y una aproximación científica a la investigación en la cual el investigador manipula una o más variables, controla y mide cualquier cambio en mismas (Hernández y Fernández, 2006).

En esta investigación se ha modificado las propiedades mecánicas de un concreto patrón añadiendo fibras sintéticas Sikafiber en 0.6 y 1.0kg/m³ de concreto.



3.2.2. Diseño de ingeniería.





3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población.

3.3.1.1. Descripción de la población.

La población está conformada por especímenes cilíndricos (briquetas) de un concreto estándar y especímenes cilíndricos (briquetas) de un concreto adicionados con fibras sintéticas sikafiber.

3.3.1.2. Cuantificación de la población.

Se elaboró 07 especímenes de concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, 07 especímenes de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ añadido con 0.6 kg/m^3 de fibras sintéticas y 07 especímenes de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ añadido con 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas.

3.3.2. Muestra.

3.3.2.1. Descripción de la muestra.

Las muestras están conformadas por testigos cilíndricos de un concreto con dosificación según diseño de mezclas ACI 211 para una resistencia a la compresión $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; concreto patrón, concreto añadido con 0.6 kg/m^3 de fibras sintéticas y concreto añadido con 1.0 kg/m^3 de fibras sintéticas.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra.

En la cuantificación de la muestra se consideró los 21 especímenes elaborados sometidos a la máquina de compresión axial 7 especímenes de cada concreto elaborado, por lo tanto, se considera una muestra censal.

Tabla 15: *Cuantificación de la muestra.*

Testigos	Concreto patrón	Concreto adicionado con 0.6 kg/m ³ de fibras sintéticas	Concreto adicionado con 1.0 kg/m ³ de fibras sintéticas
Resistencia a la compresión	07	07	07
Módulo de elasticidad	07	07	07

Fuente: Elaboración propia.



3.3.2.3. Método de muestreo.

El método de muestreo es dirigido, intencional o no probabilístico, porque se utiliza en forma empírica, es decir, no se efectúa bajo normas probabilísticas de selección esto para la rotura de briquetas, sin embargo, para el procesamiento de datos si se considera un muestreo probabilístico, el método de Chauvenet, para evitar la dispersión de datos en los resultados.

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra.

Se evaluó las siguientes muestras a los 28 días de edad:

- 07 briquetas de concreto patrón evaluadas según normas ASTM C-39 y ASTM C-469.
- 14 briquetas de concreto adicionado con fibras sintéticas evaluadas según las normas ASTM C-39 y ASTM C-469.

3.3.3. Criterios de inclusión.

Para la definición de nuestra muestra se tomó en cuenta lo siguiente:

- Las briquetas que se diseñaron con concreto de resistencia a la compresión de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$.
- Todas las briquetas que se fabricaron con agregado grueso de la misma cantera.
- Todas las briquetas que se fabricaron con agregado fino de la misma cantera.
- Todas las briquetas que se fabricaron con cemento Frontera portland puzolánico tipo IP.
- Todas las briquetas que se elaboraron respetando la norma MTC E-702.
- Todas las briquetas que cuya relación altura vs diámetro (H/D) sea mayor a 1.75.
- Briquetas que se elaboraron con un concreto con resistencia a la compresión de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ adicionado con fibras sintéticas.
- Testigos cilíndricos cuyo curado sea por el método de inundación.
- Testigos cilíndricos que han sido curados por el periodo de 28 días.

3.4. Instrumentos.

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos.

3.4.1.1. Guías de observación de laboratorio.

Tabla 16: *Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																								
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM ² Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² ADICIONADO CON 0,6 KG/M ³ Y 1.0 KG/M ³ DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																																																									
Lugar:	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	24/03/2018																																																						
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon																																																								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO																																																									
Peso de la muestra	2300																																																								
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Malla</th><th rowspan="2">Peso (g) retenido</th><th rowspan="2">% Retenido Parcial</th></tr><tr><th>Tamiz</th><th>mm.</th></tr></thead><tbody><tr><td>3/4"</td><td>19.05</td><td></td><td></td></tr><tr><td>1/2"</td><td>12.7</td><td></td><td></td></tr><tr><td>3/8"</td><td>9.52</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro. 4</td><td>4.75</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro.8</td><td>2.36</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro.16</td><td>1.18</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro. 30</td><td>0.6</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro.50</td><td>0.3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro. 100</td><td>0.15</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Nro. 200</td><td>0.075</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Fondo</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Peso final(g)</td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>				Malla		Peso (g) retenido	% Retenido Parcial	Tamiz	mm.	3/4"	19.05			1/2"	12.7			3/8"	9.52			Nro. 4	4.75			Nro.8	2.36			Nro.16	1.18			Nro. 30	0.6			Nro.50	0.3			Nro. 100	0.15			Nro. 200	0.075			Fondo				Peso final(g)			
Malla		Peso (g) retenido	% Retenido Parcial																																																						
Tamiz	mm.																																																								
3/4"	19.05																																																								
1/2"	12.7																																																								
3/8"	9.52																																																								
Nro. 4	4.75																																																								
Nro.8	2.36																																																								
Nro.16	1.18																																																								
Nro. 30	0.6																																																								
Nro.50	0.3																																																								
Nro. 100	0.15																																																								
Nro. 200	0.075																																																								
Fondo																																																									
Peso final(g)																																																									

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: *Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																																		
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar			Fecha:	24/03/2018																													
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon																																	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO																																		
Peso de la muestra		4800																																
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Malla</th> <th rowspan="2">Peso (g) retenido</th> </tr> <tr> <th>Tamiz</th> <th>mm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>37.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>25.4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19.05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9.52</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nro. 4</td> <td>3.75</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Fondo</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Peso final(g)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Malla		Peso (g) retenido	Tamiz	mm.	1 1/2"	37.5		1"	25.4		3/4"	19.05		1/2"	12.7		3/8"	9.52		Nro. 4	3.75		Fondo			Peso final(g)		
Malla		Peso (g) retenido																																
Tamiz	mm.																																	
1 1/2"	37.5																																	
1"	25.4																																	
3/4"	19.05																																	
1/2"	12.7																																	
3/8"	9.52																																	
Nro. 4	3.75																																	
Fondo																																		
Peso final(g)																																		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: *Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.*

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'c = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."					
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar			Fecha:	24/03/2018
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon				
PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO					
ENSAYO		E-1	E-2	E-3	
PESO DEL RECIPIENTE (kg)					
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)					
PESO DEL MATERIAL + TARA SIN COMPACTAR (kg)					
PESO DEL MATERIAL SUELTO (kg)					
PESO DEL MATERIAL + TARA COMPACTADO (kg)					
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO (kg)					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: *Ficha de recolección de datos para ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."			
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	24/03/2018
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon		
<u>PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO</u>			
ENSAYO	E-1	E-2	E-3
PESO DEL RECIPIENTE (kg)			
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m3)			
PESO DEL MATERIAL + TARA SIN COMPACTAR (kg)			
PESO DEL MATERIAL SUELTO (kg)			
PESO DEL MATERIAL + TARA COMPACTADO (kg)			
PESO DEL MATERIAL COMPACTADO (kg)			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: *Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado grueso.*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."			
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	25/03/2018
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon		
<u>PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO</u>			
	NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2
B	PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)		
C	PESO DE LA MUESTRA S.S.S. EN AGUA (g)		
	PESO DE LA TARA (g)		
	PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)		
A	PESO DE LA MUESTRA SECA (g)		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Ficha de recolección de datos para ensayo de peso específico de masa y porcentaje de absorción del agregado fino.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																										
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																											
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	25/03/2018																								
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon																										
PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">NÚMERO DE ENSAYO</th> <th style="width: 25%;">E-1</th> <th style="width: 25%;">E-2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO DEL FIOLA SECO (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B PESO DEL FIOLA + AGUA (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C PESO S.S.S. + FIOLA + AGUA (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA TARA (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A PESO DE LA MUESTRA SECA (g)</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2	S PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)			PESO DEL FIOLA SECO (g)			B PESO DEL FIOLA + AGUA (g)			C PESO S.S.S. + FIOLA + AGUA (g)			PESO DE LA TARA (g)			PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)			A PESO DE LA MUESTRA SECA (g)		
NÚMERO DE ENSAYO	E-1	E-2																									
S PESO DE LA MUESTRA S.S.S. (g)																											
PESO DEL FIOLA SECO (g)																											
B PESO DEL FIOLA + AGUA (g)																											
C PESO S.S.S. + FIOLA + AGUA (g)																											
PESO DE LA TARA (g)																											
PESO DE LA TARA + MUESTRA SECA (g)																											
A PESO DE LA MUESTRA SECA (g)																											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Ficha de recolección de datos para ensayo contenido de humedad.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																										
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																											
Responsable	Danae Angelino Alagon	Fecha																									
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar																										
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 20%;">Muestra 1</th> <th style="width: 20%;">Muestra 2</th> <th style="width: 30%;">Muestra 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del recipiente (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muestra humeda +recipiente (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muestra seca +recipiente (g)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Humedad Promedio</td> <td colspan="3"></td> </tr> </tbody> </table>					Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Peso del recipiente (g)				Muestra humeda +recipiente (g)				Muestra seca +recipiente (g)				Contenido de humedad				% Humedad Promedio			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3																								
Peso del recipiente (g)																											
Muestra humeda +recipiente (g)																											
Muestra seca +recipiente (g)																											
Contenido de humedad																											
% Humedad Promedio																											

Fuente: Elaboración propia.



3.4.2. Instrumentos de ingeniería.

Los instrumentos de ingeniería usados fueron los siguientes:

- Tamices (n° 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8, 30, 50, 100, 200).
- Tamizadora.
- Horno (°C).
- Balanzas (kg).
- Bomba de vacíos.
- Cono de Abrams.
- Briquetera.
- Mezcladora (p3).
- Máquina de compresión axial (kPa).
- Deformímetro (s).
- Anillos metálicos para módulo de elasticidad.
- Cámara de video.

3.5. Procedimiento de recolección de datos.

3.5.1. Granulometría del agregado grueso.

a) Equipos y materiales.

- Una balanza (kg).
- Una brocha.
- Cucharones.
- Recipientes.
- Serie de tamices normalizados.
- 5 kg de agregado grueso.

b) Procedimiento.

- Se toma una muestra de 5,000 g. aproximadamente del agregado por el método del cuarteo y se procede con la operación del tamizado, tomar en cuenta que el agregado grueso se colocará poco a poco.



Figura 12: Selección del agregado por el método de cuarteo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Pesado de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

- Se determina la granulometría del agregado haciendo pasar por una serie de tamices que van de la mayor abertura a la mínima.



Figura 14: Serie de tamices para agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

- Enseguida se procede con el zarandeo durante aproximadamente 60 s. Asegurándose que los tamices estén bien tapados.
- Se procede con el pesado de los agregados retenidos en cada tamiz, y se registra cada peso en la ficha detallada a continuación.



Figura 15: Pesado de agregado grueso retenido en cada malla.

Fuente: Elaboración propia.

c) Toma de datos.

Tabla 25: *Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																															
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																																
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	24/03/2018																													
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon																															
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO																																
Peso de la muestra		4800																														
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Malla</th><th rowspan="2">Peso (g) retenido</th></tr><tr><th>Tamiz</th><th>mm.</th></tr></thead><tbody><tr><td>1 1/2"</td><td>37.5</td><td>0</td></tr><tr><td>1"</td><td>25.4</td><td>256.30</td></tr><tr><td>3/4"</td><td>19.05</td><td>1235.6</td></tr><tr><td>1/2"</td><td>12.7</td><td>2586.7</td></tr><tr><td>3/8"</td><td>9.52</td><td>585.5</td></tr><tr><td>Nro. 4</td><td>3.75</td><td>123.5</td></tr><tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Fondo</td><td>12.20</td></tr><tr><td colspan="2">Peso final(g)</td><td>4799.80</td></tr></tbody></table>				Malla		Peso (g) retenido	Tamiz	mm.	1 1/2"	37.5	0	1"	25.4	256.30	3/4"	19.05	1235.6	1/2"	12.7	2586.7	3/8"	9.52	585.5	Nro. 4	3.75	123.5	Fondo		12.20	Peso final(g)		4799.80
Malla		Peso (g) retenido																														
Tamiz	mm.																															
1 1/2"	37.5	0																														
1"	25.4	256.30																														
3/4"	19.05	1235.6																														
1/2"	12.7	2586.7																														
3/8"	9.52	585.5																														
Nro. 4	3.75	123.5																														
Fondo		12.20																														
Peso final(g)		4799.80																														

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Granulometría del agregado fino.**a) Equipos y materiales.**

- Una balanza (kg).
- Una brocha.
- Cucharones.
- Recipientes.
- Serie de tamices normalizados.
- 3kg de agregado fino.

b) Procedimiento.

- Se toma una muestra de 3,000 g. aproximadamente del agregado por el método del cuarteo y se procede con la operación del tamizado.



Figura 16: Selección del agregado por el método de cuarteo y colocación de la muestra.

Fuente: Elaboración propia.

- Se determina la granulometría del agregado haciendo pasar por una serie de tamices que van de la mayor abertura a la mínima detallados en la ficha de recolección de datos.
- Enseguida se procede con el zarandeo durante aproximadamente 60 s; asegurándose que los tamices estén bien tapados.
- Se procede con el pesado de los agregados retenidos en cada tamiz, y se registra cada peso en la ficha detallada a continuación.



Figura 17: Pesado de agregado fino retenido en cada malla.

Fuente: Elaboración propia.

c) Toma de datos.

Tabla 26: Ficha de recolección de datos para ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																								
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DUCTILIDAD DE UN CONCRETO PATRÓN F'C = 210 KG/CM2 Y UN CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 ADICIONADO CON 0.6 KG/M3 Y 1.0 KG/M3 DE FIBRAS SINTÉTICAS, CUSCO – 2019."																																																									
Lugar	Laboratorio de la municipalidad provincial de Espinar	Fecha:	24/03/2018																																																						
Responsable:	Danae Sosamin Angelino Alagon																																																								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO																																																									
Peso de la muestra	2300																																																								
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Malla</th><th rowspan="2">Peso (g) retenido</th><th rowspan="2">% Retenido Parcial</th></tr><tr><th>Tamiz</th><th>mm.</th></tr></thead><tbody><tr><td>3/4"</td><td>19.05</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>1/2"</td><td>12.7</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>3/8"</td><td>9.52</td><td>0.00</td><td>0.00%</td></tr><tr><td>Nro. 4</td><td>4.75</td><td>75.30</td><td>3.27%</td></tr><tr><td>Nro.8</td><td>2.36</td><td>344.20</td><td>14.97%</td></tr><tr><td>Nro.16</td><td>1.18</td><td>394.70</td><td>17.16%</td></tr><tr><td>Nro. 30</td><td>0.6</td><td>650.10</td><td>28.27%</td></tr><tr><td>Nro.50</td><td>0.3</td><td>458.00</td><td>19.91%</td></tr><tr><td>Nro. 100</td><td>0.15</td><td>207.20</td><td>9.01%</td></tr><tr><td>Nro. 200</td><td>0.075</td><td>95.30</td><td>4.14%</td></tr><tr><td>Fondo</td><td></td><td>75.1</td><td>3.27%</td></tr><tr><td>Peso final(g)</td><td></td><td>2299.90</td><td>100.00%</td></tr></tbody></table>				Malla		Peso (g) retenido	% Retenido Parcial	Tamiz	mm.	3/4"	19.05	0.00	0.00%	1/2"	12.7	0.00	0.00%	3/8"	9.52	0.00	0.00%	Nro. 4	4.75	75.30	3.27%	Nro.8	2.36	344.20	14.97%	Nro.16	1.18	394.70	17.16%	Nro. 30	0.6	650.10	28.27%	Nro.50	0.3	458.00	19.91%	Nro. 100	0.15	207.20	9.01%	Nro. 200	0.075	95.30	4.14%	Fondo		75.1	3.27%	Peso final(g)		2299.90	100.00%
Malla		Peso (g) retenido	% Retenido Parcial																																																						
Tamiz	mm.																																																								
3/4"	19.05	0.00	0.00%																																																						
1/2"	12.7	0.00	0.00%																																																						
3/8"	9.52	0.00	0.00%																																																						
Nro. 4	4.75	75.30	3.27%																																																						
Nro.8	2.36	344.20	14.97%																																																						
Nro.16	1.18	394.70	17.16%																																																						
Nro. 30	0.6	650.10	28.27%																																																						
Nro.50	0.3	458.00	19.91%																																																						
Nro. 100	0.15	207.20	9.01%																																																						
Nro. 200	0.075	95.30	4.14%																																																						
Fondo		75.1	3.27%																																																						
Peso final(g)		2299.90	100.00%																																																						

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y agregado fino.

a) Equipos y materiales.

- Balanza de precisión 0.1g.
- Recipiente cilíndrico o molde de 1/2 pie³.
- Varilla de 5/8" de diámetro y aproximadamente de 60cm de longitud, con una punta redondeada.
- Horno para materiales (°C).
- Cucharones.
- 8kg de agregado grueso aproximadamente.
- 5kg de agregado fino aproximadamente.

b) Procedimiento.

Para realizar el ensayo el material debe estar seco, por lo cual lo colocamos en el horno a temperatura constante de aproximadamente 110°C o de lo contrario se pone a secar a temperatura ambiente. El ensayo de peso unitario se realiza de la siguiente manera:

- Se determina y anota el peso y volumen del molde.



Figura 18: Pesado de molde.

Fuente: Elaboración propia.

- Para peso unitario suelto se vierte el material en el molde, con ayuda de una cuchara o de otro implemento, cuidando que la altura de caída sea de 5cm aproximadamente sobre el borde superior del molde, se vierte el material hasta colmar el molde.



Figura 19: Colocación del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

- Para peso unitario compactado se vierte el material, con ayuda de una cuchara o de otro implemento, en tres capas, en cada capa se golpea 25 veces con la varilla para compactar el material, la primera a 1/3 del molde, la segunda a 2/3 y por último hasta colmar el molde, cuidando que la altura de caída sea de 5cm aproximadamente sobre el borde superior del molde.



Figura 20: Compactación del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 21: Compactación del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Se enrasa el material al nivel del borde superior del molde, con la ayuda de la varilla.



Figura 22: Enrasado de agregado fino en el borde superior del molde.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 23: Enrasado de agregado grueso en el borde superior del molde.

Fuente: Elaboración propia.

- Se anota el peso del molde más el material.



Figura 24: Pesado de agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.