

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**“CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO APLICADO A  
PAVIMENTOS UTILIZANDO MÉTODO DE COMPACTACIÓN DE  
SUELOS”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. EDISSON OMAR ZVALETA CADENILLAS**

**ASESOR:**

**Mcs. ING. HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**-2017-**

## AGRADECIMIENTO

*Agradecer a Dios por llevarme a su lado a lo largo de esta vida siempre llenándome de alegría y gozo, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A mi asesor Mg.Ing. Héctor A Pérez Loayza, por su conocimiento por su valiosa orientación, su manera de trabajar su persistencia, su paciencia y motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador.*

*A ti papá que me enseñaste todo el valor y toda la fuerza en un solo abrazo.*

*A mi mamá, que dentro de todas sus preocupaciones me dio la posibilidad de brillar.*

*A mis abuelos que estuvieron cerca de mí, y aportaron todo desde pequeño, que sus canas fueron sinónimo de sabiduría y me encaminaron por el buen sendero.*

*A mis hermanos que a lo largo de mi carrera siempre estuvieron a mi lado para darme consejos, comprensión y ánimo para lograr mis metas trazadas.*

*A mis amigos y compañeros que de una u otra manera me brindaron su apoyo, y que estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos de esta etapa de mi vida, experiencias dignas de recordar y que siempre las tendré presentes.*

*Asimismo hago llegar agradecimiento a todos los docentes ingenieros, profesores de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca que contribuyeron, cada uno con su valioso aporte, en el desarrollo del proceso de formación que condujo a la elaboración de la presente tesis y así mismo han contribuido en el logro del más grande de mis sueños.*

*Por ultimo a todas aquellas personas que siempre estuvieron compartiendo platicas, conocimientos y diversión. A todos aquellos que durante todo este tiempo que duro nuestros sueños logramos convertirlos en una realidad.*

*¡Gracias a todos!*

## DEDICATORIA

Gracias a Dios por ser mi guía a Jesús por ser mi inspiración, modelo y por ser el ejemplo más grande de amor en este mundo.

A mi Padre Isidro y a mi Madre Leonor, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, los amo con todo mi corazón y este trabajo se los dedico a ustedes.

A mis hermanos Liliana, Fernando, Fanny y Judith, Por su confianza, compañía y apoyo en cada uno De mis logros, triunfos alegrías y tristezas de mi Vida.

A mis abuelos Oscar, Orfelinda, Betsabeth y Lorenzo que de una u otra manera me brindaron apoyo, colaboración y consejos en toda mi vida.

A mis sobrinitos Daniel, Leonardo, Valentina y María Nela, por que los quiero mucho y sobre todo seré su guía en el futuro, a todos mis primos y ustedes Rubén y Alfonso a pesar de que no están en estos momentos conmigo, sé que su alma si lo está y por que tuvieron los mismos sueños que yo les dedico con todo mi corazón mi tesis. Nunca los olvidaré

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>CAPITULO I.</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Formulación Del Problema .....	3
1.3 Hipótesis .....	3
1.5 Alcances.....	3
1.6 Delimitaciones de la investigación.....	4
1.7 Objetivos .....	5
1.7.1 Objetivo General. ....	5
1.7.2 Objetivos Específicos.....	5
<b>CAPITULO II.</b> .....	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1 Antecedentes teóricos de la Investigación. ....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1 Concreto .....	8
2.2.2 Concreto compactado.....	17
2.2.3 Filosofía de compactación según proctor modificado aplicada a concreto utilizando concepto de suelos. ....	18

2.2.4	Filosofía de compactación según proctor modificado aplicada a concreto utilizando concepto de suelos. ....	18
2.2.5	Ensayo normalizado para resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto .....	19
2.2.6	Agregado. ....	19
2.2.7	Características de los agregados para el concreto compactado.....	26
2.2.8	El cemento utilizado. ....	33
2.2.9	El agua.....	34
2.2.10	Diseño de Mezclas.....	34
2.3	Definiciones de términos básicos. ....	39
<b>CAPITULO III. ....</b>		<b>41</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>		<b>41</b>
3.1	Toma de muestras .....	41
3.2	Localización.....	41
3.3	Diseño de la Investigación:.....	42
3.4	Metodología.....	42
3.5	Materiales y Equipos .....	42
3.5.1	Materiales .....	42
3.5.2	Equipos.....	43
3.6	Procedimiento .....	43
3.7	Cantera .....	44
3.7.1	Elección de la cantera .....	44
3.7.2	Ubicación.....	44
3.7.3	Extracción de agregados de la cantera .....	45
3.8	Método de diseño de mezcla para concreto compactado y concreto convencional. ....	46
3.8.1	Diseño de mezcla de concreto convencional.....	46

3.8.2	Diseño de mezcla de concreto con compactación.....	49
3.9	Peso unitario del concreto.....	51
3.10	Módulo de elasticidad del concreto.....	52
3.11	Variación de aumento de resistencia respecto de un concreto convencional y un concreto compactado.....	53
3.12	Ensayo de vibración vebe.....	53
3.13	Variables de evaluación del estudio.....	53
3.14	Asentamiento en el concreto en estado fresco.....	54
3.15	Densidad de masa del concreto en estado fresco.....	54
3.16	Densidad de masa del concreto en estado endurecido.....	54
3.17	Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7,14y 28 días.....	54
3.18	Resistencia a la flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7,14y 28 días.....	55
3.19	Resistencia a la tracción indirecta en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7,14y 28 días.....	55
3.20	Desarrollo de la resistencia del concreto.....	55
3.21	Módulo de elasticidad del concreto.....	56
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>57</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>57</b>
4.1	Requisito granulométrico del agregado fino.....	57
4.2	Requisito granulométrico del agregado grueso.....	59
4.3	Resultados de material para el diseño convencional y concreto compactado.....	63
4.4	Análisis de las características físicas y mecánicas del agregado fino.....	64
4.5	Análisis de las características físicas y mecánicas del agregado grueso. ..	65
4.6	Análisis del peso unitario del concreto fresco y concreto con compactación.....	66

4.6.1	Discusión de resultados.....	66
4.7	Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto con compactación. ....	66
4.7.1	Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto compactado a los 7 días. ....	66
4.7.2	Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto compactado a los 14 días. ....	68
4.7.3	Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto compactado a los 28 días. ....	69
4.8	Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto con compactación. ....	71
4.8.1	Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto compactado a los 7 días. ....	71
4.8.2	Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto compactado a los 14 Días.....	72
4.8.3	Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto compactado a los 28 días. ....	74
4.9	Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y concreto con compactación.....	75
4.9.1	Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y compactado a los 7 días. ....	75
4.9.2	Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y compactado a los 14 días. ....	77
4.9.3	Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y compactado a los 28 días. ....	78
4.10	Análisis del módulo de elasticidad del concreto convencional. ....	80
4.11	Análisis Del Módulo De Elasticidad Del Concreto Compactado.....	80
4.12	Resumen De Resultados .....	80
<b>CAPÍTULO V</b>	.....	<b>83</b>

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
5.1 Conclusiones.....	83
5.2 Recomendaciones.....	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO 1: DISEÑO DE MEZCLAS.....</b>	<b>87</b>
1.1 Diseño de mezcla de concreto convencional .....	87
1.2 Diseño de mezcla de concreto con compactación .....	90
<b>ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO 3: DIAGRAMAS DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO.....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 5: RODILLO COMPACTADOR CAT CB44B, ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO 6: CUADRO DE DISEÑO DE CONCRETO COMPACTADO.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO 7: ECUACIÓN PARA CALCULO DE NÚMERO DE CAPAS Y GOLPES POR CADA CAPA. ....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 8: PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>119</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ).....	37
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones del Asentamiento.....	37
<b>Tabla 3.</b> Volumen Unitario de agua (lt/m <sup>3</sup> ).....	37
<b>Tabla 4.</b> Contenido de aire atrapado.....	38
<b>Tabla 5.</b> Relación agua - cemento. ....	38
<b>Tabla 6.</b> Módulo de fineza de la combinación de Agregados.....	38
<b>Tabla 7.</b> Cantidad de especímenes realizados en la investigación. ....	44
<b>Tabla 8.</b> Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01.....	57
<b>Tabla 9.</b> Análisis granulométrico del Agregado fino. Ensayo N° 02. ....	58
<b>Tabla 10.</b> Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 03.....	58
<b>Tabla 11.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01. ....	60
<b>Tabla 12.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 02. ....	61
<b>Tabla 13.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03. ....	62
<b>Tabla 14.</b> Materiales por metro cubico.....	63
<b>Tabla 15.</b> Características físicas del agregado fino. ....	64
<b>Tabla 16.</b> Características físicas del agregado grueso. ....	65
<b>Tabla 17.</b> Peso unitario del concreto fresco para la mezcla convencional. ....	66
<b>Tabla 18.</b> Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto convencional a edad de 7 días.....	66
<b>Tabla 19.</b> Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto con compactación a edad de 7 días.....	67
<b>Tabla 20.</b> Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto convencional a edad de 14 días.....	68
<b>Tabla 21.</b> Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto con compactación a edad de 14 días.....	68
<b>Tabla 22.</b> Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto convencional a edad de 28 días.....	69
<b>Tabla 23.</b> Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto con compactación a edad de 28 días.....	70

<b>Tabla 24.</b> Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto convencional a edad de 7 días.....	71
<b>Tabla 25.</b> Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto compactado a edad de 7 días.....	71
<b>Tabla 26.</b> Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto compactado a edad de 14 días.....	72
<b>Tabla 27.</b> Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto compactado a edad de 14 días.....	73
<b>Tabla 28.</b> Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto convencional a edad de 28 días.....	74
<b>Tabla 29.</b> Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto compactado a edad de 28 días.....	74
<b>Tabla 30.</b> Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto Convencional a la edad de 7 días.	75
<b>Tabla 31.</b> Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 7 días.....	76
<b>Tabla 32.</b> Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 14 días.....	77
<b>Tabla 33.</b> Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 14 días.....	77
<b>Tabla 34.</b> Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 28 días.....	78
<b>Tabla 35.</b> Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 28 días.....	79
<b>Tabla 36.</b> Resultados de los ensayos a compresión.....	80
<b>Tabla 37.</b> Resultados de los ensayos a Flexión.....	81
<b>Tabla 38.</b> Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta.....	81
<b>Tabla 39.</b> Ensayo de Vibración VeBe.....	81
<b>Tabla 40.</b> Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01.....	93
<b>Tabla 41.</b> Análisis granulométrico del Agregado Fino. Ensayo N° 02.....	94
<b>Tabla 42.</b> Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 03.....	94
<b>Tabla 43.</b> Análisis granulométrico del Agregado Grueso. Ensayo N° 01. ....	96
<b>Tabla 44.</b> Análisis granulométrico del Agregado Grueso. Ensayo N° 02. ....	97

<b>Tabla 45.</b> Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03. ....	98
<b>Tabla 46.</b> Peso específico del Agregado Fino.....	99
<b>Tabla 47.</b> Absorción del Agregado Fino.....	99
<b>Tabla 48.</b> Peso específico del Agregado Grueso.....	99
<b>Tabla 49.</b> Absorción del Agregado Grueso.....	100
<b>Tabla 50.</b> Peso específico del agua.....	100
<b>Tabla 51.</b> Factor $f$ para el peso unitario del Agregado Fino.....	100
<b>Tabla 52.</b> Peso unitario seco suelto del Agregado Fino.....	101
<b>Tabla 53.</b> Peso unitario seco compactado o varillado del Agregado Fino.....	101
<b>Tabla 54.</b> Peso específico del agua.....	101
<b>Tabla 55.</b> Factor $f$ para el Peso Unitario del Agregado Grueso.....	102
<b>Tabla 56.</b> Peso unitario suelto seco del Agregado Grueso.....	102
<b>Tabla 57.</b> Peso unitario seco compactado o varillado del Agregado Grueso.....	102
<b>Tabla 58.</b> Porcentaje que pasa la malla N° 200 del Agregado Fino.....	103
<b>Tabla 59.</b> Porcentaje que pasa la malla N° 200 del Agregado Grueso.....	103
<b>Tabla 60.</b> Contenido de humedad del Agregado Fino.....	103
<b>Tabla 61.</b> Contenido de humedad del Agregado Grueso.....	104
<b>Tabla 62.</b> Desgaste a la abrasión del Agregado Grueso.....	104
<b>Tabla 63.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CC1 .....	105
<b>Tabla 64.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CC2 .....	106
<b>Tabla 65.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CC3 .....	107
<b>Tabla 66.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CC4 .....	108
<b>Tabla 67.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CC5 .....	109
<b>Tabla 68.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CCR1.....	110
<b>Tabla 69.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CCR2.....	111
<b>Tabla 70.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CCR3.....	112
<b>Tabla 71.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CCR4.....	113
<b>Tabla 72.</b> Valores de Esfuerzo y deformación CCR5.....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fotografía satelital de la ubicación del estudio.....	41
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la cantera Chilete.....	45
<b>Figura 3.</b> Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 01.....	57
<b>Figura 4.</b> Requisito granulométrico del agregado fino del Ensayo N° 02.....	58
<b>Figura 5.</b> Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 03.....	59
<b>Figura 6.</b> Requisito granulométrico del agregado grueso del Ensayo N° 01.....	60
<b>Figura 7.</b> Requisito granulométrico del agregado grueso del Ensayo N° 02.....	61
<b>Figura 8.</b> Requisito granulométrico del agregado grueso del Ensayo N° 03.....	62
<b>Figura 9.</b> Resultados de los ensayos a compresión para edad de 7 días.....	67
<b>Figura 10.</b> Resultados de los ensayos a compresión para edad de 14 días.....	69
<b>Figura 11.</b> Resultados de los ensayos a compresión para edad de 28 días.....	70
<b>Figura 12.</b> Resultados de los ensayos a flexión para edad de 7 días.....	72
<b>Figura 13.</b> Resultados de los ensayos a Flexión para edad de 14 días.....	73
<b>Figura 14.</b> Resultados de los ensayos a Flexión para edad de 28 días.....	75
<b>Figura 15.</b> Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta para edad de 7 días.....	76
<b>Figura 16.</b> Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta para edad de 14 días. .....	78
<b>Figura 17.</b> Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta para edad de 28 días. .....	79
<b>Figura 18.</b> Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 01.....	93
<b>Figura 19.</b> Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 02.....	94
<b>Figura 20.</b> Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 03.....	95
<b>Figura 21.</b> Requisito granulométrico del Agregado Grueso del Ensayo N° 01... ..	96
<b>Figura 22.</b> Requisito granulométrico del Agregado Grueso del Ensayo N° 02... ..	97
<b>Figura 23.</b> Requisito granulométrico del Agregado Grueso del Ensayo N° 03... ..	98
<b>Figura 24.</b> Toma de muestras en cantera de almacenamiento en Baños del Inca - Cajamarca.....	119
<b>Figura 25.</b> Ensayo de abrasión con la Máquina de los Ángeles.....	119
<b>Figura 26.</b> Peso de materiales para la elaboración de las mezclas.....	120
<b>Figura 27.</b> Colocación de materiales en la mezcladora.....	120

<b>Figura 28.</b> Vista de la mezcla de concreto para elaborar los especímenes con compactación. ....	121
<b>Figura 29.</b> Ensayo de Slump de la mezcla de concreto.....	121
<b>Figura 30.</b> Medida del asentamiento de la mezcla de concreto.....	122
<b>Figura 31.</b> Compactación de los especímenes de concreto. ....	122
<b>Figura 32.</b> Vista de los especímenes luego de ser elaborados con compactación. ....	123
<b>Figura 33.</b> Codificación de los especímenes de concreto.....	123
<b>Figura 34.</b> Curado de los especímenes de concreto. ....	124
<b>Figura 35.</b> Especímenes codificados para ser ensayados a compresión Uniaxial. ....	124
<b>Figura 36.</b> Ensayos a compresión de los especímenes de concreto.....	125
<b>Figura 37.</b> Lectura del Deformímetro para los diagramas de esfuerzo Vs deformación unitaria .....	125
<b>Figura 38.</b> Ensayo a flexión del concreto.....	126
<b>Figura 39.</b> Modo de falla del concreto.....	126
<b>Figura 40.</b> Ensayo Vebe por Capas.....	127
<b>Figura 41.</b> Ensayo Vebe por Capas.....	127
<b>Figura 42.</b> Ensayo Vebe Finalizado.....	128

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar las propiedades físico mecánicas del concreto compactado utilizando método de compactación de suelos, para ello se hizo la elaboración de dos diseños de mezcla, un diseño de concreto convencional y un diseño de mezcla de concreto compactado, para la compactación se utilizó proctor modificado según la norma ASTM D-1557, se elaboraron un total de 180 especímenes de los cuales 120 son cilíndricos y 60 son prismáticos, 90 para un concreto convencional y 90 para un concreto compactado, teniendo en cuenta la energía de compactación de un rodillo Cat CB 44B con 600, 000 n-m/m<sup>3</sup>, el peso del pisón 3.5 kg, altura de caída del pisón 0.50 m, cada una de las 90 especímenes se hicieron con 40 Golpes por cada capa y cada espécimen en 5 capas, luego de ello se realizaron ensayos de los 90 especímenes de concreto convencional con 90 de concreto compactado siguiendo la siguiente distribución, 30 de Concreto Convencional con 30 de concreto compactado para ensayos a compresión a la edad de 7 días, 14 días y 28 días, 30 de Concreto Convencional con 30 de concreto compactado para ensayo a Flexión a la edad de 7 días, 14 días y 28 días, 30 de Concreto Convencional con 30 de concreto compactado para ensayo a Tracción indirecta a la edad de 7 días, 14 días y 28 días, los resultados mostraron que el peso unitario fresco aumenta en un 6.04 %, la resistencia a la compresión para edad de 7 días, aumenta 17.55%, para edad de 14 días, aumenta 19.00% y para edad de 28 días la resistencia a la compresión aumenta en 22.70%. Finalmente se logró determinar que el concreto seco al ser compactado aumenta la resistencia en un 35% a la resistencia de diseño.

**Palabras clave:** Diseños de mezcla, concreto compactado con rodillo, resistencia a la compresión.

## ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the physical and mechanical properties of compacted concrete using the soil compaction method. For this purpose, two mixing designs, a conventional concrete design and a compacted concrete mixture design were made for the compaction. modified proctor according to ASTM D-1557 was used, a total of 180 specimens were made, of which 120 are cylindrical and 60 are prismatic, 90 for a conventional concrete and 90 for a compacted concrete, taking into account the compaction energy of a Cat CB 44B roller with 600, 000 nm / m<sup>3</sup>, the weight of the ramón 3.5 kg, height of fall of the tamper 0.50 m, each of the 90 specimens were made with 40 strokes for each layer and each specimen in 5 layers, after this was done tests of the 90 specimens of conventional concrete with 90 of compacted concrete following the following distribution, 30 of Conventional Concrete with 30 of concrete compacted challenge for compression tests at the age of 7 days, 14 days and 28 days, 30 of Conventional Concrete with 30 of compacted concrete for test to Flexion at the age of 7 days, 14 days and 28 days, 30 of Conventional Concrete with 30 of compacted concrete for indirect traction test at the age of 7 days, 14 days and 28 days, the results showed that the fresh unit weight increases by 6.04 %, the compression resistance for age of 7 days, increases by 17.55% , for age of 14 days, it increases 19.00% and for age of 28 days the resistance to compression increases by 22.70%. Finally it was determined that the dry concrete to be compacted increases the resistance by 35% to the design resistance.

**Key words:** Mix designs, Rolled Concrete, compression resistance.

# CAPITULO I.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de construcción de carreteras en el Perú cada día se hace más relevante, para poder comunicar a todas las poblaciones del país, lo cual refleja el desarrollo de toda la nación. Se conocen como métodos tradicionales, la construcción de carreteras utilizando comúnmente pavimentos flexibles de asfalto, que no es más que derivados del petróleo mezclados con materiales pétreos. Este sistema que se ha venido utilizando desde hace muchos años atrás ha sido en algunos casos sustituido por los pavimentos rígidos, como los construidos por concretos hidráulicos de fraguado rápido, mientras que las mezclas en caliente que pertenecen a los pavimentos flexibles son de fraguado más lento.

El Concreto Compactado con Rodillo o (CCR) es un método constructivo que está siendo aplicado en diversos países de Europa y Latinoamérica desde ya hace algunos años atrás, dando resultados favorables en la construcción de obras civiles tales como carreteras.

En nuestro país la aplicación de esta tecnología es mínima, por tal motivo, la presente investigación se ha desarrollado con el objeto de dar a conocer con más amplitud la tecnología y diseño de mezclas CCR para carreteras, aplicando conceptos conocidos por ingenieros, adaptándolos a esta metodología, lo que permitirá que en el Perú se pueda desarrollar esta técnica al igual que en otros países, creando alternativas de solución a problemas relacionados a la construcción de nuevas presas, carreteras y la rehabilitación de las existentes.

Lo que se pretende con este trabajo de tesis es demostrar la importancia de la construcción de carreteras de pavimento de concreto compactado y compararlo con el método tradicional de pavimentos rígidos, hacer un análisis de las propiedades en el cual se denoten las diferencias en lo que implica los métodos de construcción tradicionales, para la construcción de calles y carreteras en nuestro país.



## **1.1 Planteamiento del problema**

El concreto es uno de los materiales de mayor uso en el área de la construcción debido a la versatilidad en su elaboración y aplicación, y por supuesto a su resistencia, sobre todo a la compresión, pero con desventajas a la tracción, flexión y cortante.

Los pavimentos de concreto son reconocidos como una solución vial debido a que siendo competitivos en términos de costos de construcción, destacan además por su larga vida, por su resistencia y por ser ecológicamente amigables. Entre sus principales fortalezas se deben considerar sus menores costos de mantenimiento y el menor costo de operación vehicular.

La resistencia a la compresión de un concreto, normalmente aumenta con la edad. Dicho aumento se produce muy rápidamente durante los primeros días posteriores a su colocación, resultando más gradual al transcurrir el tiempo, aún continuará incrementándose en una proporción más reducida durante un período de tiempo indefinido.

El Concreto Compactado es un nuevo método de construcción con el cual se obtienen beneficios específicos. Dentro de sus características principales podemos encontrar una mayor resistencia en sus propiedades mecánicas con una presencia menor de cemento y además el beneficio de poder instalar grandes volúmenes en un periodo de tiempo corto, (José Luis Alvarado Aguirre, 2015).

En la actualidad, Cajamarca no cuenta con una adecuada red vial, de las cuales la mayoría de accesos no se encuentran pavimentados. Es evidente que las zonas rurales de la región Cajamarca requieren mejores vías de comunicación. La propuesta planteada, Concreto Compactado contribuye a mejorar la técnica de construcción en carreteras, y con ello, cubrir las necesidades básicas de la población, tales como: asistencia de salud, educación, alimentación, electricidad y comunicación.

## **1.2 Formulación Del Problema**

El problema de estudio se puede sintetizar en la siguiente interrogante:

- ¿Cuál son los valores de las propiedades físico mecánicas de un concreto compactado utilizando método de compactación de suelos para ser utilizados en pavimentos rígidos?

## **1.3 Hipótesis**

- Los valores de las propiedades físico mecánicas de un concreto compactado cumplen para ser utilizados en pavimentos rígido.

## **1.4 Justificación de la investigación**

Esta investigación tiene el propósito de fortalecer el desarrollo en la ingeniería vial de la ciudad de Cajamarca, siendo ésta un aporte importante al desarrollo de la infraestructura vial y especialmente a los profesionales que se dedican a planificar y desarrollar proyectos viales, considerando las fortalezas y ventajas que presenta y que mejoraría las alternativas de nuevos métodos constructivos de menor costo y mayor resistencia.

## **1.5 Alcances**

Esta investigación analizó el comportamiento de las mezclas de concreto compactado según la norma ASTM D-1557, como un análisis cualitativo de la técnica. Se prepararon especímenes para ser ensayadas a diferentes periodos de tiempo hasta llegar a los 28 días de fraguado, con la adición de diferentes contenidos de cemento y agregados.

Se evaluó las propiedades mecánicas del concreto y se estableció la resistencia, haciendo una comparación con los concretos convencionales, y con ello se tuvo una apreciación del desempeño como el aumento de resistencia.

Con la investigación se pretende ofrecer una alternativa de solución a las grandes necesidades existentes en mejorar las carreteras pavimentadas de

la ciudad de Cajamarca y del País y que los proyectos que se desarrollen a futuro puedan contar con las especificaciones y parámetros de diseño apropiadas al medio nacional.

Todos los estudios fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, con materiales representativos obtenidos en la ciudad y alrededores.

### **1.6 Delimitaciones de la investigación**

La presente investigación se ha realizado utilizando agregados de la cantera Chilete que se ubica en el Km 94+500 Carretera a Ciudad de Dios, Cemento Pacasmayo Tipo I y Agua usada en el campus universitario, materiales representativos de la localidad de Cajamarca, por lo que el estudio se circunscribe a la localidad de Cajamarca.

El presente trabajo pretende servir como fuente bibliográfica para trabajos de investigación similares para estudiantes de ingeniería civil, como para profesionales de la industria de la construcción, de carreteras así también como de Presas, autopistas, estacionamientos, pisos industriales, aeropuertos, caminos rurales, etc. así como un alcance para los ingenieros diseñadores de concreto para pavimento rígido.

Esta tesis se ha iniciado a principios de junio del 2016, por lo que la información y normativa obtenida de las NTP, Normas ASTM o recomendaciones ACI, pueden variar respecto a los siguientes años.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo General.**

- Cuantificar las propiedades físicas mecánicas de un concreto compactado utilizando método de compactación de suelos.

### **1.7.2 Objetivos Específicos**

- Calcular el Peso específico aparente, peso específico saturado, contenido de humedad, absorción, peso unitario suelto, peso unitario compactado y módulo de finura del agregado fino.
- Calcular el Tamaño máximo nominal, el peso específico de masa, el peso específico saturado, peso específico aparente, contenido de humedad, absorción, peso unitario suelto, peso unitario compactado, módulo de finura y abrasión del agregado grueso.
- Realizar el diseño de mezclas del concreto compactado.
- Obtener el valor promedio de la resistencia a Compresión, Flexión y tracción del concreto compactado.

# CAPITULO II.

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes teóricos de la Investigación.

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales.

- En 2014 se ha desarrollado la tesis de grado: ***“Estudio descriptivo de la tecnología del concreto compactado con rodillo y su aplicabilidad en pavimentos”***, a cargo de **José Luis Alvarado Aguirre** ex alumno de la Universidad Militar Nueva Granada - Colombia., concluye que la técnica de rodillado aumenta considerablemente la permeabilidad, densidad, propiedades que contribuyen a la durabilidad de las estructuras; en la construcción de pavimentos sería una buena alternativa para la gestión y administración de la red primaria, secundaria y terciaria de carreteras; y finalmente la alta capacidad de soporte inicial que se le permite al pavimento ser liberado al tráfico después de su terminación, su alto volumen de producción , alta resistencia y durabilidad, alta capacidad de carga y deformación mínima de la superficie lo convierten en un material bondadoso.
  
- En 2012 se ha desarrollado la tesis de grado: ***“Evaluación y comparación de la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto compactado con rodillo”***, a cargo de **Merlín Olimpia Baños Sánchez, Tatiana Vanessa Flores Flamenco, Elder Iván Santos Fabián (2012)** ex alumnos de la Universidad de El Salvador – El Salvador. Concluyen que los agregados utilizados para elaborar las mezclas de concreto rodillado deben cumplir con la especificación de la ASTM C33; después de evaluar las propiedades en estado fresco y endurecido estudiadas al concreto rodillada, a la edad de 28 y 56 días, las variaciones existentes se encuentran en un rango de 1 al 10% entre ambos métodos de moldeo de especímenes de prueba cuando la mezcla presenta una consistencia seca; el martillo vibro compactador, fue el método que presentó mejores resultados en el acabado superficial, acomodo de las partículas y resistencia.

- En 2008 se ha desarrollado la tesis de grado: **“Concreto compactado con rodillo con agregados calizos y andesíticos”**, a cargo de **Javier Enrique Luna Sánchez** ex alumno de la Universidad Nacional Autónoma de México. La Investigación presenta condiciones técnicas a evaluar en los proyectos de CCR son los diseños estructurales, métodos de producción, clima, procura de los materiales, la roca de cimentación y condiciones particulares del sitio

### 2.1.2 Antecedentes nacionales.

- En 2006 se ha desarrollado la tesis de grado: **“Diseño de mezclas de concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos”**, a cargo de **Escalaya Advincula, Miriam Rosanna** ex alumno de la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú. Concluye que un concreto rodillado resulta tener el doble de resistencia a la compresión que un concreto convencional.
- En 1998 se ha desarrollado la tesis de grado: **“Características técnicas del concreto compactado con rodillo”**, a cargo de **Enrique Manuel Palomares Carmona** ex alumno de la Universidad Nacional de Ingeniería – Perú. Concluye que la resistencia a compresión y a tracción aumento en un 25 % a la edad de 28 días.

### 2.1.3 Antecedentes locales.

- En 2016 se ha desarrollado la tesis de grado: **“Determinación de las características físico – mecánicas del concreto rodillado”**, a cargo de **Puentes Tuesta, Jimmy** ex alumno de la **Universidad Nacional de Cajamarca – Perú**. Concluye que al aplicar energía de compactación la resistencia a la compresión aumenta en 30% de la resistencia de diseño.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Concreto**

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

La principal limitación a las múltiples aplicaciones que se pueden dar al concreto es el desconocimiento de alguno de los aspectos ya indicados; así como de la mayor o menor importancia de los mismos de acuerdo al empleo que se pretende dar al material. Ello obliga al estudio y actualización permanentes para obtener del concreto las máximas posibilidades que como material puede ofrecer al Ingeniero, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.1.1. Requisitos de mezcla**

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos:

a) La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados.

Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener una exudación mínima.

b) La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del empleo que se va a dar a la estructura.

c) El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.1.2. Composición del concreto**

El concreto endurecido se compone de:

- Pasta
- Agregado

### **2.2.1.3. La pasta**

**a) Elementos fundamentales:** Aquella parte del concreto endurecido conocida como pasta comprende a cuatro elementos fundamentales:

1. El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento;
2. Los poros incluidos en ella.
3. El cemento no hidratado, si lo hay.
4. Los cristales de hidróxido de calcio, o cal libre, que puedan haberse formado durante la hidratación del cemento.

Estos cuatro elementos tienen un papel fundamental en el comportamiento del concreto.

#### **b) Funciones de la pasta**

La pasta tiene cuatro grandes funciones en el concreto:

1. Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido.
2. Separar las partículas de agregado.
3. Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
4. Proporcionar lubricación a la masa cuando ésta aún no ha endurecido.

#### **c) Propiedades de la pasta**

Las propiedades de la pasta dependen de:

1. Las propiedades físicas y químicas del cemento.
2. Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla.
3. El grado de hidratación del cemento, dado por la efectividad de la combinación química entre éste y el agua.

#### **d) Influencia de la pasta en el concreto**

Sin desconocer el papel fundamental que tiene el agregado en las características finales del concreto, el comportamiento de éste como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y propiedades finales de ella.



Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua-material cementante y del grado de hidratación de éste; siendo mejores las propiedades del concreto y menor su porosidad cuanto más baja es la relación agua-material cementante de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento.

Dependiendo el grado de hidratación del cemento de la reacción química entre éste y el agua, todas aquellas condiciones que favorezcan la hidratación tienen importancia en la influencia de la pasta en el concreto, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.1.4. El gel**

##### **a) Proceso de formación**

En 1882 el investigador francés Le Chatelier sostuvo que los productos de hidratación del cemento tenían una solubilidad menor que los compuestos originales, lo que daba lugar a que los hidratos se precipitasen formando una solución sobresaturada que presentaba cristales elongados y entrelazados, los cuales poseían alta cohesividad y propiedades adhesivas.

En 1893 el investigador francés Michaelis enuncia la teoría coloidal, sosteniendo que el aluminato tricálcico, el sulfoaluminato de calcio y el hidróxido de calcio dan la resistencia inicial de la pasta y que, a continuación, el agua saturada de cal ataca a los silicatos formando silicato de calcio hidratado el cual, por ser casi insoluble, forma una masa gelatinosa. Debido a la pérdida gradual de agua de la mezcla, ya sea por secado o por hidratación, esta masa endurece gradualmente obteniéndose cohesión.

A partir de 1960 se acepta que ambas teorías contienen algo de verdad y no son irreconciliables. En primer lugar no existen dudas en cuanto a que los coloides, en su condición de partículas cristalinas de gran área superficial, gozan de propiedades diferentes a los sólidos usuales. Ello implica que el comportamiento coloidal de la pasta sería esencialmente función del área superficial de la misma y no de la irregularidad de la estructura interna de las partículas involucradas.

Como consecuencia, en la actualidad se piensa que cuando el cemento se combina con el agua se produce muy rápidamente una solución sobresaturada

de hidróxido de calcio, con concentración de silicato cálcico hidratado en condición metastable. De acuerdo a Le Chatelier este hidrato se precipita rápidamente, correspondiendo el endurecimiento posterior a la pérdida de agua del material hidratado, tal como lo enuncia Michaelius. Presentándose el silicato de calcio hidratado en forma de cristales interconectados extremadamente pequeños, los cuales de acuerdo a sus dimensiones pueden ser definidos como gel, la aparente divergencia Le Chatelier – Michaelius se reduciría finalmente a terminología en la medida que el producto final es un gel consistente de cristales,(Enrique Rivva López, 2014).

### **b) Composición**

En su estructura el gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas, en su mayoría escamosas o fibrosas, el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfo.

En su composición el gel comprende:

1. La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa.
2. Hidróxido de calcio cristalino.
3. Poros Gel.

### **c) Comportamiento**

El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto, especialmente en su resistencia y comportamiento elástico. Las razones de su resistencia aún no están claramente comprendidas, pero se acepta que intervienen dos clases de adherencias cohesivas: atracción física y adherencia química.

La atracción física es del tipo Van der Waal entre superficies de sólidos separados únicamente por los microscópicos poros gel. Esta adherencia es debida a la gran energía disponible en la superficie de las partículas de gel. Es una característica distintiva de éste el que sus fuerzas internas son pequeñas en comparación con sus fuerzas superficiales.

La adherencia química es igualmente una causa importante de cohesión. Dado que el gel tiene capacidad de esponjamiento limitada, debido a que sus partículas no pueden dispersarse por adición de agua, es evidente que ellas

están unidas por fuerzas químicas, siendo la ligazón de los tipos iónico y covalente.

Si bien las fuerzas químicas son más importantes que las Van der Waal, la adherencia química actúa únicamente sobre la pequeña fracción que corresponde a la zona de contacto de las partículas de gel. En cambio, la adherencia física actúa sobre un área mayor, dado que la superficie específica del gel cemento es de cerca de dos millones de centímetros cuadrados por gramo. Así, aunque la pasta es un gel del tipo de expansión limitada, la adherencia entre las fibras es lo bastante fuerte para resistir expansiones tixotrópicas ilimitadas.

Por lo expuesto, aunque en la actualidad se sigue investigando sobre la importancia de la influencia relativa de las adherencias física y química, no existen dudas sobre la importancia de la contribución de ambas a las propiedades finales de la pasta endurecida, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.1.5. Hidratación y curado del concreto**

Se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad, condiciones de curado favorables, y tiempo.

Se define como tiempo de curado al período durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.1.6. Porosidad de la pasta**

##### **a) Clasificación**

Los poros presentes en la pasta se clasifican en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño promedio, o ubicación de ellos. No existe una línea clara de demarcación que separe un rango de otro. Los poros de estas cuatro categorías son:

## **1. Poros por aire atrapado**

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire, del orden del 1%, es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa de concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. Los espacios que este aire forma en la masa de concreto se conocen como poros por aire atrapado. Son parte inevitable de toda pasta.

Los poros por aire atrapado varían en tamaño desde aquellos que no son perceptibles a simple vista hasta aquellos de un centímetro o más de diámetro.

Su perfil puede ser irregular y no necesariamente están interconectados.

La presencia de los poros de aire atrapado es inevitable pero inconveniente dado que contribuyen a la disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, pudiendo adicionalmente incrementar la permeabilidad.

En la misma categoría general de poros por aire atrapado, aunque estrictamente no lo son, algunos especialistas incluyen las fisuras u oquedades que en algunas oportunidades se observan debajo del agregado grueso. Ellas han sido formadas por el agua que se ha almacenado debajo de éste y posteriormente se ha secado, (Enrique Rivva López, 2014).

## **2. Poros por aire incorporado**

Fundamentalmente por razones de incremento en la durabilidad del concreto, por incremento en la protección de la pasta contra los procesos de congelación del agua en el interior de la misma, se puede incorporar en forma intencional, mediante el empleo de aditivos químicos, minúsculas burbujas de aire las cuales se conocen como poros por aire incorporado.

Las burbujas de aire incorporado son generalmente de perfil esférico, con diámetros variables que corresponden a un valor promedio de 0.08 a 0.10 mm.

Su volumen en la unidad cúbica de concreto puede ocupar hasta más del 5% de la misma, pudiendo encontrarse en un concreto con 5% de aire incorporado valores del orden de 330 mil burbujas de aire por centímetro cúbico de pasta. La razón principal del empleo de las burbujas de aire incorporado es que este sistema de poros el cual está muy estrechamente espaciado permite un

incremento significativo de la durabilidad del concreto al crear un gran número de cámaras en las que se puede congelar el agua presente en los poros capilares, evitando que la tensión generada por la conversión de agua a hielo contribuya a agrietar el concreto.

Ventajas adicionales incluyen el que los poros de aire incorporado tienden a incrementar la trabajabilidad, plasticidad y fluidez de las mezclas; disminuyen a consistencia permitiendo la reducción de agua sin pérdida de la consistencia original; reducen la segregación del agregado; y disminuyen la exudación de las mezclas.

El principal inconveniente de la presencia de burbujas de aire en la mezcla de concreto es que éstas, al incrementar la porosidad, tienden a disminuir las resistencias mecánicas en un 5% por cada 1% de aire incorporado. Esta disminución es más significativa en las mezclas ricas y tiende a disminuir conforme la mezcla es más pobre, ello principalmente debido a que al mejorar las propiedades al estado fresco permiten una reducción en el contenido de agua con la consiguiente reducción en la relación agua – cemento, (Enrique Rivva López, 2014).

### **3. Poros capilares**

Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel.

El gel sólo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua.

Por tanto, si la relación agua-cemento es alta o el curado es pobre, la cantidad de espacios ocupables por el gel será alta y sólo una parte de ellos será ocupada por el gel durante el proceso de hidratación, quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

Los poros capilares no pueden ser apreciados a simple vista, varían en perfil y forman un sistema, en muchos casos interconectado, distribuido al azar a

través de la pasta. En la pasta en proceso de formación los espacios llenos de agua son continuos. Conforme progresa la hidratación los capilares son separados por el gel al comenzar a ocupar éste los espacios originalmente llenos de agua, pudiéndose llegar a un sistema parcialmente discontinuo, el cual definitivamente se presenta en relaciones agua-cemento bajas.

En la práctica nunca se llega a un sistema totalmente discontinuo aún en relaciones agua cemento tan bajas como 0.45

La importancia de los poros capilares radica en que, conforme aumenta su número:

- Disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
- Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.

Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre el concreto.

Este último punto es de gran importancia dado que los poros capilares son los principales responsables de la vulnerabilidad de la pasta al ataque de las heladas debido a que están en capacidad de contener agua que puede congelarse. Esta agua al pasar al estado sólido debido a las bajas temperaturas incrementa su volumen en un 9%, originando esfuerzos de tensión que el concreto no está en capacidad de soportar, aumentando con ello la capacidad de deterioro del mismo, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **4. Poros gel**

Durante el proceso de formación del gel quedan atrapados dentro de éste, totalmente aislados unos de otros, así como del exterior, un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce con el nombre de poros gel.

Estos poros se presentan en el gel en forma independiente de la relación agua cemento y el grado de hidratación de la pasta, ocupando aproximadamente el 28% de la misma.

Los poros gel tienen un diámetro muy pequeño, del orden de aproximadamente 0.0000010 mm, equivalente al de las moléculas de agua. Debido a su muy pequeño diámetro el agua no congela en ellos. Estos poros no están interconectados.

La imposibilidad que tiene el agua para congelar en los poros gel es debida, fundamentalmente, a que no hay espacio suficiente para que se pueda producir la nuclearización del hielo. Las partículas que conforman el gel son cuatro o cinco veces mayores que los poros gel, (Enrique Rivva López, 2014).

### **b) Importancia de la porosidad**

El agua presente en los poros gel está tan firmemente unida que no se evaporará bajo condiciones de secado que eliminarían casi toda el agua de los poros mayores. Esta agua puede ser considerada para efectos prácticos como agua químicamente combinada.

En el caso de los poros por aire atrapado, estos tienen tan baja propensión a retener agua que pueden considerarse virtualmente vacíos.

Los poros de aire incorporado, cuyo rango de diámetros está entre el de los poros capilares y el de los poros gel, no retienen agua ni están interconectados, pudiéndoseles considerar como virtualmente vacíos.

El contenido de agua de los poros capilares se incrementa o disminuye por humedecimiento o secado del concreto, siendo el agua más fácilmente removible por secado conforme el capilar aumenta de diámetro. La porosidad característica del gel, nominalmente no inferior al 28%, es el límite inferior de la porosidad total que puede ser alcanzada por la pasta en aquellos casos en que, gracias a una adecuada combinación de una relación agua-cemento inicial muy baja y un curado prolongado, la porosidad capilar podría ser reducida a un mínimo. En la práctica la porosidad de la pasta es siempre mayor al 28%, variando en un buen concreto entre 30% y 40%, con lo que la permeabilidad de

tales pastas generalmente será la del gel en si mismo, (Enrique Rivva López, 2014).

Adicionalmente deberá tenerse en consideración que en el proceso de secado del concreto endurecido, los poros mayores que contienen agua tenderán a vaciarse más rápidamente que los menores. En cambio, en el proceso de humedecimiento de un concreto seco, la alta capilaridad de los poros muy pequeños produce una gran fuerza de impulso para el movimiento de agua, el mismo que trata de ser impedido por la baja permeabilidad del sistema adyacente compuesto de poros muy pequeños, dando como resultado que los poros menores tiendan a llenarse muy lentamente.

Los macroporos tienen muy pequeña capilaridad y, por tanto, dan origen a una fuerza de impulso para el movimiento del agua. Adicionalmente, como suelen estar rodeados de un sistema poroso de permeabilidad restringida, ello se une a lo anterior para reducir la velocidad de movimiento del agua en los macroporos, excepto aquellos que se encuentran muy cerca de la superficie, (Enrique Rivva López, 2014).

### **2.2.2 Concreto compactado.**

Para la filosofía del concreto se considera que la mezcla de CCR es un verdadero concreto cuya resistencia y otras propiedades siguen la relación agua-cemento establecida por Abrams en 1918. Es decir, suponiendo agregados resistentes y limpios, la resistencia del concreto completamente consolidado es inversamente proporcional a la proporción agua-cemento. Usando menos agua con una constante cantidad de cemento se produce un concreto con mayor resistencia a la compresión y propiedades relacionadas.

Para la aproximación a concreto el contenido de agua de la mezcla es determinado usando una mesa vibradora (equipo VeBe) y proctor modificado para alcanzar el tiempo deseado en el que la pasta empiece a aparecer en la superficie de la mezcla del concreto compactado, (ME Advincula, 2011).



### **2.2.3 Filosofía de compactación según proctor modificado aplicada a concreto utilizando concepto de suelos.**

La filosofía de suelos considera al CCR como un suelo procesado o agregado enriquecido con cemento, cuyo diseño de la mezcla está basado en la relación humedad-densidad. Para un agregado específico y un contenido de material cementante, el objetivo es determinar un contenido óptimo de humedad para un esfuerzo de compactación de laboratorio que corresponde al esfuerzo o densidad aplicable por los rodillos en el campo. En la aproximación a suelos, la pasta (cemento, puzolana, agua) no rellena generalmente todos los vacíos en los agregados después de la compactación.

Los principios de compactación desarrollados por Proctor en los inicios de 1930, son aplicados a las proporciones de mezclas de CCR con aproximación a suelos. Proctor determinó que para un esfuerzo de compactación dado existe un “óptimo contenido de humedad” que produce una máxima densidad seca. Incrementando el esfuerzo de compactación resulta una mayor máxima densidad seca y un menor óptimo contenido de humedad. Siendo el mayor el correspondiente al Proctor Modificado (ASTM D 1557). (Dr. Jorge E. Alva Hurtado.2007).

### **2.2.4 Filosofía de compactación según proctor modificado aplicada a concreto utilizando concepto de suelos.**

Este método de evaluación de la consistencia, que data de la década del cuarenta, es de origen sueco y basándose en el principio de remoldeo es muy similar al original ensayo de Powers. En el ensayo Vebe el remoldeo se realiza por vibración continua de la mesa que soporta al sistema. La compactación se logra con una mesa vibrante debida a un peso excéntrico que gira a velocidad constante. La cantidad de energía necesaria para el remoldeo de la mezcla es una medida de la consistencia del Concreto;

por lo tanto, considerando que las masas en juego son constantes, resulta que el tiempo empleado para realizar aquella operación indica en forma relativa la consistencia de la mezcla fresca. El equipo se compone de una olla cilíndrica de remoldeo sin guidores interiores. El sistema dispone de un disco tapa para el remoldeo, el cual es transparente para poder visualizar el fin del ensayo. El recipiente de moldeo es un tronco de cono de Abrams. La oscilación de la mesa vibrante tiene una amplitud de 0,5 mm y una frecuencia de 50 Hz, (ME Advincula, 2011).

### **2.2.5 Ensayo normalizado para resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto**

El ensayo de tracción indirecta, destaca por ser un método simple y representativo, que permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.

Hasta 1965 sólo se utilizaba para determinar la resistencia a tracción indirecta, pero desde entonces se ha ido profundizando en su estudio llegando a ser un ensayo con grandes perspectivas de futuro. Estados Unidos destaca como pionero en el avance de su estudio en la década de los 90, donde se realizan un gran número de investigaciones, muchas de ellas quedan recogidas en el 4º Internacional Symposium de la RILEM. Actualmente es un ensayo ampliamente utilizado para medir la resistencia a tracción de las mezclas bituminosas, (ME Advincula, 2011).

### **2.2.6 Agregado.**

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto.

Ellos son materiales que están embebidos en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto. Un adecuado conocimiento de la naturaleza física y química del concreto, así como del comportamiento de éste, implica necesariamente el de los materiales que conforman la corteza terrestre, estudiados a la luz de la geología y, específicamente, de la petrología, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.6.1. Clasificación**

El agregado empleado en la preparación del concreto se clasifica en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral.

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N° 200. El más usual de los agregados finos es la arena, definida como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas.

Se define como agregado grueso a aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos. Se le encuentra generalmente en canteras y lechos de ríos depositado en forma natural. La piedra chancada, o piedra triturada, es el agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas y gravas.

Se define como hormigón, o agregado integral, al material conformado por una mezcla de arena y grava. Este material, mezclado en proporciones arbitrarias se da en forma natural en la corteza terrestre y se le emplea tal como se le extrae de la cantera, (Enrique Rivva López, 2014).

### **2.2.6.2. Funciones del agregado**

Las tres principales funciones del agregado en el concreto son:

- a)** Proporcionar un relleno adecuado a la pasta, reduciendo el contenido de ésta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto.
- b)** Proporcionar una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas, de desgaste, o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- c)** Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento; de humedecimiento y secado; o de calentamiento de la pasta.

### **2.2.6.3. Interrelación agregado – concreto**

Las propiedades del concreto resultantes del empleo de un agregado determinado dependen de:

- a)** La composición mineral de las partículas de agregado, la cual influye fundamentalmente sobre la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto.
- b)** Las características superficiales de las partículas, las cuales influyen especialmente sobre la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; así como sobre la adherencia entre la pasta y el agregado.
- c)** La granulometría de los agregados fino y grueso, definida por si misma, así como por la superficie específica, módulo de fineza, y tamaño máximo del agregado grueso. Estas propiedades influyen fundamentalmente sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido, sobre su densidad y sobre la economía de la mezcla.
- d)** El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto, el cual influye especialmente en los cambios de volumen debidos a los procesos de humedecimiento y secado; a los procesos de calentamiento y enfriamiento; así como en el costo de la unidad cúbica de concreto.

e) La porosidad y absorción del agregado, las cuales influyen sobre la relación agua cemento efectiva, así como sobre las propiedades del concreto al estado no endurecido, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.6.4. Importancia de la porosidad del agregado**

Las cuatro clases de poros que pueden estar presentes en la pasta corresponden a espacios que están en el concreto fuera de los límites del agregado. Sin embargo, normalmente éste es poroso y permeable, pudiendo variar el total de poros, de acuerdo a los diferentes tipos de rocas, entre el 0.3% y el 20%.

Algunas rocas presentan macroporos, los cuales se definen como poros lo suficientemente grandes como para que los efectos de la capilaridad en ellos sean muy pequeños o despreciables. Los macroporos presentes en la superficie de la roca, o el concreto, o en el cuerpo de la roca pero conectados a la superficie por otros macroporos, pueden ser llenados fácilmente por inmersión de la roca en agua. Sin embargo, si tales macroporos están dentro del cuerpo de la roca y se encuentran separados de la superficie por una fina estructura porosa que no es fácilmente permeable, no deberán llenarse rápidamente por un proceso ordinario tal como una prolongada inmersión en agua. La dimensión promedio de los poros en las diversas rocas comprende un amplio rango de tamaños. Usualmente las rocas que presentan una alta porosidad y poros relativamente grandes, tienen una alta permeabilidad al agua. Sin embargo, esta regla presenta excepciones encontrándose rocas, por el ejemplo el horsteno, las cuales tienen una porosidad moderada a alta pero baja permeabilidad, lo que indica poros de tamaño promedio pequeño. En este tipo de rocas el tamaño promedio de los poros podría estar en el rango del diámetro de los poros capilares presentes en la pasta.

La porosidad de los agregados naturales generalmente empleados en la preparación de concretos de peso normal, se encuentra usualmente por debajo del 10% y casi siempre por debajo del 3%, en contraste con el 30% o más de la porosidad total de las pastas. Es lógico esperar, a partir de estos valores, que

la permeabilidad de los agregados usualmente empleados sea mucho menor que la de la pasta.

Sin embargo, a nivel de laboratorio se ha podido comprobar que ello no siempre es así, habiéndose encontrado que muchas rocas empleadas como agregado en el concreto pueden tener valores de permeabilidad en el orden de, o más altos que, aquellos que se encuentran en pastas preparadas con relaciones agua – cemento en los rangos de 0.4 a 0.7

La explicación de esta aparente anomalía se encuentra en el hecho que los capilares o espacios porosos en el agregado a través de los cuales el agua puede fluir, son en promedio considerablemente mayores que los existentes en la pasta aun cuando ellos se presentan en mucho menor proporción.

Los pequeños vacíos presentes en el agregado, en forma similar a los poros capilares de la pasta, pueden bajo determinadas circunstancias ser parcial o totalmente llenados de agua. Esta puede congelarse a las temperaturas que usualmente se dan en climas fríos, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.6.5. Capacidad de retención del agua en los poros**

La capacidad con la que diversas clases de poros, presentes en la pasta y/o el agregado, pueden retener agua está inversamente relacionada a su tamaño.

En relación con esto se pueden hacer las siguientes distinciones:

- a)** El agua presente en los poros gel está firmemente adherida, de manera tal que ella no puede evaporarse bajo condiciones de secado que harían eliminarse casi toda el agua presente en los poros mayores. Para los propósitos de un estudio sobre la naturaleza del concreto, el agua de los poros gel deberá considerarse como agua químicamente combinada, aunque desde el punto de vista de la físico-química podrían establecerse algunas diferencias.
- b)** Los grandes poros tienen muy pequeña propensión a retener agua, por lo que en circunstancias totalmente inusuales ellos están llenos.

c) En los poros de aire incorporado, los cuales normalmente no suelen apreciarse visualmente, puede afirmarse lo mismo que en el caso de los grandes poros.

d) Ocupando un rango de tamaños intermedios entre aquellos que son visibles por el ojo y los poros gel, los poros capilares tienen una afinidad intermedia con el agua. Pudiendo su contenido incrementarse o disminuir con el humedecimiento o secado del concreto, y siendo el agua presente en los capilares mayores más fácilmente removible por secado que aquella presente en los capilares de diámetro menor.

e) Los poros presentes en el agregado son generalmente mayores que los poros capilares presentes en la pasta, con la excepciones previamente ya indicadas, y por ello tienen una menor habilidad para tomar y retener agua. Sin embargo, los pequeños poros presentes en algunos agregados se comportan, en relación con el agua, en forma muy similar a los poros capilares presentes en la pasta.

Una consecuencia de las propiedades de los diversos tamaños de poros presentes en el concreto, es que puede considerarse que existe una competencia entre ellos en relación con el agua disponible. En efecto, en el proceso de secado del agua contenida en el concreto, los grandes poros que contienen agua tenderán a secarse más fácilmente en tanto que los más pequeños lo harán con mayor dificultad, (Enrique Rivva López, 2014).

**Por otra parte, en el humedecimiento de concretos secos, la entrada del agua en los poros estará determinada por dos tipos de acciones diferentes:**

a) La alta capilaridad de los poros muy pequeños producirá un nivel de fuerzas muy alto para el agua en movimiento, pero éste será impedido por la baja permeabilidad del sistema de poros muy pequeño circundante, con el resultado que estos últimos poros tenderán a llenarse muy lentamente.

**b)** La pequeña capilaridad de los grandes poros, o macroporos, crea pequeñas fuerzas de impulso para el movimiento del agua. Adicionalmente estos poros están generalmente rodeados de un sistema de poros de permeabilidad restringida.

Las dos circunstancias mencionadas se combinan para reducir la velocidad de movimiento del agua en los macroporos, excepto aquellos que están muy cerca de la superficie como ya se indicó.

Adicionalmente a las dos consideraciones anteriores, es importante indicar que los grandes poros presentes en la masa de concreto, incluyendo los poros de aire incorporado, permanecen sin llenar aún en concretos sumergidos en agua. Los poros de tamaño intermedio tienden a llenarse más fácilmente que los poros muy grandes o muy finos, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.6.6. Naturaleza química del agregado**

Aunque para propósitos prácticos el agregado es considerado usualmente químicamente inocuo, ello no siempre es cierto. En efecto, se ha encontrado que:

**a)** Algunos agregados, naturales o artificiales, pueden entrar en reacción química con los constituyentes del cemento, especialmente con los álcalis, dando origen a múltiples problemas originados por la reacción y expansión álcali – agregado.

**b)** Aunque la mayoría de los agregados ricos en sílice son en sí mismos resistentes a los ataques ligeramente ácidos; los agregados calcáreos, especialmente la calcita y la dolomita, pueden ser atacados por los ácidos.

**c)** Aunque las motivaciones no están aún muy claras, se ha encontrado que los agregados carbonatados pueden, en algunas ocasiones, tener aplicación útil como agregados de sacrificio en concretos expuestos a ataques por ácidos débiles a medios, a fin de reducir el ataque a la pasta en sí misma y así



prolongar la vida del concreto en el cual tales concretos son empleados, (Enrique Rivva López, 2014).

## **2.2.7 Características de los agregados para el concreto compactado.**

### **2.2.7.1 Estudio de las características físicas y mecánicas de los agregados para el concreto.**

Los agregados representan en el concreto cerca del 60% del volumen del mismo, es así que la determinación de sus propiedades y características es muy importante para la obtención de un concreto de alta calidad y de las características de los agregados depende la resistencia, trabajabilidad, durabilidad, así como su comportamiento estructural de los elementos estructurales fabricados con estos materiales.

El estudio de las características físico-mecánicas de los agregados para el diseño de mezclas de concreto es indispensable para la obtención de concretos cuya calidad sea la adecuada. Para la verificación de las propiedades de los agregados es necesario que estos sean comparados con los parámetros establecidos en las NTPs o sus equivalentes en normas internacionales como las ASTMs, (Enrique Rivva López, 2014).

### **2.2.7.2 Extracción y preparación de muestras para ensayo.**

Para la obtención del agregado fino y grueso de estudio se realizaron los procedimientos de muestreo descritos en la NTP 400.010-2011, en concordancia con la Norma ASTM D75, donde se describe la obtención de agregados almacenados en pilas, (Enrique Rivva López, 2014).

### **2.2.7.3 Reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo.**

Las muestras de agregados debes ser adecuados para cada tipo de prueba, éstas han sido reducidas a tamaños adecuados para ser ensayadas utilizando para ello lo descrito en la norma NTP 400.043 o su equivalente la Norma ASTM C 702.

Todas las muestras para la realización de los ensayos fueron obtenidas por los procedimientos descritos a continuación, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.7.4 Granulometría.**

##### **a) Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200.**

Los agregados deben cumplir lo establecido por la norma NTP 400.037 o la ASTM C33, también lo descrito en la NTP 400.018, para ello se obtendrá una muestra del tamaño apropiado, (Enrique Rivva López, 2014).

##### **b) Granulometría del agregado grueso.**

El agregado grueso debe tener una granulometría comprendida dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o la ASTM C33, (Enrique Rivva López, 2014).

##### **c) Granulometría del agregado fino.**

El agregado fino debe tener una granulometría comprendida dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o la ASTM C33, 2014. La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme y continua, con valores retenidos en las mallas N°4 a N°200. Se recomienda para el agregado los siguientes límites, (Enrique Rivva López, 2014).

##### **d) Análisis granulométricos de los Agregados.**

El método utilizado para determinar la granulometría del agregado Fino y Grueso fue el de Cribado, este método se utilizó para determinar la distribución aproximada de las partículas de los agregados. Para desarrollar el ensayo se deben reducir las muestras hasta tamaños apropiados para la prueba. Los procedimientos estos son descritos en la norma NTP 400.012,2014 también en la ASTM C 136,2014, (Enrique Rivva López, 2014).

##### **e) Tamaño máximo del agregado grueso.**

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

Granulometrías muy distintas pueden dar el mismo valor del tamaño máximo del agregado grueso. Ello debe tenerse presente en la selección del agregado, de su granulometría y las proporciones de la mezcla, (Enrique Rivva López, 2014).

**f) Tamaño máximo nominal del agregado grueso.**

De acuerdo a la NTP 400.037 es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. La NTP 400.010 nos indica que el tamaño máximo nominal del agregado es igual a un tamaño mayor que el primer tamiz que retiene más que el 10% del agregado, (Enrique Rivva López, 2014).

**g) Módulo de fineza.**

Este módulo es generalmente determinado para el agregado fino, sin embargo en algunas metodologías de diseño de mezclas es necesario obtener el módulo de fineza del agregado grueso.

Los agregados que presentan un módulo de fineza bajo indican una preponderancia de las partículas más finas con un área superficial total muy alta, la que será necesario cubrir con pasta.

El módulo de fineza sirve como una medida del valor lubricante de un agregado, dado que cuanto mayor es su valor menor será el valor lubricante y la demanda de agua por área superficial.

Pudiendo obtenerse con diferentes granulometrías el mismo módulo de fineza, éste no deberá emplearse para definir la granulometría de un agregado.

El módulo de fineza es un índice del mayor o menor grosor del conjunto de partículas de un agregado.

Gran número de granulometrías de agregados fino o grueso, o de una combinación de ambos, pueden dar un módulo de fineza determinado. Esta es la principal desventaja del empleo de este factor, el cual se utiliza como un índice de control de uniformidad de materiales, (Enrique Rivva López, 2014).

## h) **Peso específico absorción.**

### 1. **Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso.**

La muestra a utilizarse debe rechazar todo el material pasante de la malla N°4 lavando o removiendo todo el polvo u otros recubrimientos de la superficie. Si el material contiene una cantidad significativa de agregado fino pues entonces en vez de usarse la malla N°4 se usará la malla N°8.

#### a) **Procedimiento:**

- Se lavó la muestra hasta eliminar el polvo, luego se secó en el horno.
- Se esperó que enfrié hasta una temperatura cómoda al tacto y que la muestra tenga un peso constante.
- Se dejó la muestra en agua por un par de horas, luego de ello se secó partículas sobre una tela, hasta eliminar el agua superficial, en esto obtuvo el estado saturado superficialmente seco (SSS).
- Se determinó la masa de la muestra en el aire en su estado SSS.
- Se colocó la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determinó su peso sumergido en agua.
- Después de ello se colocó la muestra en el horno y se deja reposar por 24 horas, luego se retiró y se dejó enfriar.

#### b) **Formulas:**

Peso específico de masa:	$Pe = \frac{A}{B-C} \dots \dots \dots (1)$
--------------------------	--

Peso específico saturado superficialmente seco:	$Pe = \frac{B}{B-C} \dots \dots \dots (2)$
---	--

Peso específico aparente:	$Pe = \frac{A}{A-C} \dots \dots \dots (3)$
---------------------------	--

Absorción:	$Pe = \frac{B-A}{A} x100 \dots (4)$
------------	-------------------------------------

**Dónde:**

A: Peso seco en el aire.

B: Peso de la muestra saturado superficialmente seco.

C: Peso de la muestra en el agua.

**2. Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.**

**a) Procedimiento:**

- Se seleccionó por cuarteo 1kg de muestra y se llevó en el horno, luego se dejó enfriar a una temperatura cómoda al tacto, una vez seca se repite el proceso hasta tener un peso constante.
- Se cubrió a la muestra completamente con agua, por 24hrs.
- Terminando se decantó la muestra evitando la perdida de finos, luego de ello se secó su superficie con una moderada corriente de aire caliente, para asegurarnos de ello, se hizo la prueba del cono, llenándolo y dándole 25 golpes.
- Luego se introdujo la muestra en el picnómetro de 500g del agregado fino, y se añadió agua hasta los 500cm<sup>3</sup>, determinado el agua introducida, luego se sacó el material del recipiente y se secó determinado su peso.

**b) Formulas:**

Peso específico de masa:	$Pe = \frac{W_o}{V-Va} \dots \dots \dots \dots \dots \dots$	(5)
Peso específico de masa saturada de superficie seca:	$Pe = \frac{500}{V-Va} \dots \dots \dots \dots \dots \dots$	(6)
Peso específico aparente:	$Pe = \frac{W_o}{(V-Va)-(500-W_o)} \dots \dots$	(7)
Absorción:	$Pe = \left(\frac{500-W_o}{W_o}\right) x100 \dots \dots$	(8)

**Dónde:**

Wo: peso en el aire de la muestra secada.

V: volumen del frasco.

Vo: peso del agua añadida al frasco.

**i) Peso unitario suelto del agregado fino y grueso.**

**a) Procedimiento:**

- Se seleccionó una muestra representativa por cuarteo del agregado a ensayar (grava o arena).
- La muestra debe estar previamente seca (secada al horno) a una temperatura constante de 110°C.
- Se pesó el recipiente volumétrico.
- Se depositó el material en el recipiente procurando efectuar esta operación con ayuda de un recipiente volumétrico pequeño, utilizando una altura constante.
- Una vez llenado el recipiente se enrasó, tomando en cuenta para realizar esta operación cuando el material es grava utilizamos los dedos de la mano y en el caso de la arena nos auxiliamos de un enrazado.
- Y finalmente se pesó el recipiente con el material.

**b) Formulas:**

Peso unitario suelto:

$$P_{us} = \frac{(\text{peso del material+recipiente})-(\text{peso de recipiente})}{\text{volumen de recipiente}} \dots \dots \dots (9)$$

**j) Peso unitario compactado del agregado fino y grueso.**

**a) Procedimiento:**

- Se seleccionó una muestra representativa por cuarteo del agregado a ensayar (Grava o Arena).
- La muestra debe estar previamente seca (Secada al Horno) a una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.
- Se pesó el recipiente volumétrico.
- Se depositó el material en el recipiente en tres capas procurando efectuar esta operación a una altura constante.
- Esta operación se realizó hasta 1/3 de la capacidad del recipiente aplicándole 25 golpes con ayuda de la varilla, distribuida en toda el área.
- Una vez llenado el recipiente habiéndole aplicado los 25 golpes a la última capa, se enraza, tomando en cuenta para realizar esta operación si el material fuese grava utilizamos los dedos de la mano y en el caso de la arena nos auxiliamos de un enrazado.
- Finalmente se pesó el recipiente con el material.

**b) Formulas:**

Peso unitario compactado:

$$P_{uc} = \frac{(\text{peso del material} + \text{recipiente}) - (\text{peso de recipiente})}{\text{volumen de recipiente}} \dots \dots \dots (10)$$

**k) Masa por unidad de volumen (Densidad de Masa).**

El siguiente ensayo tiene por finalidad establecer la masa por unidad de volumen o densidad de masa de los agregados en condición suelto o compactado, y calcula los vacíos entre partículas en agregados finos, gruesos o mezcla de ambos basados en la misma determinación. Este

método es aplicable a los agregados que no excedan los 125 mm como tamaño máximo.

El método empleado para el desarrollo de este ensayo es el establecido en la NTP 400.017 en correspondencia con la ASTM C 29, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **l) Desgaste o abrasión del agregado grueso.**

Este ensayo tiene por finalidad el cálculo del desgaste del agregado grueso, para ello y de acuerdo a la granulometría se empleará el método descrito en la NTP 400.019 o su equivalente la ASTM C 131, (Enrique Rivva López, 2014).

#### **2.2.8 El cemento utilizado.**

El cemento que se empleó para elaborar las dosificaciones de estudio, fue Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A. destinado para uso general en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales. Que cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150. Una de sus propiedades principales es que presenta mayor resistencia inicial debida a su óptima formulación. El cemento Tipo I desarrolla mayor resistencia a edades tempranas y menores tiempos de fraguado.

Sus aplicaciones son de uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo: Obras de concreto y de concreto armado en general, para estructuras que requieren rápido desencofrado concreto en clima frío, prefabricados, pavimentos y cimentaciones.

En el Anexo 4 se presenta la ficha técnica del Cemento portland tipo I de Cementos Pacasmayo S.A.A, (Enrique Rivva López, 2014).



### 2.2.9 El agua.

El agua empleada en la preparación y curado de los especímenes cilíndricos de concreto, fue el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, esta agua es extraída de pozos subterráneos, cumple con los límites máximos y mínimos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según el DS N° 031-2010SA; cumpliendo así los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088, (Enrique Rivva López, 2014).

### 2.2.10 Diseño de Mezclas

- **El Reglamento ACI 318S (2014)**, establece que el concreto debe dosificarse para que proporcione una determinada resistencia promedio a la compresión a  $f'_{cr}$ . El concreto debe producirse de manera que se minimice la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a  $f'_{c}$ .

Los requisitos para la dosificación del concreto se basan en la filosofía de que el concreto debe tener una adecuada durabilidad y resistencia. Los criterios para la aceptación del concreto se basan en la filosofía de que el Reglamento pretende primordialmente proteger la seguridad pública.

La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para lograr:

- ✓ La trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.

- ✓ Resistencia a exposiciones especiales que puedan privarlo de su capacidad de servicio.
- ✓ Conformidad con los requisitos del ensayo de resistencia.

Para seleccionar una mezcla adecuada de concreto, hay que seguir tres pasos básicos. El primero es determinar la desviación estándar de la muestra. El segundo determinar la resistencia promedio a la compresión requerida. El tercer paso es la dosificación de la mezcla requerida para producir esa resistencia promedio, ya sea mediante mezclas de prueba o un adecuado registro de experiencias.

➤ **Concepto general:**

El comité 318 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas tablas elaboradas mediante ensayos de los agregados, nos permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto.

Es usual que las características de la obra establezcan limitaciones a quien tiene la responsabilidad de diseñar la mezcla. Entre dichas limitaciones pueden estar:

- Relación agua cemento.
- Contenido de cemento.
- Contenido máximo de aire.
- Asentamiento.
- Tamaño máximo del agregado grueso.

- Resistencia en compresión mínima.
- Requisitos especiales relacionados con la resistencia promedio, el empleo de aditivos o la utilización de tipos especiales de cemento.

Secuencia de diseño:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada, y la desviación estándar de la compañía constructora.
2. Selección de tamaño máximo de agregado
3. Selección del asentamiento.
4. Selección del volumen de agua de diseño.
5. Selección del contenido del aire.
6. Selección de la relación agua-cemento, por resistencia y durabilidad.
- 7 Determinación del factor cemento.
- 8 Determinación del contenido de agregado grueso.
- 9 Determinación de volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso Método ACI.
- 10 Determinación del volumen absoluto del agregado fino.
- 11 Determinación del peso seco del agregado fino.
- 12 Determinación de los valores de diseño del cemento, agua aire agregados finos y gruesos.
- 13 Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
- 14 Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra
- 15 Determinación de los pesos por tanda de un saco.

➤ **Tablas empleadas en el Diseño ACI.**

**Tabla 1. Resistencia a la compresión promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)**

CONDICIÓN DE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA	RELACIÓN APROX. ENTRE LA RESISTENCIA PROMEDIO Y LA RESISTENCIA DE DISEÑO
Excelente	1.15
Intermedia	1.20 a 1.25
Corriente	1.35 a 1.60

Fuente: (Eduardo Torroja ,2008)

**Tabla 2. Especificaciones del Asentamiento.**

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	TRABAJABILIDAD
SECA	0" a 2"	Poco Trabajable
PLÁSTICA	3" a 4"	Trabajable
HÚMEDA	≥ 5	Muy Trabajable

Fuente: (Enrique Rivva Lopez,2011)

**Tabla 3. Volumen Unitario de agua (lt/m<sup>3</sup>).**

Asentamiento	Agua, en l/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	38"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	<b>CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO</b>							
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	.....
	<b>CONCRETO CON AIRE INCORPORADO</b>							
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	.....

\* Esta Tabla ha sido confeccionada por el Comité 211 del ACI,2002

**Tabla 4. Contenido de aire atrapado.**

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	AIRE ATRAPADO
38"	3%
1/2"	2.5%
3/4"	2%
1"	1.5%
1 1/2"	1%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

FUENTE: (COMITÉ ACI 211,2002)

**Tabla 5. Relación agua - cemento.**

f <sub>cr</sub> (28 días)	Relación de agua-Cemento de diseño de paso	
	Concreto <b>sin</b> Aire Incorporado	Concreto <b>con</b> Aire Incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	
450	0.38	

FUENTE: (COMITÉ ACI 211,2002)

**Tabla 6. Módulo de fineza de la combinación de Agregados.**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados que da las mejores condiciones de Trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/metros cubico indicado			
	6	7	8	9
38"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

FUENTE: (COMITÉ ACI 211,2002)

### 2.3 Definiciones de términos básicos.

- **Agregado fino:** Agregado extraído de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Agregado grueso:** Agregado grueso retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de roca. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Cemento Portland:** Cemento utilizado en la investigación es cemento Pacasmayo tipo I, Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda. [NTP 400.017-2011]
- **Compactación:** Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de una mezcla de mortero o de hormigón (concreto) fresco. [NTP 339.047-2006]
- **Contenido de aire:** Volumen total de vacíos de aire, sea incluido o atrapado, en la pasta de cemento, mortero u hormigón (concreto). El aire incluido aumenta la durabilidad del mortero u hormigón (concreto) endurecido sometido a congelación-deshielo y aumenta la trabajabilidad de las mezclas frescas. [NTP 339.047-2006]
- **Curva granulométrica:** Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Concreto compactado:** Lo podemos definir como un concreto seco, con asentamiento “cero”, con bajos contenidos de cemento que pueden ir entre 60 y 240 kg/m<sup>3</sup> y que debe ser compactado con un rodillo vibratorio.

En laboratorio se debe compactar con proctor modificado según norma ASTM D-1557, Esta mezcla debe cumplir con una humedad mínima, que evite que los equipos de colocación se hundan, pero a la vez suficiente para garantizar la uniformidad de la pasta de cemento dentro de la mezcla.

- **Relación agua-cemento (a/c):** Relación entre la masa de agua y la masa de cemento en el concreto. [NTP 339.047-2006]
- **Tamaño máximo del agregado:** Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. [NTP 400.011-2008 (Revisada el 2013)]
- **Trabajabilidad:** Es la propiedad del concreto, mortero, grout o revoque fresco, que determina sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado. [NTP 339.047-2006]

# CAPITULO III.

## MATERIALES Y MÉTODOS

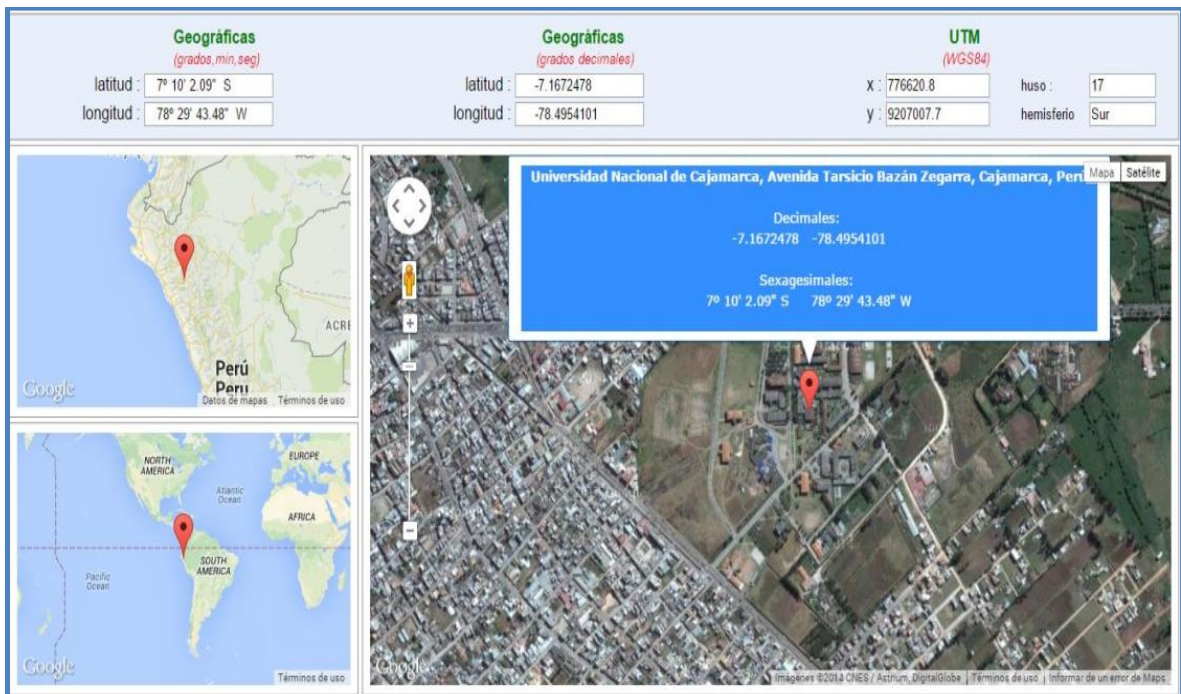
### 3.1 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 400.010 (Agregados Extracción y preparación de las muestras), teniendo consideraciones como el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el agregado fino a utilizar, además del transporte de las muestras al laboratorio, lugar donde se realizó el ensayo para determinar las características físicas de los agregados, los diseños de mezclas y la preparación de los especímenes de concreto.

### 3.2 Localización

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050.

**Figura 1. Fotografía satelital de la ubicación del estudio.**



Fuente: imágenes Google Earth



### **3.3 Diseño de la Investigación:**

#### **3.3.1. Tipo**

El tipo de investigación de esta tesis fue aplicada, con un nivel descriptivo en su primera parte, luego explicativo y finalmente comparativo.

#### **3.3.2. Diseño**

Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño Descriptivo, ya que existe variación en los diseños.

### **3.4 Metodología**

La unidad de análisis de esta investigación se denominó “especimen de concreto”, que es la denominación técnica correcta, sin embargo suele llamarse comúnmente “probeta”. En consecuencia, la población de estudio fue el conjunto de especímenes de concreto; por lo tanto, la muestra fue en un total de 180 especímenes para concreto compactado con proctor, teniendo en cuenta la energía de compactación de un rodillo Cat CB 44B con 600, 000 n-3/m<sup>3</sup> y cada probeta compactada con proctor de 3.5 kg, 40 Golpes por capa en 5 capas y una altura de 0.50 m para cada espécimen: 90 especímenes para ensayos a compresión, tracción y flexión de un concreto convencional, 90 especímenes para los ensayos a compresión, tracción y flexión de un concreto compactado. (La distribución detallada se muestra en la tabla N°7)

### **3.5 Materiales y Equipos.**

#### **3.5.1 Materiales**

- **Cemento:** Cemento Pacasmayo Tipo I, con peso específico 3.13 g/cm<sup>3</sup>
- **Agregados:** Fino (arena) y grueso (piedra chancada) procedentes de la cantera “Chilete”, de propiedad del Ingeniero Edilberto Aguilar Flores.
- **Agua potable:** proveniente de la red pública de servicio de agua en Cajamarca. NTP339.088

### **3.5.2 Equipos**

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 °C.
- Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.
- Cesta de malla de alambre, con abertura no mayor de 3 mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Termómetro con aproximación de 0.5 °C.
- Esferas de acero
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 1/2" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Recipiente cilíndrico y de metal, suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.
- La Máquina de los Ángeles.
- Maquina Universal – Resistencia a Compresión.

### **3.6 Procedimiento**

- a. Extracción y toma de muestras de agregado fino y agregado grueso en cantera.
- b. Transporte de las muestras a laboratorio.
- c. Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados.
- d. Elaboración de los diseños de mezcla.
- e. Preparación de las mezclas.
- f. Elaboración de los especímenes de concreto.
- g. Curado de los especímenes de concreto.
- h. Ensayos a compresión Uniaxial de los especímenes de concreto a edades de 7, 14 y 28 días.
- i. Ensayo a Flexión de los especímenes de concreto a edades de 7, 14 y 28 días.
- j. Ensayos para determinar la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto a edades de 7, 14 y 28 días.

k. Análisis y procesamiento de datos.

Se relaboraron especímenes para ensayos de resistencia a la compresión: distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 7. Cantidad de especímenes realizados en la investigación.**

Cantidad de especímenes para ensayos de resistencia a compresión, flexión y tracción indirecta					
CONCRETO	TIPO DE ROTURA	7 días	14 días	28 días	TOTAL
Concreto Convencional	Mezcla concreto convencional	20-10	20-10	20-10	180
	Probeta cilíndrica ensayo a compresión	10	10	10	
Concreto Compactado	Probeta cilíndrica ensayo a tracción	10	10	10	
	Probeta prismáticas ensayo a flexión	10	10	10	

*Fuente: elaboración propia*

**Nota:** Adicionalmente se elaboraron 24 especímenes para encontrar la relación A/C y la cantidad de Cemento por metro cubico, luego de ello se empezó a elaborar los 180 especímenes para sus respectivos ensayos en laboratorio.

En el cuadro 7 se nota cuadros con número 20-10, esta relación quiere decir 20 especímenes cilíndricos y 10 prismáticos.

### 3.7 Cantera

#### 3.7.1 Elección de la cantera

En la presente tesis de investigación, el material que se ha utilizado en los diferentes ensayos de laboratorio, fue obtenido de la cantera “Chilete”.

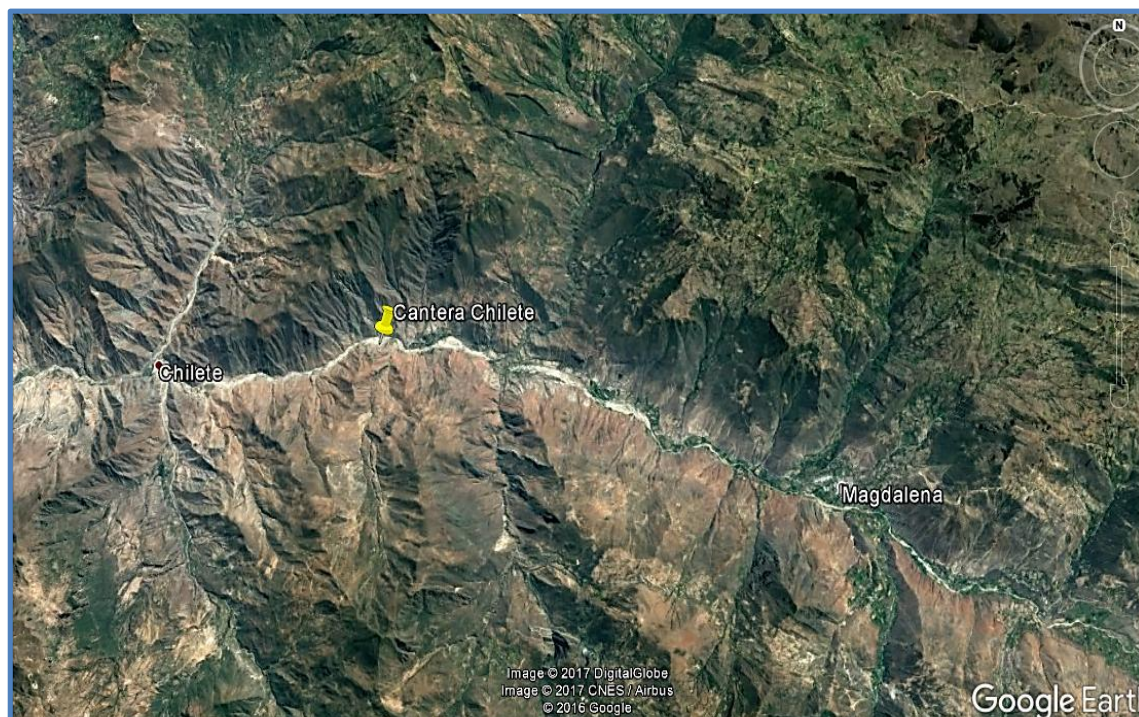
#### 3.7.2 Ubicación

Los agregados de estudio se obtuvieron de la Cantera “Chilete Km 94+500 Carretera Ciudad De Dios - Cajamarca.” propiedad del ingeniero Edilberto Aguilar Flores, los agregados son extraídos desde la ciudad de Chilete, la planta de

almacenamiento está ubicado en el distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca.

Geográficamente en las coordenadas UTM según Datum WGS-84, ubican a la cantera en la Franja 17M con coordenadas 0779896.22 Este y 9208908.62 Norte, a una altitud de 2650 m.s.n.m.

**Figura 2. Ubicación de la cantera Chilete.**



*Fuente: imágenes Google Earth*

### **3.7.3 Extracción de agregados de la cantera**

Los agregados materia de estudio, se encuentran de forma dispersa a lo largo del Río Jequetepeque, para luego ser extraídos desde los márgenes del río con maquinaria pesada y transportado por volquetes de quince metros cúbicos de capacidad de tolva (15 m<sup>3</sup>), estos últimos transportan el material a la zona de proceso, donde son lavados, reducidos a través de trituración y tamizados para su futura venta.

El material es triturado y separado mecánicamente a través de la máquina aquí se hace una clasificación en TMN de 1/2", 3/4" y 1" para su posterior despacho. En la figura 7,8 y se muestra el agregado grueso y agregado fino, dichos

agregados se los extrae del Río Jequetepeque, son lavados y procesados para su respectiva comercialización.

### **3.8 Método de diseño de mezcla para concreto compactado y concreto convencional.**

El diseño de mezcla realizado fue siguiendo el método del módulo de finura de la combinación de agregados y se realizó 2 diseños de mezcla que corresponde a una mezcla convencional y una mezcla para el concreto con compactación, con la cual se realizó la elaboración de 90 especímenes de manera convencional y 90 utilizando el método de compactación, 60 fueron ensayos a compresión Uniaxial según la Norma ASTM C 39 a edades de 7, 14 y 28 días y 30 siguiendo el método de ensayo normalizado para resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, según la Norma ASTM C 496, a edades de 7, 14 y 28 días.

Cabe mencionar que el concreto a evaluar es un concreto de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , con cemento portland Pacasmayo Tipo I según norma ASTM C-150, cuyo peso específico es  $3.12 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **3.8.1 Diseño de mezcla de concreto convencional**

Para este diseño de mezcla de concreto convencional, se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 6.057% y del agregado grueso de 0.30%.

- ***Selección de la resistencia promedio***

De acuerdo al Reglamento ACI 318S se consideró la resistencia promedio como:

Resistencia a compresión promedio:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot f'_c$

Por lo que:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot 210 = 252 \text{ Kg/cm}^2$ .

- ***Selección de tamaño máximo del agregado***

El tamaño máximo del agregado fue de  $3/4"$ , correspondiente al uso granulométrico n° 57 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)

- **Selección del asentamiento**

El asentamiento que se consideró fue el correspondiente a una mezcla plástica: 3" – 4".

- **Selección de la relación agua - cemento**

La relación agua cemento, teniendo en cuenta el tipo de mezcla que se realizó que es consistencia plástica.

- **Selección del contenido de aire**

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%

- **Selección del contenido de agua**

El volumen de agua se considera teniendo en cuenta las características del concreto que se elaboró.

- **Cálculo del contenido de cemento**

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$Cemento = \frac{Agua}{relación\ agua\ material\ cementante}$$

- **Cálculo del volumen absoluto de pasta**

- ✓ Tenemos los componentes de la pasta:

Para el cálculo del volumen de la pasta solo intervienen el cemento, el agua y aire incorporado.

- ✓ Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtuvo lo siguiente:

- **Cálculo del volumen absoluto de los agregados**

*Volumen de agregados = 1- volumen de pasta*

- **Determinación de los pesos de los agregados**

Para la determinación de los pesos de los agregados se calculó los porcentajes respectivos, partir de las tablas ACI del reglamento ACI 318S, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de cemento a utilizar:

Agregado fino: en %

Agregado grueso: en %

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: en m<sup>3</sup>.

Volumen absoluto del agregado grueso: en m<sup>3</sup>.

**Peso del agregado fino: en Kg.**

**Peso del agregado grueso: en Kg.**

- **Materiales de diseño por metro cúbico**

*Después de calcular la relación agua cemento, los volúmenes absolutos de la pasta y el modulo se finura, se calculó la cantidad de materiales que fueron agregado fino seco, agregado grueso seco, agua de diseño de la tabla, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están secos.*

- **Materiales corregidos por metro cúbico**

*Después de calcular los materiales de diseño por metro cubico, se calculan el peso húmedo de los agregados, la humedad superficial de los agregados y el aporte de humedad, para luego determinar los materiales corregidos por m<sup>3</sup>, estos materiales representan agregado fino húmedo, agregado grueso húmedo, agua de diseño efectiva, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están húmedos.*

### 3.8.2 Diseño de mezcla de concreto con compactación

1° teniendo en cuenta los parámetros de diseño de Hormigón Compactado con Rodillo para diseño de vías:

- a. Nos indica que la relación A/C se encuentra entre los valores de (0.33-0.38), arrojando una relación de 0.37 exactamente, para ello se tuvo en cuenta los resultados del ensayo VeBe, la compactación y la resistencia a la compresión.
  - b. Para este diseño de mezcla se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 6.057% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.30%.
- **Selección de la resistencia promedio.**  
De acuerdo al Reglamento ACI 318S se consideró la resistencia promedio como:  
Resistencia a compresión promedio:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot f'_c$   
Por lo que:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot 210 = 252 \text{ Kg/cm}^2$ .
  - **Selección de tamaño máximo del agregado.**  
El tamaño máximo del agregado fue de 3/4", correspondiente al uso granulométrico n° 57 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)
  - **Selección del asentamiento**  
El asentamiento que se consideró fue el correspondiente a una mezcla seca: 0".
  - **Selección de la relación agua- cemento.**  
La relación agua cemento, teniendo en cuenta el tipo de mezcla que se realizó que fue consistencia seca.
  - **Selección del contenido de aire.**  
El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%



- **Selección del contenido de agua**

El volumen de agua se consideró teniendo en cuenta las características del concreto, siendo éste que fue un concreto compactado teniendo en cuenta la resistencia.

- **Cálculo del contenido de cemento**

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{\text{relación agua material cementante}}$$

- **Cálculo del volumen absoluto de pasta**

✓ Tenemos los componentes de la pasta:

Para el cálculo del volumen de la pasta solo intervienen el cemento, el agua y aire incorporado.

✓ Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtuvo lo siguiente:

- **Cálculo del volumen absoluto de los agregados**

$$\text{Volumen de agregados} = 1 - \text{volumen de pasta}$$

- **Determinación de los pesos de los agregados**

Para la determinación de los pesos de los agregados se determinó los porcentajes, los mismos que son calculados a partir de las tablas ACI del reglamento ACI 318S, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados y éstos son:

Agregado fino: en %

Agregado grueso: en %

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: en  $m^3$ .

Volumen absoluto del agregado grueso: en  $m^3$ .

**Peso del agregado fino: en Kg.**

**Peso del agregado grueso: en Kg.**

- ***Materiales de diseño por metro cúbico***

*Después de hallar la relación agua cemento, los volúmenes absolutos de la pasta y el modulo se finura, se calculó la cantidad de materiales, que fueron agregado fino seco, agregado grueso seco, agua de diseño de la tabla, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están secos.*

- ***Materiales corregidos por metro cúbico***

*Después de hallar los materiales de diseño por metro cubico, se calculan el peso húmedo de los agregados, la humedad superficial de los agregados y el aporte de humedad, para luego determinar los materiales corregidos por  $m^3$ , estos materiales representan agregado fino húmedo, agregado grueso húmedo, agua de diseño efectiva, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están húmedos.*

### **3.9 Peso unitario del concreto.**

El procedimiento para el cálculo del peso unitario del concreto ha sido mediante lo que establece la norma ASTM C138M – 09 (Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete), esto se hace con la finalidad de comprobar que el concreto que es compactado con rodillo, en nuestro caso siguiendo el concepto de compactación en suelos, presenta un mayor peso unitario que el concreto convencional.

Cabe mencionar que además del cálculo del peso unitario, este método nos permite determinar el rendimiento de la mezcla, que este está dado por la siguiente fórmula:

$$Y = \frac{M}{D} \dots\dots\dots(11)$$

Donde,

Y: Rendimiento, volumen del hormigón producido por lote (m<sup>3</sup>),

M: Masa total de los materiales (Kg),

D: Peso unitario del concreto (Kg/m<sup>3</sup>).

### 3.10 Módulo de elasticidad del concreto.

El procedimiento para la determinación del módulo de elasticidad del concreto se realizó de acuerdo a la fórmula establecida, cabe mencionar que fueron realizados los diagramas de Esfuerzo Vs Deformación Unitaria. Diagramas De Esfuerzo Vs Deformación Unitaria), a partir de los cuales se puede determinar el esfuerzo corregido, dado que presentan una curva de tendencia cuadrática.

El módulo de elasticidad del concreto para cada uno de los tipos de mezcla, se determinó por medio de la siguiente fórmula matemática:

$$E = 15000\sqrt{\delta_{m\acute{a}x}} \dots\dots\dots (12)$$

Dónde:

E = módulo de elasticidad.

$\delta_{m\acute{a}x}$  = esfuerzo máximo.

El esfuerzo máximo a utilizar fue el promedio alcanzado por los especímenes de concreto que fueron sometidos a ensayos de compresión Uniaxial a edad de 28 días, para cada uno de los tipos de mezcla realizados.

### 3.11 Variación de aumento de resistencia respecto de un concreto convencional y un concreto compactado.

$$\% \text{ Variación} = \left( \frac{R_{MCCR}}{R_{CC}} - 1 \right) * 100 \dots\dots\dots (13)$$

Dónde:

RMCCR = Resistencia Máxima Promedio de Concreto Compactado con Rodillo

RCC = Resistencia de Concreto Convencional.

Dada la fórmula para el análisis del aumento de la Resistencia de un concreto convencional y un concreto compactado con rodillo para los respectivos ensayos a Compresión, flexión y tracción Indirecta alcanzado por los especímenes de concreto que fueron sometidos a edades diferentes tales como, 7,14 y 28 días, para cada uno de los tipos de mezcla realizados.

### 3.12 Ensayo de vibración vebe.

Los ensayos de consistencia son realizaron con la finalidad de obtener la cantidad de agua necesaria para la mezcla de un concreto compactado. Además de la determinación del contenido de agua mediante el método de densidad-humedad (típico para las mezclas con aproximación a suelos), se encontró la consistencia de cada una de las mezclas mediante el ensayo VeBe, en concordancia con la norma ASTM C 1170.

### 3.13 Variables de evaluación del estudio.

Las variables que se evaluaron en esta tesis son las siguientes:

1. Asentamiento del concreto en estado fresco.
2. Densidad de masa del concreto en estado fresco.
3. Densidad de masa del concreto en estado endurecido.

4. Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días.
5. Resistencia a tracción en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días.
6. Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7, 14 y 28 días.
7. Desarrollo de la resistencia del concreto.
8. Módulo de elasticidad del concreto.

### **3.14 Asentamiento en el concreto en estado fresco.**

Ensayo que se realizó bajo lo establecido en la NTP 339.035 en correspondencia a la ASTM C 143.

### **3.15 Densidad de masa del concreto en estado fresco.**

Ensayo que se realizó mediante lo establecido por la NTP 339.046 en concordancia a la ASTM C 138.

### **3.16 Densidad de masa del concreto en estado endurecido.**

Se tomaron dimensiones promedio de los especímenes de estudio con una precisión de 0.01 mm para las dimensiones menores a 150 mm con la ayuda de Vernier, y de 0.5 mm con la ayuda de una regla metálica. También se pesó los especímenes antes de ser ensayados con una precisión de 5 gr.

### **3.17 Resistencia a compresión en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7,14y 28 días.**

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.034 acorde a la ASTM C 39.

Se midió cinco diámetros con el calibrador vernier en las dos por cada cara del espécimen, las mediciones fueron tomadas en forma perpendicular una

de la otra, también se midió la altura del espécimen en dos de sus lados con ayuda de una regla metálica.

### **3.18 Resistencia a la flexión en especímenes prismáticos de concreto a la edad de 7,14y 28 días.**

Ensayo que se desarrolló acorde a la NTP 339.079 acorde a la ASTM C 293.

Se usó una máquina de tracción hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.

### **3.19 Resistencia a la tracción indirecta en especímenes cilíndricos de concreto a la edad de 7,14y 28 días.**

Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.084 acorde a la ASTM C 496.

Se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todo los procesos de ensayos.

### **3.20 Desarrollo de la resistencia del concreto.**

Como se explicó anteriormente, se elaboraron un total de 180 especímenes concreto, 120 cilíndricos y 60 prismáticos, las especificaciones de las diferentes dosificaciones de los especímenes de concreto se desarrollaron anteriormente.

Por lo descrito anteriormente, los especímenes serán probados en grupos de 6 a los 7, 14 y 28 días para cada ensayo (compresión, tracción y flexión). Con los resultados de resistencia a los 7, 14 y 28 días, podemos determinar el desarrollo de resistencia que presentan cada una de las

dosificaciones, expresando el aumento de resistencia a la edad de 28 días en porcentaje respecto a las edades de 7 y 14 días.

### **3.21 Módulo de elasticidad del concreto.**

La Norma ASTM C 489, describe el método que cubre la determinación del módulo de elasticidad secante de Young y la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concreto taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de ensayo proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a la longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

La Determinación del Esfuerzo - Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, al no contar con un Compresómetro, se determinaron con un Deformímetro ubicado en la base móvil de la máquina compresora, por lo que la deformación obtenida habría sido no solo del concreto, sino también de los dos discos de neopreno utilizados para el cabeceo del espécimen, por lo que de usarse estas deformaciones para determinar el módulo de Elasticidad con la curva esfuerzo de formación se obtuvieron resultados dispersos para las diferentes dosificaciones. Así se optó por comparar estos resultados con los calculados al utilizar la fórmula teórica que relaciona la resistencia del concreto con el módulo de elasticidad del mismo.

# CAPITULO IV.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

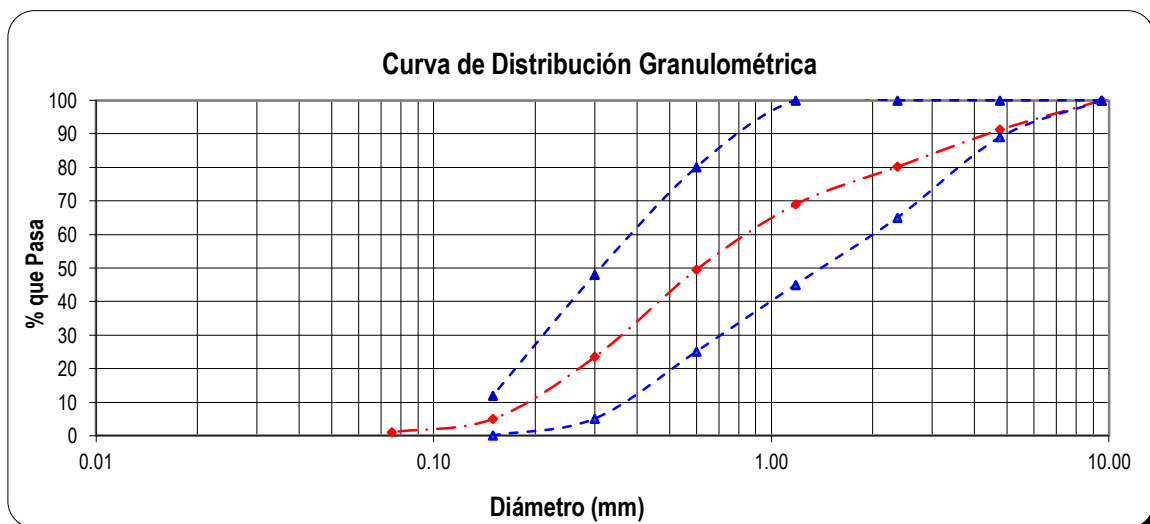
### 4.1 Requisito granulométrico del agregado fino.

De la Tabla N° 8, 9 y 10, y las figuras N° 3, 4 y 5 Se observa que la curva granulométrica del agregado fino, el agregado de estudio es de la cantera “Chilete Km 94+500 Carretera Ciudad De Dios - Cajamarca.”, y cumple con el huso granulométrico "M" de la norma NTP 400.037, siendo el promedio granulométrico de 3 ensayos de 2.806.

**Tabla 8. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 01.**

Tamiz N°	Abertura	% Que Pasa
4	4.75 mm	91.27
8	2.36 mm	80.20
16	1.18 mm	69.00
30	0.60 mm	49.53
50	0.30 mm	23.47
100	0.15 mm	5.00
200	0.075 mm	1.00
CAZOLETA	--	0.00

**Figura 3. Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 01.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la NTP 400.037.



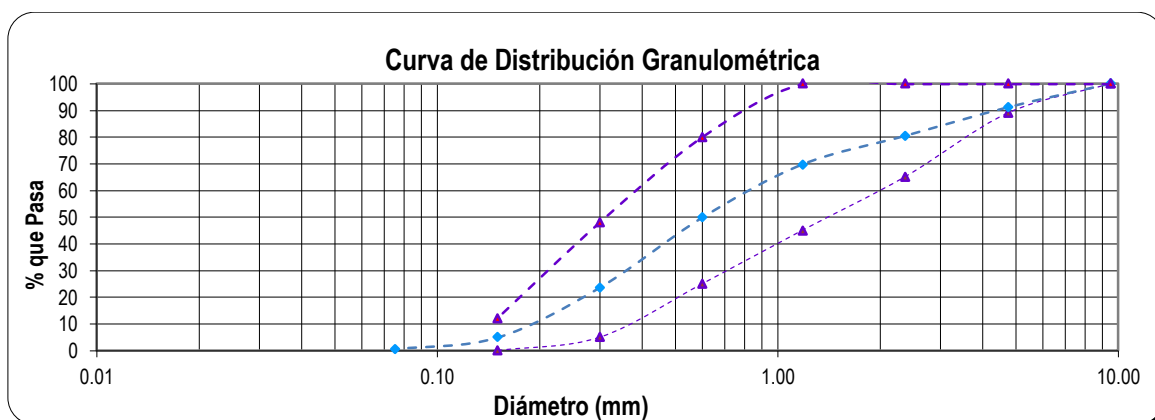
$$C_c = 4.82 \quad C_u = 1.04$$

**Cc:** coeficiente de curvatura, **Cu:** coeficiente de uniformidad

**Tabla 9. Análisis granulométrico del Agregado fino. Ensayo N° 02.**

Tamiz N°	Abertura	% Que Pasa
N°4	4.75 mm	91.13
N°8	2.36 mm	80.40
N°16	1.18 mm	69.73
N°30	0.60 mm	49.87
N°50	0.30 mm	23.67
N°100	0.15 mm	5.00
N°200	0.075 mm	0.67
CAZOLETA	--	0.00

**Figura 4. Requisito granulométrico del agregado fino del Ensayo N° 02.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

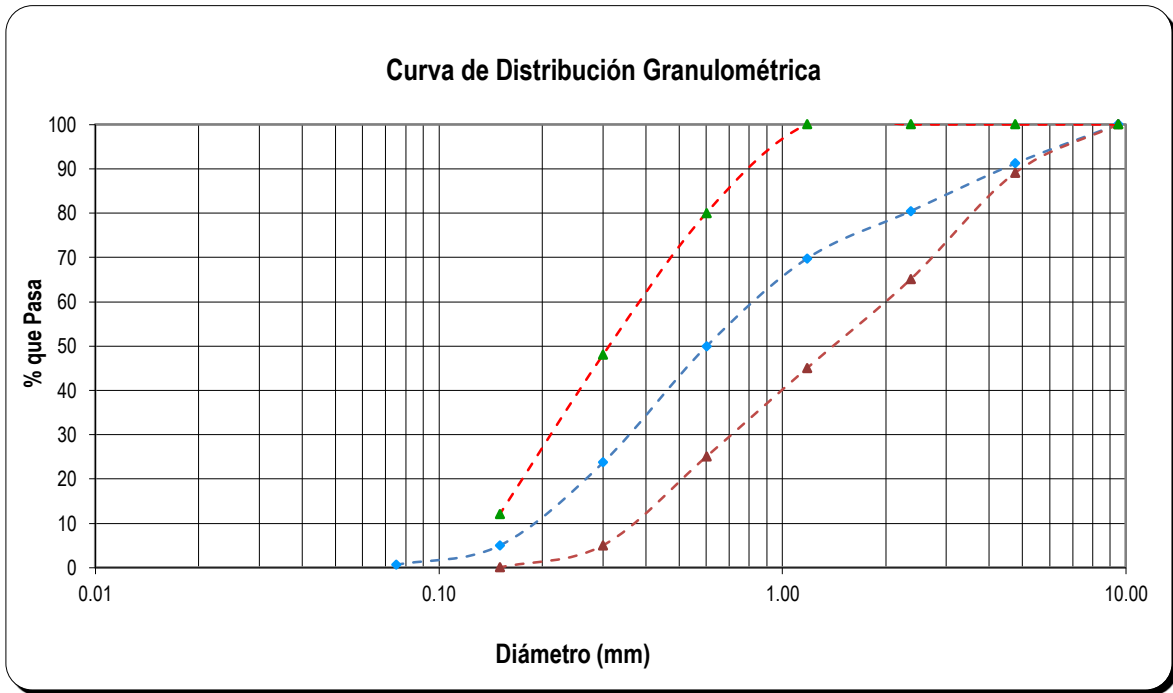
$$C_c = 4.76 \quad C_u = 1.05$$

**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

**Tabla 10. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 03.**

Tamiz N°	Abertura	% Que Pasa
N°4	4.75 mm	91.47
N°8	2.36 mm	80.00
N°16	1.18 mm	69.20
N°30	0.60 mm	49.13
N°50	0.30 mm	24.53
N°100	0.15 mm	5.53
N°200	0.075 mm	1.00
CAZOLETA	--	0.00

**Figura 5. Requisito granulométrico del Agregado Fino del Ensayo N° 03.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$$C_c = 5.03 \quad C_u = 1.06$$

**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

✓ **Módulo de finura del agregado fino: 2.806**

#### 4.2 Requisito granulométrico del agregado grueso.

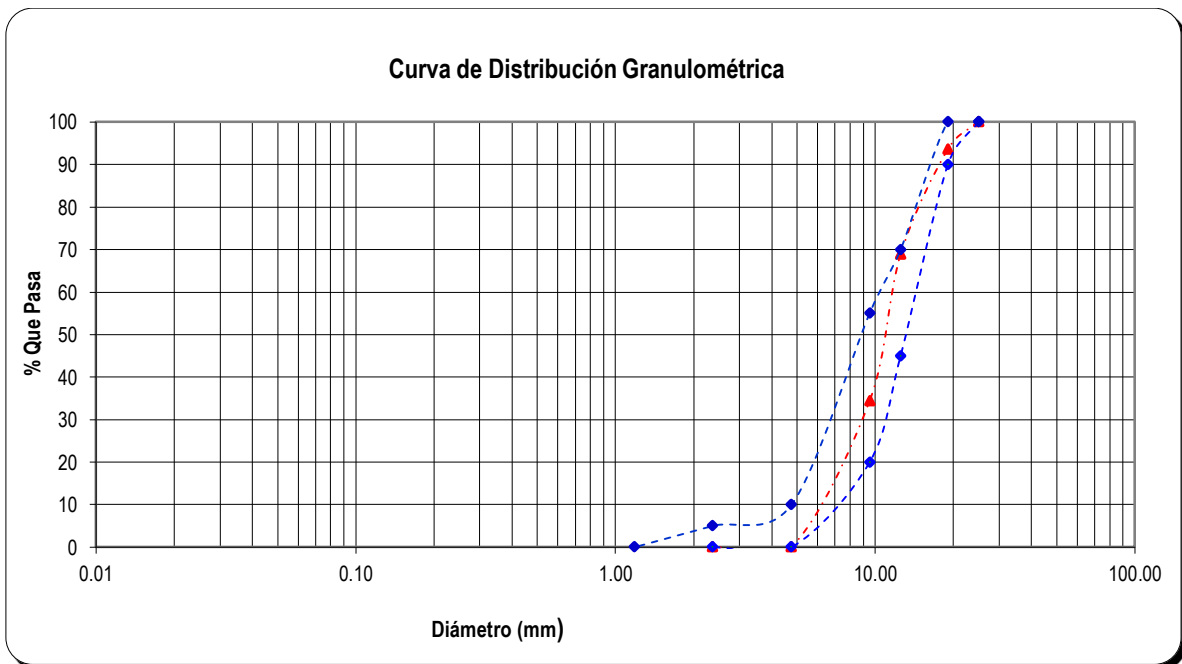
**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

De la Tabla N° 11, 12 y 13, y las Figuras N° 6, 7 y 8 se observa que la curva granulométrica del agregado grueso, el agregado de estudio es de la “Cantera Chilete Km 94+500 Carretera Ciudad De Dios – Cajamarca”, y cumple con el huso granulométrico "N° 67" de la norma A.S.T.M. C 33 M -11.

**Tabla 11. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 01.**

Tamiz N°	Abertura	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	93.61
1/2"	12.50 mm	68.86
3/8"	9.50 mm	34.39
4	4.75 mm	0.08
8	2.36 mm	0.08
16	1.18 mm	0.08
30	0.60 mm	0.08
50	0.30 mm	0.08
100	0.15 mm	0.08
200	0.075 mm	0.08
Cazoleta	--	0.00

**Figura 6. Requisito granulométrico del agregado grueso del Ensayo N° 01.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

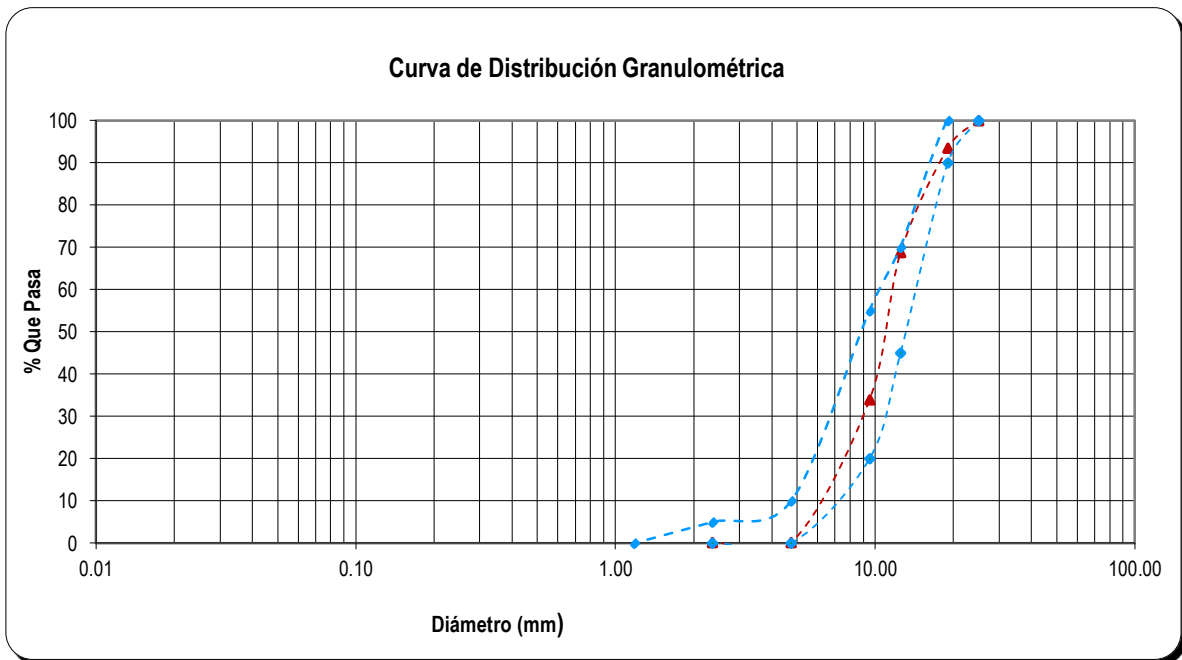
$$C_c = 2.13 \quad C_u = 1.08$$

**C<sub>c</sub>:** coeficiente de curvatura; **C<sub>u</sub>:** coeficiente de uniformidad

**Tabla 12. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 02.**

Tamiz N°	Abertura	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	93.44
1/2"	12.50 mm	68.71
3/8"	9.50 mm	33.90
4	4.75 mm	0.14
8	2.36 mm	0.14
16	1.18 mm	0.14
30	0.60 mm	0.14
50	0.30 mm	0.14
100	0.15 mm	0.14
200	0.075 mm	0.14
Cazoleta	--	0.00

**Figura 7. Requisito granulométrico del agregado grueso del Ensayo N° 02.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

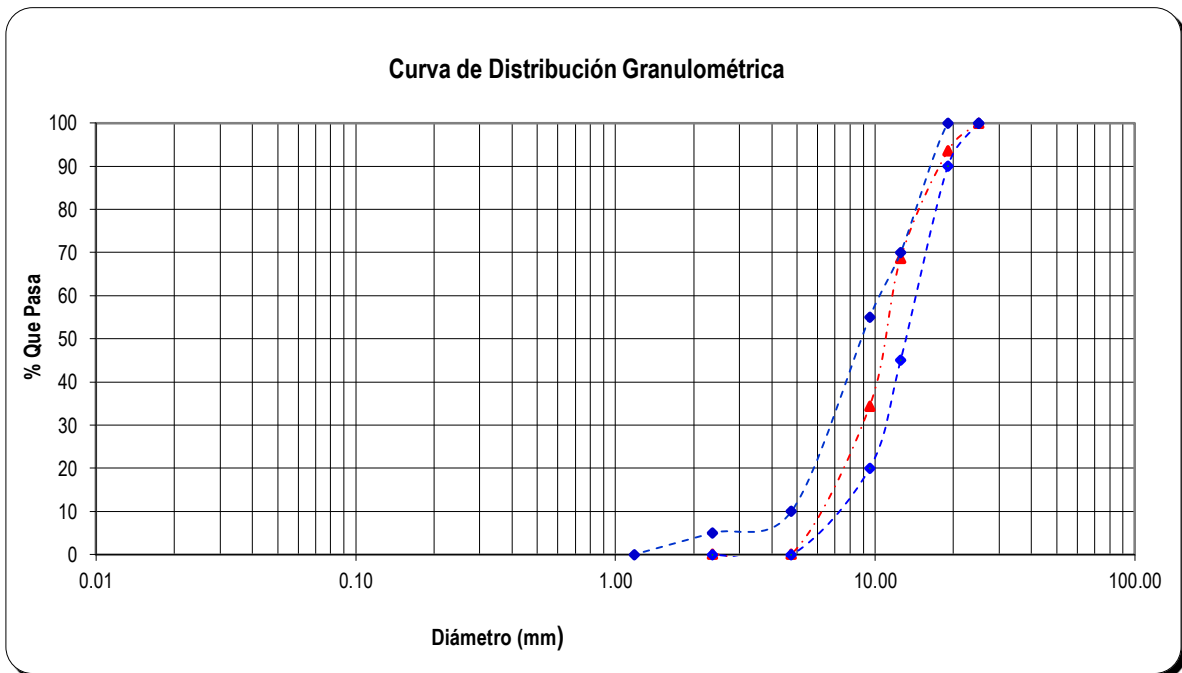
$$C_c = 2.10 \quad C_u = 1.08$$

**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad.

**Tabla 13. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 03.**

Tamiz N°	Abertura	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	93.51
1/2"	12.50 mm	68.66
3/8"	9.50 mm	34.36
4	4.75 mm	0.10
8	2.36 mm	0.10
16	1.18 mm	0.10
30	0.60 mm	0.10
50	0.30 mm	0.10
100	0.15 mm	0.10
200	0.075 mm	0.10
Cazoleta	--	0.00

**Figura 8. Requisito granulométrico del agregado grueso del Ensayo N° 03.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

$$C_c = 2.13 \quad C_u = 1.08$$

✓ **Módulo de finura del agregado grueso: 6.716**

### 4.3 Resultados de material para el diseño convencional y concreto compactado.

Los resultados que se presentan en tabla N°3 son los resultados del total de materiales que se utilizaran por metro cubico tanto para convencional como para compactado.

**Tabla 14. Materiales por metro cubico.**

<b>TOTAL DE MATERIAL POR METRO CUBICO</b>			
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>		<b>CONCRETO COMPACTADO</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1. MATERIALES DE DISEÑO POR m<sup>3</sup></b>		<b>1. MATERIALES DE DISEÑO POR m<sup>3</sup></b>	
Cemento	: 330 Kg	Cemento	: 170 Kg
Agua de diseño	:205 Lt	Agua de diseño	:62.9 Lt
Agregado fino seco	756.25 Kg	Agregado fino seco	:1106.7 Kg
Agregado grueso seco	1007.72 Kg	Agregado grueso seco	:1168.63 Kg
Aire total	2.00%	Aire total	:2%
<b>2. MATERIALES CORREGIDOS POR m<sup>3</sup></b>		<b>2. MATERIALES CORREGISOS POR m<sup>3</sup></b>	
Cemento	: 330 Kg	Cemento	: 170 Kg
Agua de diseño	:176.44 Lt	Agua de diseño	:18.66 Lt
Agregado fino seco	802.05 Kg	Agregado fino seco	:1173.73 Kg
Agregado grueso seco	1010.74 Kg	Agregado grueso seco	:1172.14 Kg
Aire total	2.00%	Aire total	2.00%

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla N° 14 muestra el cálculo de materiales por metro cúbico, tanto para el concreto convencional y para el concreto compactado, con nuestros resultados obtenidos logré un ahorro de 3.76 bolsas por metro cubico, también verifiqué que el concreto compactado alcanza mayor resistencia que el concreto convencional y con menor cantidad de cemento.

#### 4.4 Análisis de las características físicas y mecánicas del agregado fino.

Una vez seleccionada la cantera y luego de haber extraído los agregados, se procedió a realizar el ensayo para determinar las características físicas y mecánicas del agregado fino.

**Tabla 15. Características físicas del agregado fino.**

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADOS	FINO	UNIDAD
Peso específico de masa	2.635	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico saturado superficie seca	2.667	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.722	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad	6.057	%
Absorción	1.215	%
Peso unitario suelto del agregado fino	1626	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado del agregado fino	1777	Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico	2.806	--
Material más fino que el tamiz N° 200	2.22	%

*Fuente: Elaboración Propia*

Según los resultados obtenidos, se puede indicar que la cantera “Chilete Km 94+500 Carretera Ciudad De Dios - Cajamarca.” propiedad del ingeniero Edilberto Aguilar Flores, cumple con lo estipulado en la Norma Técnica 400.037 (Agregados).

Especificaciones normalizadas para agregados en concreto en lo que respecta al material más fino que el tamiz n° 200 (menor que 5%) y que la curva granulométrica del agregado fino cumple con el uso granulométrico M de la norma mencionada.

#### 4.5 Análisis de las características físicas y mecánicas del agregado grueso.

Una vez seleccionada la cantera y luego de haber extraído los agregados, se procedió a realizar el ensayo para determinar las características físicas y mecánicas del agregado grueso.

**Tabla 16. Características físicas del agregado grueso.**

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADOS	FINO	UNIDAD
Tamaño Máximo Nominal	$\frac{3}{4}$	"
Peso específico de masa	2.638	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico saturado superficie seca	2.667	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.717	gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de humedad	0.30	%
Absorción	1.10	%
Peso unitario suelto del agregado Grueso	1577	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado del agregado Grueso	1712	Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico	6.716	--
Material más fino que el tamiz N° 200	0.9	%
Ensayo de Abrasión	25.66	%

*Fuente: Elaboración Propia*

Según los resultados obtenidos, se verifico que cumple con lo estipulado en la Norma Técnica 400.037 (Agregados). Especificaciones normalizadas para agregados en concreto) en lo que respecta al material más fino que el tamiz n° 200 (menor que 1%) y que la curva granulométrica del agregado grueso cumple con el uso granulométrico N° 57 de la Norma ASTM C 33 (Standard Specification for Concrete Aggregates).



#### 4.6 Análisis del peso unitario del concreto fresco y concreto con compactación.

Tabla 17. Peso unitario del concreto fresco para la mezcla convencional.

peso unitario del concreto fresco promedio	2351	Kg/m <sup>3</sup>
peso unitario del concreto compactado promedio	2493	Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia

##### 4.6.1 Discusión de resultados.

La tabla N°41 nos muestra que el peso unitario del concreto compactado es mayor en **6.04 %** que el concreto convencional.

#### 4.7 Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto con compactación.

##### 4.7.1 Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto compactado a los 7 días.

Tabla 18. Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto convencional a edad de 7 días.

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DEL f'c
1	CP - 01	31000	173.11	82.43%
2	CP - 02	30500	168.08	80.04%
3	CP - 03	31750	172.69	82.23%
4	CP - 04	31750	174.97	83.32%
5	CP - 05	30500	169.19	80.57%
6	CP - 06	30000	165.33	78.73%
7	CP - 07	32500	179.10	85.29%
8	CP - 08	32250	177.73	84.63%
9	CP - 09	31750	177.30	84.43%
10	CP - 10	31500	173.59	82.66%

Fuente: elaboración propia

Resistencia a la compresión promedio	173.11 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	82.43%

**Tabla 19. Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto con compactación a edad de 7 días.**

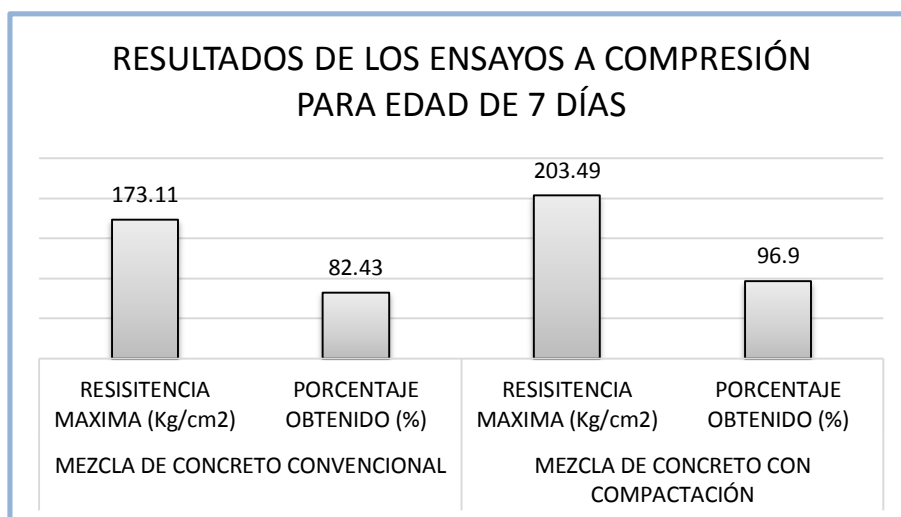
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DEL f'c
1	CCR - 01	36000	198.39	94.47%
2	CCR - 02	38000	209.41	99.72%
3	CCR - 03	37000	203.90	97.10%
4	CCR - 04	36500	201.15	95.78%
5	CCR - 05	37250	205.28	97.75%
6	CCR - 06	37750	208.04	99.07%
7	CCR - 07	36000	198.39	94.47%
8	CCR - 08	38000	209.41	99.72%
9	CCR - 09	37250	205.28	97.75%
10	CCR - 10	35500	195.64	93.16%

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la compresión promedio	203.49 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	96.90%

**Discusión de resultados.** Los resultados se presentan en la figura 8.

**Figura 9. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 7 días.**



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **14.47%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 7 días.

**4.7.2 Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto compactado a los 14 días.**

**Tabla 20. Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto convencional a edad de 14 días.**

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DEL f'c
1	CP - 11	37000	203.90	97.10%
2	CP - 12	38500	212.17	101.03%
3	CP - 13	37250	205.28	97.75%
4	CP - 14	37500	209.41	99.72%
5	CP - 15	37500	208.03	99.06%
6	CP - 16	36500	203.82	97.06%
7	CP - 17	35750	199.63	95.06%
8	CP - 18	36250	199.77	95.13%
9	CP - 19	38500	213.57	101.70%
10	CP - 20	38000	209.41	99.72%

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la compresión promedio	206.50 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	98.33%

**Tabla 21. Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto con compactación a edad de 14 días**

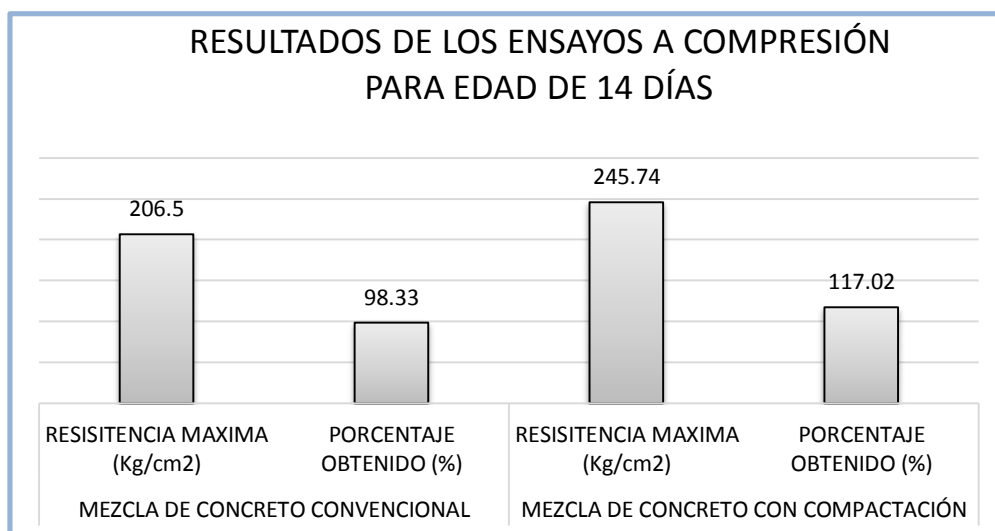
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DEL f'c
1	CCR - 11	44500	245.24	116.78%
2	CCR - 12	44000	244.08	116.23%
3	CCR - 13	43750	241.10	114.81%
4	CCR - 14	44000	245.70	117.00%
5	CCR - 15	44500	246.86	117.55%
6	CCR - 16	46000	253.50	120.72%
7	CCR - 17	44750	248.24	118.21%
8	CCR - 18	43750	241.10	114.81%
9	CCR - 19	44500	243.63	116.01%
10	CCR - 20	45000	247.99	118.09%

*Fuente: elaboración propia.*

Resistencia a la compresión promedio	245.74 Kg/cm <sup>2</sup>
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	117.02%

## Discusión de resultados.

**Figura 10. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 14 días.**



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **18.69%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 14 días.

### 4.7.3 Análisis de la resistencia a compresión del concreto convencional y concreto compactado a los 28 días.

**Tabla 22. Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto convencional a edad de 28 días.**

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DEL f'c
1	CP - 21	42500	237.33	113.01%
2	CP - 22	43000	238.54	113.59%
3	CP - 23	43250	238.35	113.50%
4	CP - 24	44750	246.61	117.43%
5	CP - 25	43500	239.72	114.15%
6	CP - 26	43500	241.31	114.91%
7	CP - 27	42750	238.72	113.68%
8	CP - 28	42000	231.46	110.22%
9	CP - 29	43500	239.72	114.15%
10	CP - 30	43250	239.92	114.25%

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la compresión promedio	239.17 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	113.89%

**Tabla 23. Resistencia a la compresión de la mezcla de concreto con compactación a edad de 28 días.**

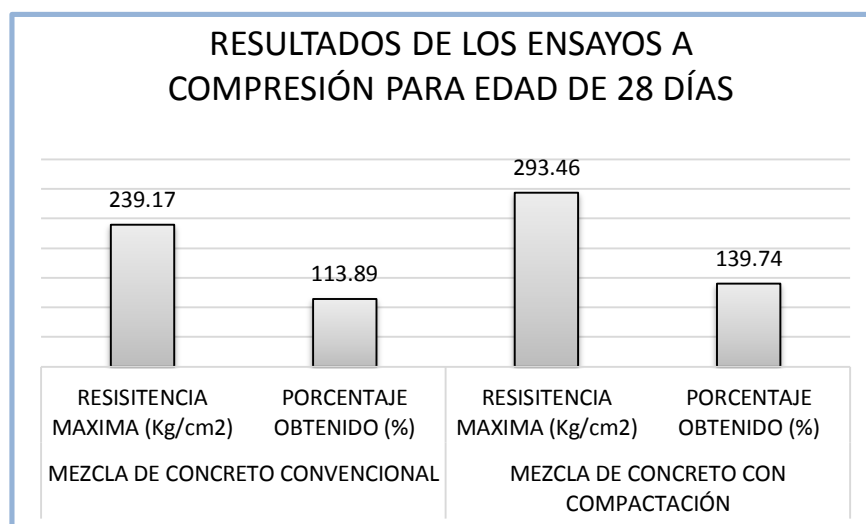
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DEL f'c
1	CCR - 21	52750	290.70	138.43%
2	CCR - 22	53000	295.96	140.93%
3	CCR - 23	52250	289.85	138.02%
4	CCR - 24	52750	290.70	138.43%
5	CCR - 25	52500	293.17	139.60%
6	CCR - 26	53250	293.46	139.74%
7	CCR - 27	53500	294.83	140.40%
8	CCR - 28	52250	289.85	138.02%
9	CCR - 29	53500	298.75	142.26%
10	CCR - 30	53250	297.36	141.60%

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la compresión promedio	293.46 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	139.74%

### Discusión de resultados.

**Figura 11. Resultados de los ensayos a compresión para edad de 28 días.**



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **25.85%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 28 días.

#### 4.8 Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto con compactación.

##### 4.8.1 Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto compactado a los 7 días.

**Tabla 24. Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto convencional a edad de 7 días.**

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CF - 01	950	16.9
2	CF - 02	1000	17.1
3	CF - 03	1200	18.1
4	CF - 04	1150	17.4
5	CF - 05	1000	17.6
6	CF - 06	1200	18.1
7	CF - 07	1150	16.3
8	CF - 08	950	16.9
9	CF - 09	1000	17.3
10	CF - 10	1000	17.3

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la flexión promedio	17.3 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	100.00%

**Tabla 25. Resistencia a la flexión de concreto compactado a edad de 7 días.**

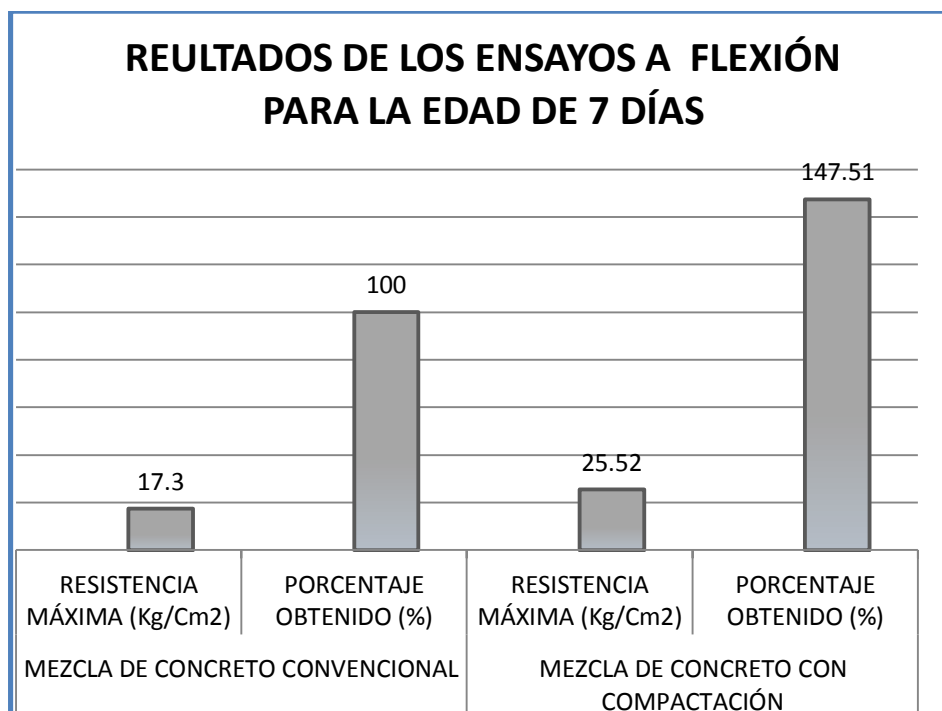
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	ZF - 01	1500	29.41
2	ZF - 02	1250	24.51
3	ZF - 03	1250	24.84
4	ZF - 04	1500	30.40
5	ZF - 05	1000	22.20
6	ZF - 06	1250	25.17
7	ZF - 07	1250	24.67
8	ZF - 08	1500	29.80
9	ZF - 09	1000	19.35
10	ZF - 10	1250	24.84

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la flexión promedio	25.52 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	147.51%

## Discusión de resultados.

Figura 12. Resultados de los ensayos a flexión para edad de 7 días.



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **47.51%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 7 días.

### 4.8.2 Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto compactado a los 14 Días.

Tabla 26. Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto convencional a edad de 14 días

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)
1	CF - 11	1350	21.54
2	CF - 12	1400	20.35
3	CF - 13	1200	20.10
4	CF - 14	1350	20.20
5	CF - 15	1450	21.25
6	CF - 16	1250	20.60
7	CF - 17	1250	20.60
8	CF - 18	1300	20.70
9	CF - 19	1150	19.80
10	CF - 20	1350	20.90

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la flexión promedio	20.60 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	100.00%

**Tabla 27. Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto compactado a edad de 14 días.**

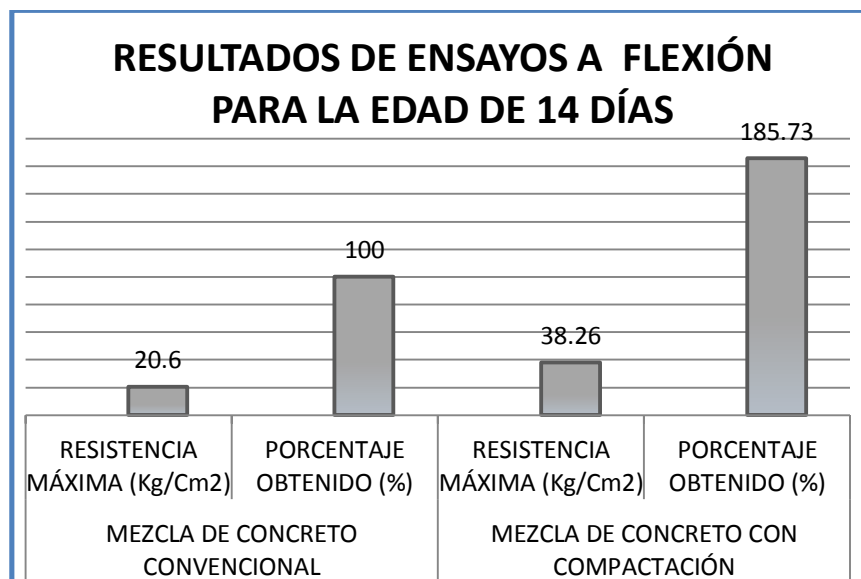
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	ZF - 31	1750	34.54
2	ZF - 32	2000	38.70
3	ZF - 33	1500	29.80
4	ZF - 34	1750	34.09
5	ZF - 35	1750	35.00
6	ZF - 36	2250	45.30
7	ZF - 37	2000	40.27
8	ZF - 38	2500	49.67
9	ZF - 39	1750	35.00
10	ZF - 40	2000	40.27

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la flexión promedio	38.26 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	185.73%

### Discusión de resultados.

**Figura 13. Resultados de los ensayos a Flexión para edad de 14 días.**



*Fuente: elaboración propia*



El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **85.73%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 14 días.

#### 4.8.3 Análisis de la resistencia a la flexión del concreto convencional y concreto compactado a los 28 días.

**Tabla 28. Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto convencional a edad de 28 días.**

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CF - 21	2000	26.45
2	CF - 22	1900	23.90
3	CF - 23	1900	23.90
4	CF - 24	1950	26.20
5	CF - 25	1950	26.40
6	CF - 26	2000	26.45
7	CF - 27	1850	25.60
8	CF - 28	1600	21.54
9	CF - 29	2250	28.65
10	CF - 30	2050	23.92

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la flexión promedio	25.52 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	106.73%

**Tabla 29. Resistencia a la flexión de la mezcla de concreto compactado a edad de 28 días.**

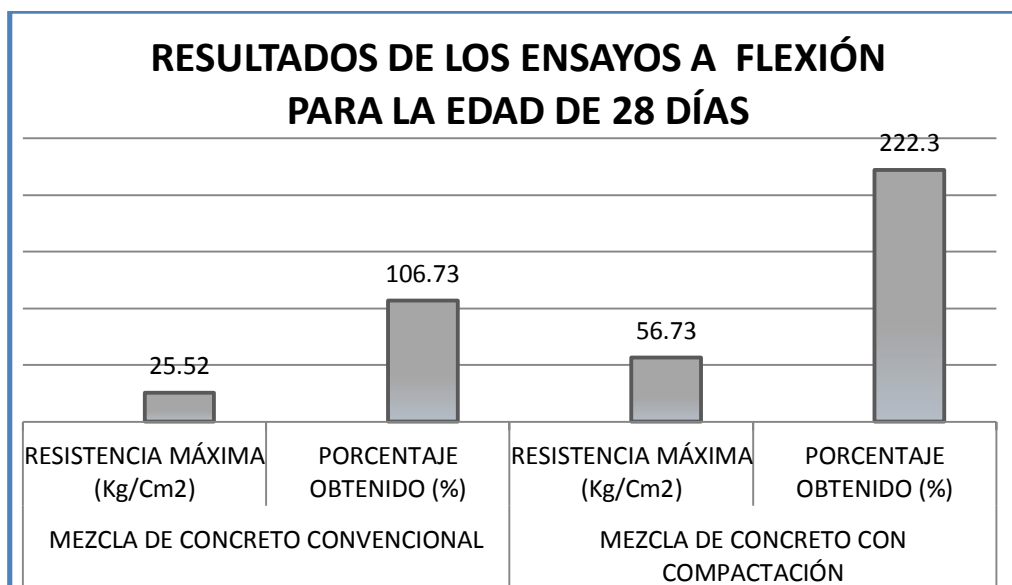
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	ZF - 61	3000	60.81
2	ZF - 62	2500	50.00
3	ZF - 63	2750	55.00
4	ZF - 64	3250	58.24
5	ZF - 65	3000	60.40
6	ZF - 66	3000	60.81
7	ZF - 67	2750	55.74
8	ZF - 68	2500	48.69
9	ZF - 69	3250	63.72
10	ZF - 70	2750	53.92

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la flexión promedio	56.73 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado con respecto de la resistencia de diseño	222.30%

## Discusión de resultados.

Figura 14. Resultados de los ensayos a Flexión para edad de 28 días.



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **115.57%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 28 días.

## 4.9 Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y concreto con compactación.

### 4.9.1 Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y compactado a los 7 días.

Tabla 30. Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto Convencional a la edad de 7 días.

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CCVTID - 01	21000	20.95
2	CCVTID - 02	21500	21.65
3	CCVTID - 03	22000	21.95
4	CCVTID - 04	22150	22.50
5	CCVTID - 05	20000	21.55
6	CCVTID - 06	22100	21.21
7	CCVTID - 07	21000	21.22
8	CCVTID - 08	21250	21.37
9	CCVTID - 09	21500	21.91
10	CCVTID - 10	20750	21.23

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la tracción indirecta promedio	21.55 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado	103.76%

**Tabla 31. Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 7 días.**

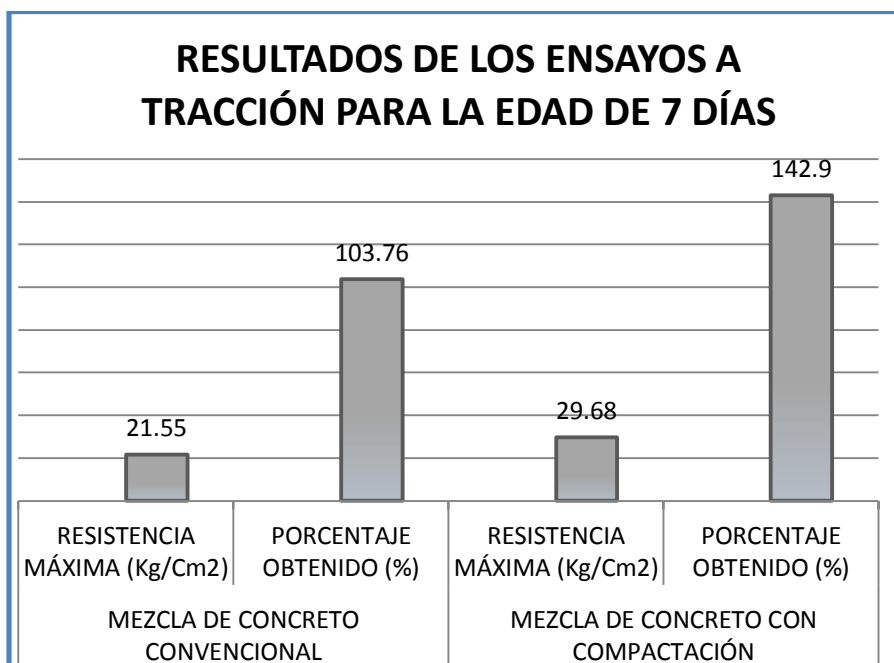
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CCRTID - 01	21000	28.93
2	CCRTID - 02	21500	29.72
3	CCRTID - 03	22000	30.51
4	CCRTID - 04	22750	31.50
5	CCRTID - 05	21500	29.87
6	CCRTID - 06	21000	29.12
7	CCRTID - 07	21000	29.22
8	CCRTID - 08	21250	29.37
9	CCRTID - 09	21500	29.92
10	CCRTID - 10	20750	28.63

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la tracción indirecta promedio	29.68 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado	142.9%.

### Discusión de resultados.

**Figura 15. Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta para edad de 7 días.**



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **39.14%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 7 días.

#### 4.9.2 Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y compactado a los 14 días.

**Tabla 32. Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto convencional a edad de 14 días.**

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CCVTID - 11	22500	25.35
2	CCVTID - 12	22000	24.45
3	CCVTID - 13	22750	24.52
4	CCVTID - 14	23000	24.45
5	CCVTID - 15	22500	25.27
6	CCVTID - 16	23000	24.45
7	CCVTID - 17	22750	25.58
8	CCVTID - 18	23750	27.45
9	CCVTID - 19	23500	26.54
10	CCVTID - 20	23000	26.20

*Fuente: elaboración propia.*

Resistencia a la tracción indirecta promedio	25.43 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado	105.62%

**Tabla 33. Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 14 días.**

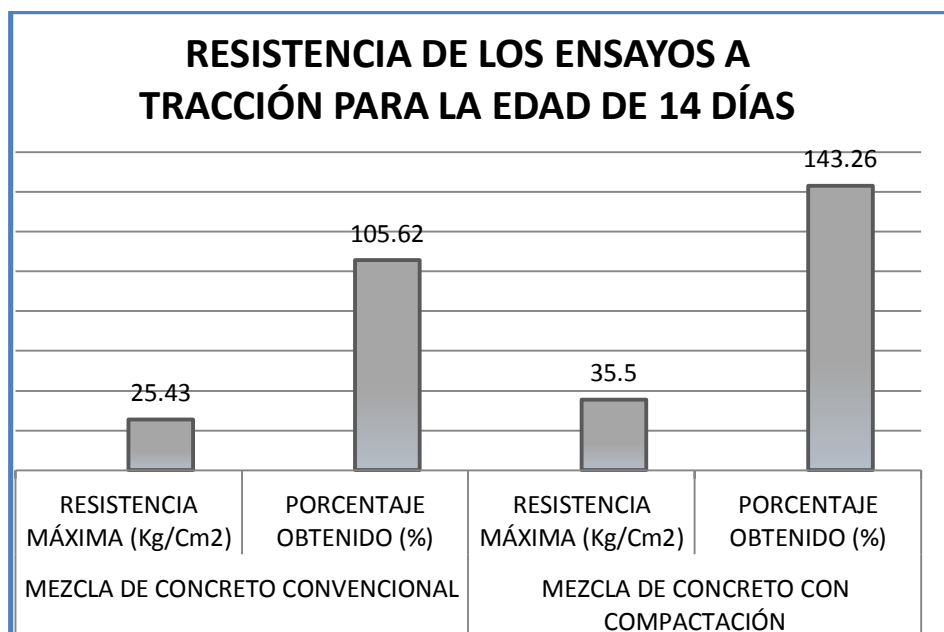
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CCRTID - 31	25500	35.25
2	CCRTID - 32	25000	34.44
3	CCRTID - 33	25750	35.48
4	CCRTID - 34	25000	34.56
5	CCRTID - 35	25500	35.36
6	CCRTID - 36	25000	34.50
7	CCRTID - 37	25750	35.53
8	CCRTID - 38	26750	37.22
9	CCRTID - 39	26500	36.51
10	CCRTID - 40	26000	36.18

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la tracción indirecta promedio	35.50 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado	143.26%

## Discusión de resultados.

Figura 16. Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta para edad de 14 días.



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **37.64%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 14 días.

### 4.9.3 Análisis de la resistencia a la tracción indirecta del concreto convencional y compactado a los 28 días.

Tabla 34. Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto convencional a edad de 28 días.

N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)
1	CCVTID - 21	25750	29.57
2	CCVTID - 22	26000	28.85
3	CCVTID - 23	25250	28.98
4	CCVTID - 24	25750	29.71
5	CCVTID - 25	25500	29.37
6	CCVTID - 26	25250	29.15
7	CCVTID - 27	25500	29.67
8	CCVTID - 28	25250	29.35
9	CCVTID - 29	25500	29.42
10	CCVTID - 30	25250	20.11

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la tracción indirecta promedio	28.42 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado	113.14%

**Tabla 35. Resistencia a la tracción indirecta de la mezcla de concreto con compactación a edad de 28 días.**

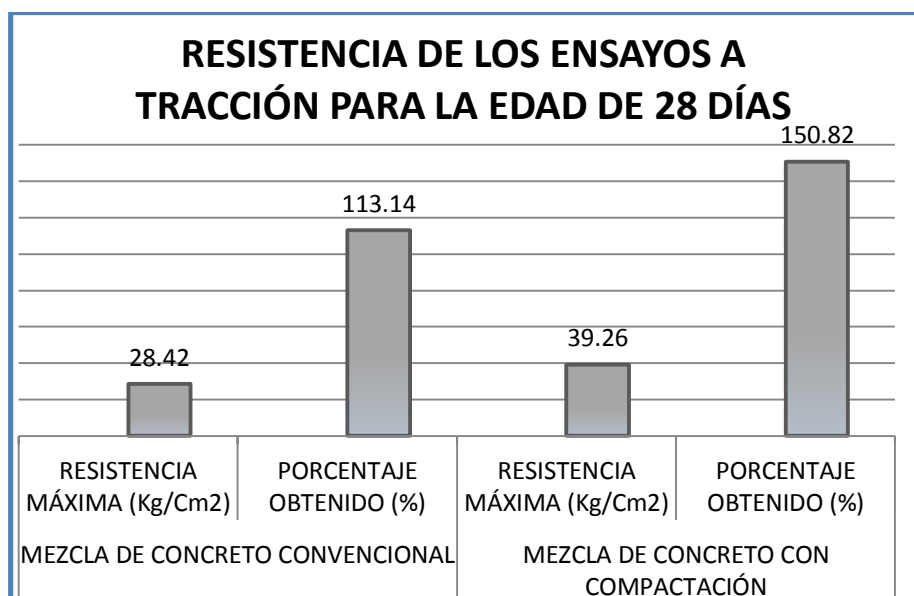
N° DE ENSAYO	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Kg)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	CCRTID - 61	28750	39.67
2	CCRTID - 62	28000	38.83
3	CCRTID - 63	28250	38.98
4	CCRTID - 64	28750	39.74
5	CCRTID - 65	28500	39.27
6	CCRTID - 66	28250	39.05
7	CCRTID - 67	28500	39.66
8	CCRTID - 68	28250	39.24
9	CCRTID - 69	28500	39.39
10	CCRTID - 70	28250	39.05

*Fuente: elaboración propia*

Resistencia a la tracción indirecta promedio	39.29 Kg/cm <sup>2</sup> .
Porcentaje promedio alcanzado	150.82%

### Discusión de resultados.

**Figura 17. Resultados de los ensayos a Tracción Indirecta para edad de 28 días.**



*Fuente: elaboración propia*

El concreto con compactación alcanza una resistencia mayor en **37.68%** que la mezcla de concreto convencional, a edad de 28 días.

#### 4.10 Análisis del módulo de elasticidad del concreto convencional.

De los resultados a los ensayos a compresión para un  $\delta_{m\acute{a}x} = 239.17 \text{ Kg/cm}^2$ , se tiene el siguiente resultado:

Para: máx. = 239.17 Kg/cm <sup>2</sup>	E=231976.831 Kg/[(cm)] <sup>2</sup>
--	-------------------------------------

#### 4.11 Análisis Del Módulo De Elasticidad Del Concreto Compactado.

De los resultados a los ensayos a compresión para un  $\delta_{m\acute{a}x} = 293.46 \text{ Kg/cm}^2$ , se tiene el siguiente resultado:

Para :máx. = 293.46 Kg/cm <sup>2</sup>	E=256960.114 Kg/[(cm)] <sup>2</sup>
--	-------------------------------------

- **Discusión:** El incremento en el módulo de elasticidad del Concreto Compactado Rodillo a compresión mediante el método descriptivo tiene un Incremento de 10.76%.

#### 4.12 Resumen De Resultados

Teniendo en cuenta los resultados calculados de concreto convencional y concreto compactado, presentamos los resultados obtenidos como resumen.

**Tabla 36. Resultados de los ensayos a compresión.**

EDAD	MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL		MEZCLA DE CONCRETO CON COMPACTACIÓN	
	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE OBTENIDO (%)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE OBTENIDO (%)
7 DÍAS	173.11	82.43	203.49	96.90
14 DÍAS	206.50	98.33	245.74	117.02
28 DÍAS	239.17	113.89	293.46	139.74

*Fuente: elaboración propia*

**Tabla 37. Resultados de los ensayos a flexión.**

EDAD	MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL		MEZCLA DE CONCRETO CON COMPACTACIÓN	
	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE OBTENIDO (%)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE OBTENIDO (%)
7 DÍAS	17.3	100	25.52	147.51
14 DÍAS	20.6	100	38.96	185.73
28 DÍAS	23.94	106.73	56.73	222.30

*Fuente: elaboración propia*

**Tabla 38. Resultados de los ensayos a tracción indirecta.**

EDAD	MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL		MEZCLA DE CONCRETO CON COMPACTACIÓN	
	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE OBTENIDO (%)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	PORCENTAJE OBTENIDO (%)
7 DÍAS	21.55	103.76	29.68	142.90
14 DÍAS	25.43	105.62	35.50	143.26
28 DÍAS	28.42	113.14	39.29	150.82

*Fuente: elaboración propia*

**Tabla 39. Ensayo de vibración vebe.**

MEZCLA	MATERIALES USADOS *0.06 PARA 9 PROBETAS	DÍAS	Tiempo VeBe (Segundos)
CONCRETO	CEMENTO: 10.2 Kg	7,14 y 28	46
			49
			51
COMPACTADO CON RODILLO	AGUA EFE: 3.75 lts AGR.FINO HUM: 66.36 Kg AGRE.GRUESO HUM: 70.08 Kg	7,14 y 28	49
			48
			50
		7,14 y 28	48
		7,14 y 28	50
		7,14 y 28	52

*Fuente: Elaboración propia.*



### **Discusión de resultado.**

Mediante este ensayo se verificó que los valores de tiempo VeBe se encontraban dentro de los rangos especificados para este tipo de mezclas (de 45 segundos a más). Se puede observar los tiempos VeBe obtenidos para cada una de las mezclas CCR investigadas. Los valores de tiempo VeBe encontrados en los ensayos de consistencia, realizadas en todas las mezclas investigadas, son mayores a 45 segundos. Estos valores son típicos en las mezclas con aproximación a suelos e indican la poca cantidad de agua presente en las mezclas.

# **CAPÍTULO V.**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones.**

- a.** Se logró cuantificar las propiedades fisicomecánicas de un concreto compactado utilizando el método de compactación de suelos.
- b.** El concreto compactado presentó un incremento de resistencia significativo en Compresión, a la edad de 7 días aumento en 14.47%, 14 días en 18.69% y a los 28 días en 25.85%.
- c.** La resistencia a flexión de un concreto compactado a la edad de 7 días aumento en 47.51%, 14 días en 85.73% y a los 28 días en 115.57% respectivamente.
- d.** Se concluye que con respecto a la resistencia a la tracción Indirecta a la edad de 7 días la variación es de 39.14%, 14 días es 37.64%, 28 días en 37.68% respectivamente.
- e.** Se logró la comparación de incremento de resistencia del Concreto Convencional y el concreto compactado en diferentes edades.
- f.** El mayor incremento en el módulo de elasticidad del concreto compactado a compresión mediante el método descriptivo tiene un Incremento de 10.76%.
- g.** El peso unitario del concreto compactado tiene un Incremento de 6.04% respecto del peso unitario del concreto convencional.

## 5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios de durabilidad del concreto para relacionar la resistencia del mismo con el grado de compactación.
- Realizar Investigaciones del concreto compactado con rodillo en pavimentos y obras similares para evitar o disminuir el agrietamiento.
- Realizar estudios de concreto compactado con rodillo para verificar los puntos exactos de caída de resistencia en tracción y flexión para así poder complementar esta investigación.
- Considerar la adición de aditivos al concreto rodillado para disminuir el calor de hidratación, la reducción de agua y otros que afecten el comportamiento del material.
- Utilizar formas alternativas de compactación y curado, a fin de tener más conocimiento del concreto rodillado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Adam Neville. (1999). Tecnología avanzada del concreto y nuevos materiales. Editorial IMCYC. México – México.
2. Cemex, (2008). Concreto compactado con rodillo para pavimentos (CCR).
3. César Adolfo Carrillo Vásquez, (2007). Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados con el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) Empleado en la construcción de pavimentos.
4. Jorge Solano Jiménez, (2008). Desarrollo del concreto compactado con rodillo (CCR) en la construcción de pavimentos de concreto en Costa Rica.
5. Juan Carlos Villeda, (2014). Diseño de investigación para concreto compactado con rodillo (CCR), proceso constructivo y norma de regulación, como alternativa de pavimentación para carreteras en Guatemala.
6. María Claudia Ramírez, (2012). Concretos de bajo costo en concreto compactado con rodillo.
7. Medellín ICPC. (2004). Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto compactado con rodillo.
8. Miriam R. Escalaya Advincula, (2006). Diseño de Mezclas de concreto compactado con rodillo utilizando conceptos de compactación de suelos
9. Norma NTP 400.022 – 400.021. (2002) AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino y grueso.
10. Norma NTP 339.035 (2009) HORMIGÓN. (CONCRETO) Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. 3a. ed.
11. Oswin Keifer, (2004). Pavimentos de concreto compactado con rodillo.
12. Parmigiani, M. y Di pace, G. (2000). Diseño estructural de pavimento de hormigón compactado con rodillo. Centro Técnico del Hormigón.
13. Rivva López, Enrique, (1998). Tecnología del Concreto. Lima-Perú.
14. Rivva López, Enrique, (2000). Naturaleza y materiales del concreto. Lima-Perú.
15. Solano, J. (2009). Concreto compactado con rodillo y su aplicación en pavimentos y represas.

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1: DISEÑO DE MEZCLAS.**

### **1.1 Diseño de mezcla de concreto convencional**

Para este diseño de mezcla de concreto convencional, se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 6.057% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.30%.

- ***Selección de la resistencia promedio***

De acuerdo al Reglamento ACI 318S consideramos la resistencia promedio como:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot f'_c$

Por lo que:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot 210 = 252 \text{ Kg/cm}^2$ .

- ***Selección de tamaño máximo del agregado***

El tamaño máximo del agregado fue de 3/4", correspondiente al uso granulométrico n° 57 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)

- ***Selección del asentamiento***

El asentamiento que se consideró fue el correspondiente a una mezcla plástica: 3" – 4".

- ***Selección de la relación agua - cemento***

La relación agua cemento, teniendo en cuenta el tipo de mezcla que se realizó fue de 0.6212.

- ***Selección del contenido de aire***

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%

- **Selección del contenido de agua**

El volumen de agua se considera teniendo en cuenta las características del concreto que se elaboró.

**Volumen de agua: 205 litros.**

- **Cálculo del contenido de cemento**

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$Cemento = \frac{Agua}{relación\ agua\ material\ cementante} = \frac{205}{0.6212} = 330\ Kg.$$

- **Cálculo del volumen absoluto de pasta**

Tenemos los componentes de la pasta:

Cemento : 330 Kg.

Agua : 205 litros.

Aire : 2.0%

Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtuvo lo siguiente:

Cemento : 0.1058 m<sup>3</sup>.

Agua : 0.205 m<sup>3</sup>.

Aire : 0.020 m<sup>3</sup>.

**Volumen de pasta = 0.331 m<sup>3</sup>.**

- **Cálculo del volumen absoluto de los agregados**

$$Volumen\ de\ agregados = 1 - volumen\ de\ pasta$$

**Volumen de agregados = 0.669 m<sup>3</sup>.**

- **Determinación de los pesos de los agregados**

Para la determinación de los pesos de los agregados se calculó los porcentajes respectivos, partir de las tablas ACI del reglamento ACI 318S, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados,

teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y la cantidad de cemento a utilizar:

Agregado fino: 42.86%

Agregado grueso: 57.14%

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: 0.287 m<sup>3</sup>.

Volumen absoluto del agregado grueso: 0.382 m<sup>3</sup>.

**Peso del agregado fino: 756.245 Kg.**

**Peso del agregado grueso: 1007.716 Kg.**

• ***Materiales de diseño por metro cúbico***

*Después de calcular la relación agua cemento, los volúmenes absolutos de la pasta y el modulo se finura, se calculó la cantidad de materiales que fueron agregado fino seco, agregado grueso seco, agua de diseño de la tabla, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están secos.*

• ***Materiales corregidos por metro cúbico***

*Después de calcular los materiales de diseño por metro cubico, se calculan el peso húmedo de los agregados, la humedad superficial de los agregados y el aporte de humedad, para luego determinar los materiales corregidos por m<sup>3</sup>, estos materiales representan agregado fino húmedo, agregado grueso húmedo, agua de diseño efectiva, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están húmedos.*



## 1.2 Diseño de mezcla de concreto con compactación

1° teniendo en cuenta los parámetros de diseño de Hormigón Compactado con Rodillo para diseño de vías:

- c. Nos indica que la relación A/C se encuentra entre los valores de (0.33-0.38), arrojando una relación de 0.37 exactamente, para ello se tuvo en cuenta los resultados del ensayo VeBe, la compactación y la resistencia a la compresión.
- d. Para este diseño de mezcla se ha considerado un contenido de humedad del agregado fino de 6.057% y un contenido de humedad para el agregado grueso de 0.30%.
- **Selección de la resistencia promedio.**

De acuerdo al Reglamento ACI 318S consideramos la resistencia promedio como:

RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot f'_c$

Por lo que:  $f'_{cr} = 1.2 \cdot 210 = 252 \text{ Kg/cm}^2$ .
- **Selección de tamaño máximo del agregado.**

El tamaño máximo del agregado fue de 3/4", correspondiente al uso granulométrico n° 57 de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)
- **Selección del asentamiento**

El asentamiento que se consideró fue el correspondiente a una mezcla seca: 0".
- **Selección de la relación agua- cemento.**

La relación agua cemento, teniendo en cuenta el tipo de mezcla que se realizó fue de 0.370.
- **Selección del contenido de aire.**

El contenido de aire considerado es el porcentaje de aire atrapado que proporciona el tamaño máximo nominal el agregado grueso, el que corresponde a 2.0%
- **Selección del contenido de agua**

El volumen de agua se consideró teniendo en cuenta las características del concreto, siendo éste que fue un concreto compactado.

**Volumen de agua: 62.9 litros.**

- ***Cálculo del contenido de cemento***

El contenido de cemento se encuentra según la siguiente fórmula:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{\text{relación agua material cementante}} = \frac{62.9}{0.370} = 170 \text{ Kg.}$$

- ***Cálculo del volumen absoluto de pasta***

Tenemos los componentes de la pasta:

Cemento : 170 Kg.

Agua : 62.9 litros.

Aire : 2.0%

Para el volumen absoluto los pesos de los componentes de la pasta, se divide entre sus pesos respectivos pesos específicos y se obtienes lo siguiente:

Cemento : 0.0545 m<sup>3</sup>.

Agua : 0.0629 m<sup>3</sup>.

Aire : 0.020 m<sup>3</sup>.

**Volumen de pasta = 0.1374 m<sup>3</sup>.**

- ***Cálculo del volumen absoluto de los agregados***

*Volumen de agregados = 1- volumen de pasta*

**Volumen de agregados = 0.8626 m<sup>3</sup>.**

- ***Determinación de los pesos de los agregados***

Para la determinación de los pesos de los agregados se determinó los porcentajes, los mismos que son calculados a partir de las tablas

ACI del reglamento ACI 318S, para el método del módulo de finura de la combinación de agregados y éstos son:

Agregado fino: 48.70%

Agregado grueso: 51.30%

Con los cuales se determinó los volúmenes absolutos de los agregados, los que, al multiplicar por sus respectivos pesos específicos de masa, se obtiene el peso del agregado:

Volumen absoluto del agregado fino: 0.420 m<sup>3</sup>.

Volumen absoluto del agregado grueso: 0.443 m<sup>3</sup>.

**Peso del agregado fino: 1106.70 Kg.**

**Peso del agregado grueso: 1168.63 Kg.**

- ***Materiales de diseño por metro cúbico***

*Después de calcular la relación agua cemento, los volúmenes absolutos de la pasta y el modulo se finura, se calculó la cantidad de materiales que fueron agregado fino seco, agregado grueso seco, agua de diseño de la tabla, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están secos.*

- ***Materiales corregidos por metro cúbico***

*Después de calcular los materiales de diseño por metro cubico, se calculan el peso húmedo de los agregados, la humedad superficial de los agregados y el aporte de humedad, para luego determinar los materiales corregidos por m<sup>3</sup>, estos materiales representan agregado fino húmedo, agregado grueso húmedo, agua de diseño efectiva, cemento y aire atrapado este diseño lo utilizamos cuando los materiales están húmedos.*

## ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.

A. Análisis Granulométrico Del Agregado Fino. NTP 400.012, / A.S.T.M.C - 136.

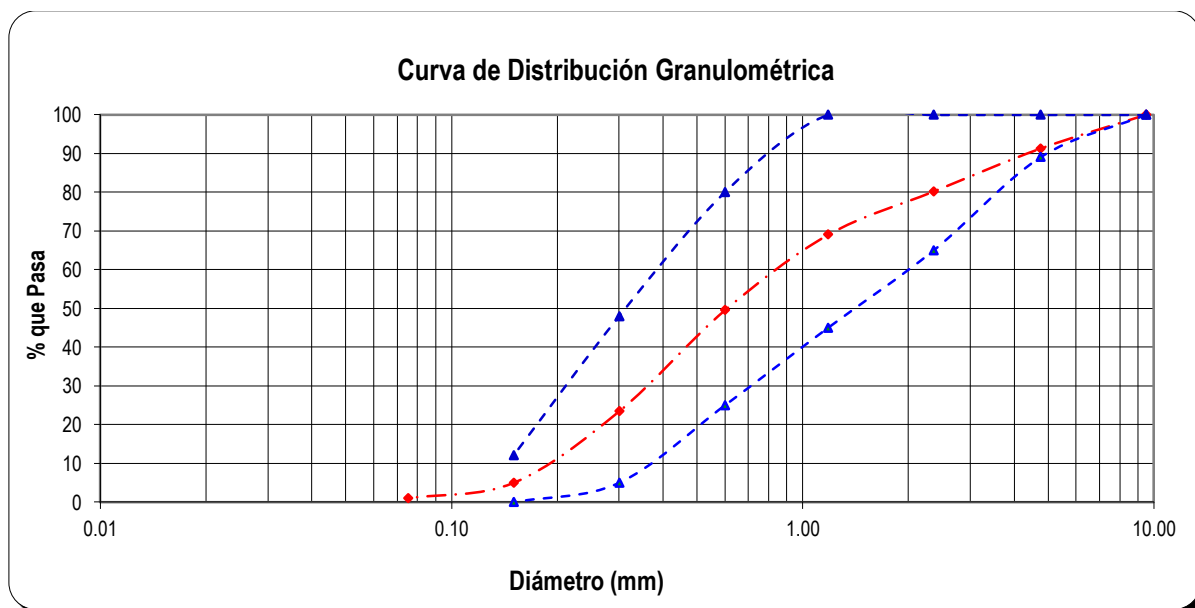
Tabla 40. Análisis granulométrico del agregado fino ensayo N° 01.

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4.75 mm	131.00	8.73	8.73	91.27
8	2.36 mm	166.00	11.07	19.80	80.20
16	1.18 mm	168.00	11.20	31.00	69.00
30	0.60 mm	292.00	19.47	50.47	49.53
50	0.30 mm	391.00	26.07	76.53	23.47
100	0.15 mm	277.00	18.47	95.00	5.00
200	0.075 mm	60.00	4.00	99.00	1.00
CAZOLETA	--	15.00	1.00	100.00	0.00

Peso de muestra: 1500.00 g

Módulo de finura: 2.815

Figura 18. Requisito granulométrico del agregado fino del ensayo N° 01.



Fuente: Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$$C_c = 4.82 \quad C_u = 1.04$$

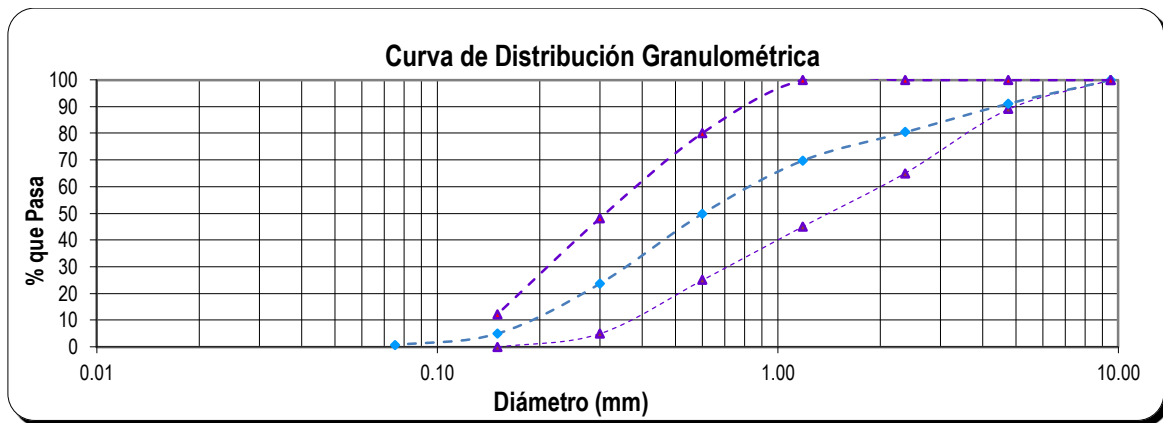
**C<sub>c</sub>**: coeficiente de curvatura, **C<sub>u</sub>**: coeficiente de uniformidad

**Tabla 41. Análisis granulométrico del agregado fino ensayo N° 02.**

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°4	4.75 mm	133.00	8.87	8.87	91.13
N°8	2.36 mm	161.00	10.73	19.60	80.40
N°16	1.18 mm	160.00	10.67	30.27	69.73
N°30	0.60 mm	298.00	19.87	50.13	49.87
N°50	0.30 mm	393.00	26.20	76.33	23.67
N°100	0.15 mm	280.00	18.67	95.00	5.00
N°200	0.075 mm	65.00	4.33	99.33	0.67
CAZOLETA	--	10.00	0.67	100.00	0.00

**Peso de muestra: 1500.00 g**  
**Módulo de finura: 2.802**

**Figura 19. Requisito granulométrico del agregado fino del ensayo N° 02.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$$C_c = 4.76 \quad C_u = 1.05$$

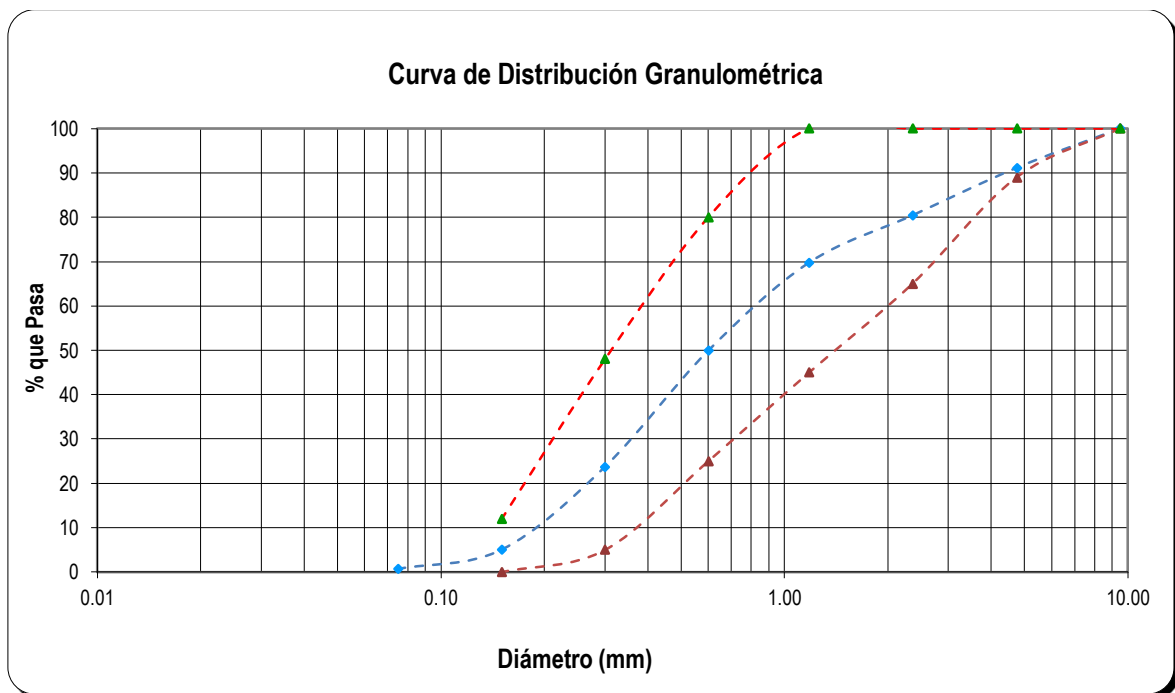
**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

**Tabla 42. Análisis granulométrico del agregado fino ensayo N° 03.**

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°4	4.75 mm	128.00	8.53	8.53	91.47
N°8	2.36 mm	172.00	11.47	20.00	80.00
N°16	1.18 mm	162.00	10.80	30.80	69.20
N°30	0.60 mm	301.00	20.07	50.87	49.13
N°50	0.30 mm	369.00	24.60	75.47	24.53
N°100	0.15 mm	285.00	19.00	94.47	5.53
N°200	0.075 mm	68.00	4.53	99.00	1.00
CAZOLETA	--	15.00	1.00	100.00	0.00

**Peso de muestra: 1500.00 g**  
**Módulo de finura: 2.801**

**Figura 20. Requisito granulométrico del agregado fino del ensayo N° 03.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la NTP 400.037.

$$C_c = 5.03 \quad C_u = 1.06$$

**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

**Módulo de finura del agregado fino.**

<b>Módulo de finura</b>	
Ensayo N° 01:	2.815
Ensayo N° 02:	2.812
Ensayo N° 03:	2.801
<b>Promedio:</b>	<b>2.806</b>

**B. Análisis Granulométrico del agregado grueso.** NTP 400.012, NTP 400.037 / A.S.T.M.C -136

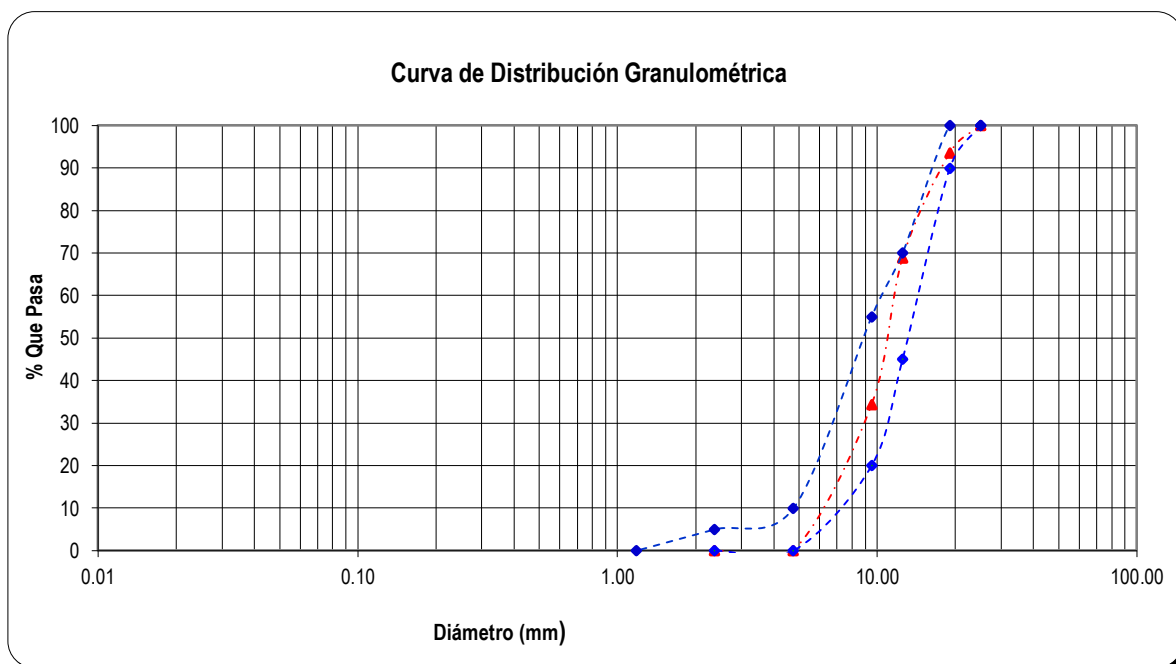
**Tabla 43. Análisis granulométrico del agregado grueso ensayo N° 01.**

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	511.00	6.39	6.39	93.61
1/2"	12.50 mm	1980.00	24.75	31.14	68.86
3/8"	9.50 mm	2758.00	34.48	65.61	34.39
4	4.75 mm	2745.00	34.31	99.93	0.08
8	2.36 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.93	0.08
Cazoleta	--	6.00	0.08	100.00	0.00

**Peso de muestra: 8000.00 gramos**

**Módulo de finura: 6.716**

**Figura 21. Requisito granulométrico del agregado grueso del ensayo N° 01.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

$$C_c = 2.13 \quad C_u = 1.08$$

**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

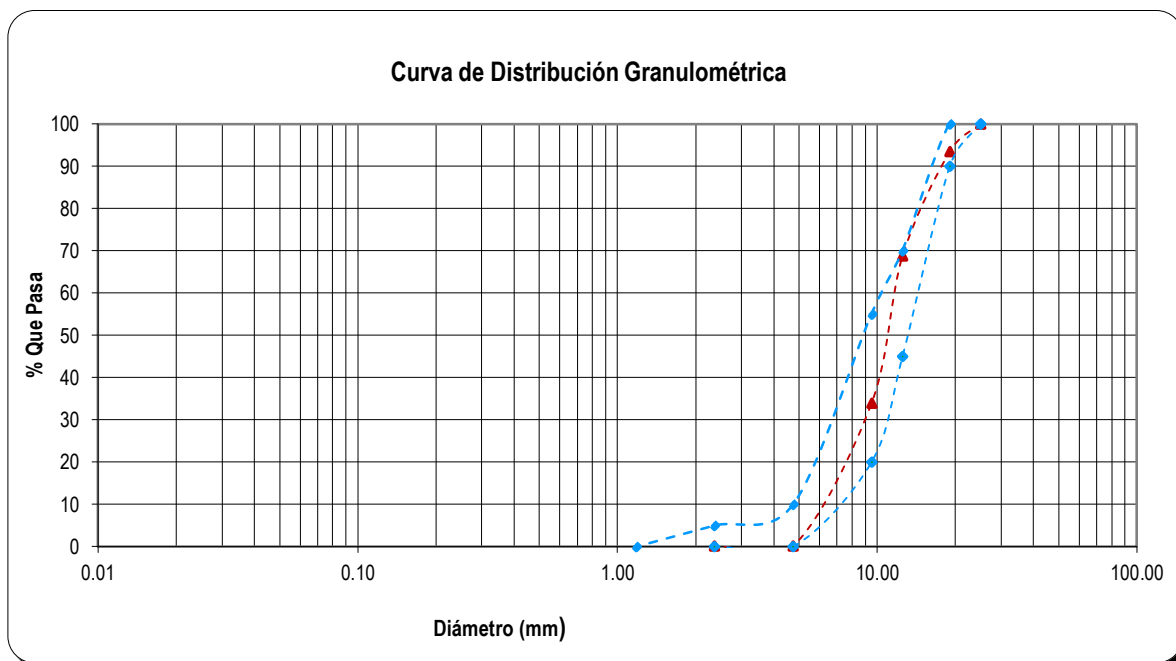
**Tabla 44. Análisis granulométrico del agregado grueso ensayo N° 02.**

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	525.00	6.56	6.56	93.44
1/2"	12.50 mm	1978.00	24.73	31.29	68.71
3/8"	9.50 mm	2785.00	34.81	66.10	33.90
4	4.75 mm	2701.00	33.76	99.86	0.14
8	2.36 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.86	0.14
Cazoleta	--	11.00	0.14	100.00	0.00

**Peso de muestra: 8000.00 gramos**

**Módulo de finura: 6.718**

**Figura 22. Requisito granulométrico del agregado grueso del ensayo N° 02.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

$$C_c = 2.10 \quad C_u = 1.08$$

**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad.



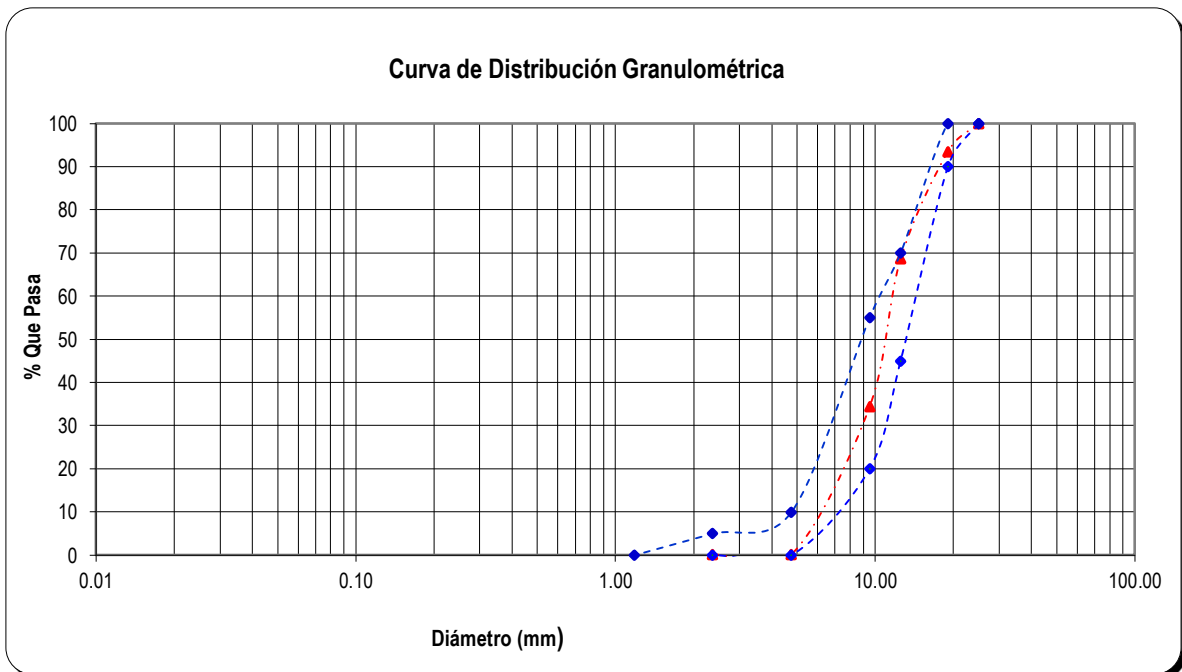
**Tabla 45. Análisis granulométrico del agregado grueso. ensayo N° 03.**

Tamiz N°	Abertura	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3/4"	19.00 mm	519.00	6.49	6.49	93.51
1/2"	12.50 mm	1988.00	24.85	31.34	68.66
3/8"	9.50 mm	2744.00	34.30	65.64	34.36
4	4.75 mm	2741.00	34.26	99.90	0.10
8	2.36 mm	0.00	0.00	99.90	0.10
16	1.18 mm	0.00	0.00	99.90	0.10
30	0.60 mm	0.00	0.00	99.90	0.10
50	0.30 mm	0.00	0.00	99.90	0.10
100	0.15 mm	0.00	0.00	99.90	0.10
200	0.075 mm	0.00	0.00	99.90	0.10
Cazoleta	--	8.00	0.10	100.00	0.00

**Peso de muestra: 8000.00 gramos**

**Módulo de finura: 6.715**

**Figura 23. Requisito granulométrico del agregado grueso del ensayo N° 03.**



**Fuente:** Elaboración propia en base a la Norma A.S.T.M. C 33 M -11.

$$Cc = 2.13 \quad Cu = 1.08$$

**B. Peso específico y absorción del agregado fino.** (NTP 400.022, ASTM C-128.)

**Tabla 46. Peso específico del agregado fino.**

Descripción	E-1	E-2	E-3
Peso de fiola (g)	160.00	160.00	160.00
Peso de la fiola +agua hasta menisco (g)	658.00	658.00	658.00
peso de la fiola +agua + muestra (g)	972.00	973.00	972.60
Peso de la muestra superficialmente Seca (g)	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	493.70	494.00	494.30
volumen de agua añadida al frasco (g)	312.00	313.00	312.60
Peso Específico de Masa (g/cm <sup>3</sup> )	2.626	2.642	2.638
Peso Específico de Masa sss (g/cm <sup>3</sup> )	2.660	2.674	2.668
Peso Específico de Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.717	2.729	2.720
<b>Promedio Peso Específico de Masa (g/cm<sup>3</sup>) : 2.635</b>			
<b>Promedio Peso Específico de Masa sss (g/cm<sup>3</sup>): 2.667</b>			
<b>Promedio Peso Específico de Aparente (g/cm<sup>3</sup>): 2.722</b>			

**Tabla 47. Absorción del agregado fino.**

Descripción	Símbolo	Formula	E-1	E-2	E-3
Peso de la muestra sss (g)	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno (g)	(B)	--	493.70	494.00	494.30
Absorción (%)	(C)	$\frac{(A-B)}{*10^2/B}$	1.276	1.215	1.153
<b>Promedio: 1.215 %</b>					

**C. Peso específico y absorción del agregado grueso.** NTP 400.021, ASTM C-127.

**Tabla 48. Peso específico del agregado grueso.**

Descripción	Und.	E-1	E-2	E-3
Peso de muestra saturado superficialmente seco	g	4000.00	4000.00	4000.00
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	4719.00	4722.00	4726.00
Peso de canastilla sumergida	g	2222.00	2222.00	2222.00
Peso de la muestra secada al horno	g	3955.00	3958.00	3956.40
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	2497.00	2500.00	2504.00
<b>Peso Específico de Masa</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.631</b>	<b>2.639</b>	<b>2.645</b>

<b>Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2.661	2.667	2.674
<b>Peso Específico de Aparente</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	2.713	2.715	2.724
<b>Promedio Peso Específico de Masa (g/cm<sup>3</sup>) : 2.6389</b>				
<b>Promedio Peso Específico de Masa sss (g/cm<sup>3</sup>): 2.667</b>				
<b>Promedio Peso Específico de Aparente (g/cm<sup>3</sup>): 2.711</b>				

sss: saturado superficialmente seco.

**Tabla 49. Absorción del agregado grueso.**

Descripción	Símbolo	Formula	E-1	E-2	E-3
Peso de muestra sss (g)	(A)	--	4000.0	4000.0	4000.0
Peso de muestra secada al horno (g)	(B)	--	3955.0	3958.0	3956.4
Absorción (%)	(C)	(A-B)/B*100	1.138	1.061	1.102
<b>Promedio: 1.110%</b>					

**D. Peso unitario seco suelto y compactado, cálculo del factor f y porcentaje de vacíos del agregado fino.** NTP 400.017, / ASTM C 29 M: 1991.

**Tabla 50. Peso específico del agua.**

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 160.00
Peso de la fiola en (g)	: 658.00
Volumen de la fiola (cm <sup>3</sup> )	: 500.00
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	: 0.99600
<b>P.e del agua en (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>: 996.00</b>

**Tabla 51. Factor f para el peso unitario del agregado fino.**

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 3880.00
Peso del Molde +Agua (g)	: 6840.00
Peso Agua (Kg)	: 2.96
<b>f (1/m<sup>3</sup>)</b>	<b>: 336.486</b>

**Tabla 52. Peso unitario seco suelto del agregado fino.**

Descripción	Símbolo	Fórmula	E-1	E-2	E-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3880.00	3880.00	3880.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	8698.00	8713.00	8722.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	4818.00	4833.00	4842.00
Factor (f)	(D)		336.486	336.486	336.486
PUSS (g/cm <sup>3</sup> )	(E)	D*(10 <sup>6</sup> /C)	1.621	1.626	1.629
PUSS (Kg/m <sup>3</sup> )		C/(10 <sup>3</sup> /D)	1621	1626	1629
<b>Promedio: 1626 Kg/m<sup>3</sup></b>					

PUSS: peso unitario seco suelto.

**Tabla 53. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado fino.**

Descripción	Símbolo	Fórmula	E-1	E-2	E-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	3880.00	3880.00	3880.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	9144.00	9153.00	9185.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	5264.00	5273.00	5305.00
Factor (f)	(D)		336.486	336.486	336.486
PUSC (g/cm <sup>3</sup> )	(E)	D*(10 <sup>6</sup> /C)	1.771	1.774	1.785
PUSC (Kg/m <sup>3</sup> )		C/(10 <sup>3</sup> /D)	1771	1774	1785
<b>Promedio: 1777 Kg/m<sup>3</sup></b>					

PUSC: Peso unitario seco compactado.

**E. Peso unitario seco suelto, compactado, cálculo del factor f y porcentaje de vacíos del Agregado Grueso: NTP 400.017, / ASTM C 29 M: 1991.**

**Tabla 54. Peso específico del agua.**

Descripción	Ensayo N° 01
Peso de la fiola en (g)	: 160.00
Peso de la fiola en (g)	: 658.00
Volumen de la fiola (cm <sup>3</sup> )	: 500.00
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	: 0.9960
<b>P.e del agua en (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>: 996.00</b>

**Tabla 55. Factor f para el Peso Unitario del agregado grueso.**

Descripción	Ensayo N° 01
Peso del Molde (g)	: 4200.00
Peso del Molde +Agua (g)	: 13900.00
Peso Agua (Kg)	: 9.70
<b>f (1/m<sup>3</sup>)</b>	<b>: 102.68</b>

**Tabla 56. Peso unitario suelto seco del agregado grueso.**

Descripción	Símbolo	Fórmula	E-1	E-2	E-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	4200.00	4200.00	4200.00
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	19544.0	19533.0	19585.00
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	15344.0	15333.0	15385.00
Factor (f)	(D)		102.680	102.680	102.680
PUSS (g/cm <sup>3</sup> )	(E)	D*(10 <sup>6</sup> /C	1.576	1.574	1.580
PUSS (Kg/m <sup>3</sup> )		C/(10 <sup>3</sup> /D)	1576	1574	1580
<b>Promedio: 1642 Kg/m<sup>3</sup></b>					

PUSS: peso unitario seco suelto.

**Tabla 57. Peso unitario seco compactado o varillado del agregado grueso.**

Descripción	Símbolo	Fórmula	E-1	E-2	E-3
Peso del recipiente (g)	(A)	--	4200.0	4200.0	4200.0
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	(B)	--	20844.0	20866.0	20897.0
Peso de la muestra suelta (g)	(C)	(B - A)	16644.0	16666.0	16697.0
Factor (f)	(D)		102.7	102.7	102.7
PUSS (g/cm <sup>3</sup> )	(E)	D*(10 <sup>6</sup> /C	1.709	1.711	1.714
PUSS (Kg/m <sup>3</sup> )		C/(10 <sup>3</sup> /D)	1709	1711	1714
<b>Promedio: 1712 Kg/m<sup>3</sup></b>					

PUSS: peso unitario seco compactado.

**F. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino y grueso. ASTM.C - 117 / NTP 400.018**

**Tabla 58. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino.**

Descripción	Símbolo	Formula	E-1	E-2	E-3
Peso Seco de la Muestra Original (g).	(A)	--	500.00	500.00	500.00
Peso Seco de la muestra Lavada o ensayada (g).	(B)	--	489.00	489.70	488.00
Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g).	(C)	(A – B)	11.00	10.30	12.00
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200.		(C/A)*100	2.20	2.06	2.40
<b>Promedio: 2.22%</b>					

**Tabla 59. Porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado grueso.**

Descripción	Símbolo	Formula	E-1	E-2	E-3
Peso Seco de la Muestra Original (g).	(A)	--	3000.00	3000.00	3000.0
Peso Seco de la muestra Lavada o ensayada (g).	(B)	--	2983.00	2981.00	2982.0
Peso del material que pasa el tamiz N°200 (g).	(C)	(A – B)	17.00	19.00	18.00
<b>% de Material que Pasa el Tamiz N° 200.</b>		(C/A)*100	0.57%	0.63%	0.60%
<b>Promedio: 0.60 %</b>					

**G. Contenido de humedad. NTP 339.185 ASTM C-566.**

**Tabla 60. Contenido de humedad del agregado fino.**

Descripción	Símbolo	Formula	E-1	E-2	E-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	71.00	74.00	75.00
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	2020.0	2045.0	1697.0
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	1909.0	1935.0	1602.0
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	6.04	5.91	6.22
<b>Promedio: 6.057%</b>					

**Tabla 61. Contenido de humedad del agregado grueso.**

Descripción	Símbolo	Formula	E-1	E-2	E-3
Peso del recipiente (g).	(A)	--	103.00	111.00	114.00
Peso del recipiente + muestra húmeda (g).	(B)	--	2744.00	2235.00	2638.00
Peso del recipiente + muestra seca (g).	(C)	--	2736.00	2228.00	2631.00
Contenido de humedad	(D)	$\frac{(B-A)-(C-A)}{(C-A)*100}$	0.30	0.33	0.28
<b>Promedio: 0.30%</b>					

**I. Desgaste a la abrasión.** NTP 400.017, NTP 400.0119 / ASTM C -131

**Tabla 62. Desgaste a la abrasión del agregado grueso.**

Gradación	Equipo Mecánico	N° de Esferas	Velocidad (rev./mim)	N° de Revoluciones	TMN	Peso (g)
B	Máquina de los Ángeles	11	30 - 33	500.00	3/4"	5000.00
<b>N° DE ENSAYOS</b>				<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>
Peso Inicial de la muestra seca al horno (gr.)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla N° 12 Lavado y secado al horno en (g)				3711	3718	3722
% Desg. =(( Pi -Pf ) / Pi ) x 100				25.78	25.64	25.56
<b>% Desg. Promedio = 25.66</b>						

## ANEXO 3: DIAGRAMAS DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA

2.1 Tablas y figuras del concreto convencional para esfuerzo y deformación a los 28 días.

**Tabla 63. Valores de Esfuerzo y deformación CC1**

DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA
--

CODIGO DEL ESPECIMEN : CP - 22  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.15  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 63. Valores de Esfuerzo y deformación CC1

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
500.00	0.05	0.16	2.77
2000.00	0.09	0.30	11.09
3500.00	0.15	0.49	19.42
5000.00	0.20	0.66	27.74
6500.00	0.25	0.82	36.06
8000.00	0.26	0.86	44.38
9500.00	0.32	1.05	52.70
11000.00	0.34	1.12	61.02
12500.00	0.38	1.25	69.34
14000.00	0.42	1.38	77.66
15500.00	0.46	1.51	85.98
17000.00	0.49	1.61	94.30
18500.00	0.52	1.71	102.63
20000.00	0.65	2.14	110.95
21500.00	0.68	2.24	119.27
23000.00	0.74	2.43	127.59
24500.00	0.78	2.57	135.91
26000.00	0.85	2.80	144.23
27500.00	0.92	3.03	152.55
29000.00	1.02	3.36	160.87
30500.00	1.15	3.78	169.19
32000.00	1.21	3.98	177.51
34000.00	1.34	4.41	188.61
35500.00	1.45	4.77	196.93
37000.00	1.55	5.10	205.25
39000.00	1.85	6.09	216.35
40500.00	2.05	6.74	224.67
42000.00	2.25	7.40	232.99
<b>43000.00</b>	<b>2.45</b>	<b>8.06</b>	<b>238.54</b>
41250.00	2.62	8.62	228.83
40000.00	2.74	9.01	221.89

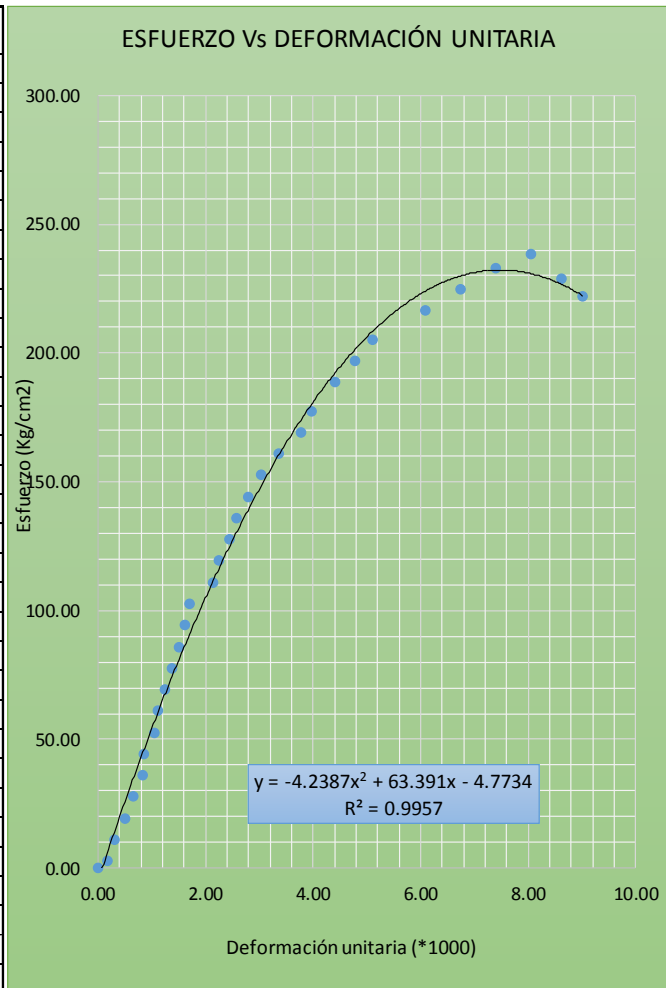


Figura 24. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Convencional CC1

ESFUERZO DE ROTURA = 238.54 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 230.40 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 227685.64 Kg/cm2



**Tabla 64. Valores de Esfuerzo y deformación CC2**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CP - 24  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.2  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 64. Valores de Esfuerzo y deformación CC2

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
750.00	0.09	0.30	4.13
2250.00	0.12	0.39	12.40
3750.00	0.15	0.49	20.67
5250.00	0.19	0.63	28.93
6750.00	0.21	0.69	37.20
8250.00	0.24	0.79	45.46
9750.00	0.28	0.92	53.73
11250.00	0.34	1.12	62.00
12750.00	0.36	1.18	70.26
14250.00	0.52	1.71	78.53
15750.00	0.56	1.84	86.80
17250.00	0.59	1.94	95.06
18750.00	0.62	2.04	103.33
20250.00	0.68	2.24	111.60
21750.00	0.74	2.43	119.86
23250.00	0.85	2.80	128.13
24750.00	0.92	3.03	136.39
26250.00	0.96	3.16	144.66
27750.00	1.05	3.45	152.93
29250.00	1.25	4.11	161.19
30000.00	1.34	4.41	165.33
31500.00	1.45	4.77	173.59
33000.00	1.52	5.00	181.86
35000.00	1.75	5.76	192.88
36500.00	1.92	6.32	201.15
38000.00	1.99	6.55	209.41
40000.00	2.05	6.74	220.44
41500.00	2.45	8.06	228.70
<b>44750.00</b>	<b>2.62</b>	<b>8.62</b>	<b>246.61</b>
43250.00	2.81	9.24	238.35
41750.00	2.96	9.74	230.08

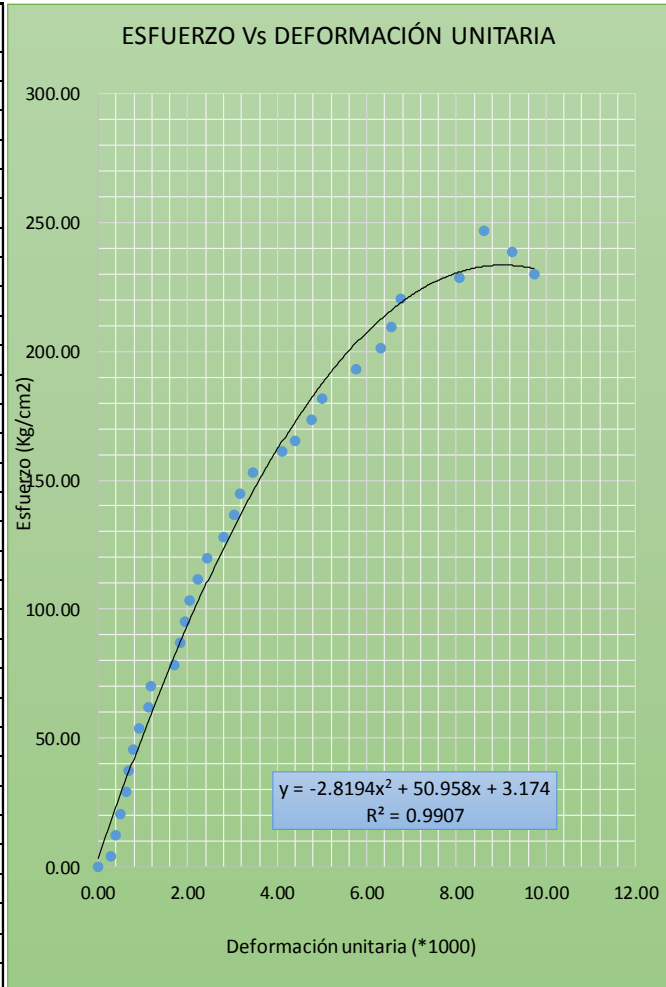


Figura 25. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Convencional CC2

ESFUERZO DE ROTURA = 246.61 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 232.78 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 228855.48 Kg/cm2

**Tabla 65. Valores de Esfuerzo y deformación CC3**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CP - 25  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.2  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 65. Valores de Esfuerzo y deformación CC3

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1000.00	0.06	0.20	5.51
2500.00	0.10	0.33	13.78
4000.00	0.14	0.46	22.04
5500.00	0.21	0.69	30.31
7000.00	0.26	0.86	38.58
8500.00	0.28	0.92	46.84
10000.00	0.33	1.09	55.11
11500.00	0.35	1.15	63.38
13500.00	0.39	1.28	74.40
15000.00	0.42	1.38	82.66
16500.00	0.45	1.48	90.93
18000.00	0.50	1.64	99.20
19500.00	0.56	1.84	107.46
21000.00	0.68	2.24	115.73
22500.00	0.74	2.43	124.00
24000.00	0.82	2.70	132.26
25500.00	0.91	2.99	140.53
27000.00	0.98	3.22	148.79
28500.00	1.04	3.42	157.06
30000.00	1.06	3.49	165.33
31500.00	1.12	3.68	173.59
33000.00	1.32	4.34	181.86
34500.00	1.42	4.67	190.13
36000.00	1.52	5.00	198.39
37500.00	1.74	5.72	206.66
39000.00	1.92	6.32	214.93
40500.00	2.20	7.24	223.19
42000.00	2.31	7.60	231.46
<b>43500.00</b>	<b>2.85</b>	<b>9.38</b>	<b>239.72</b>
42500.00	2.65	8.72	234.21
41250.00	3.01	9.90	227.32

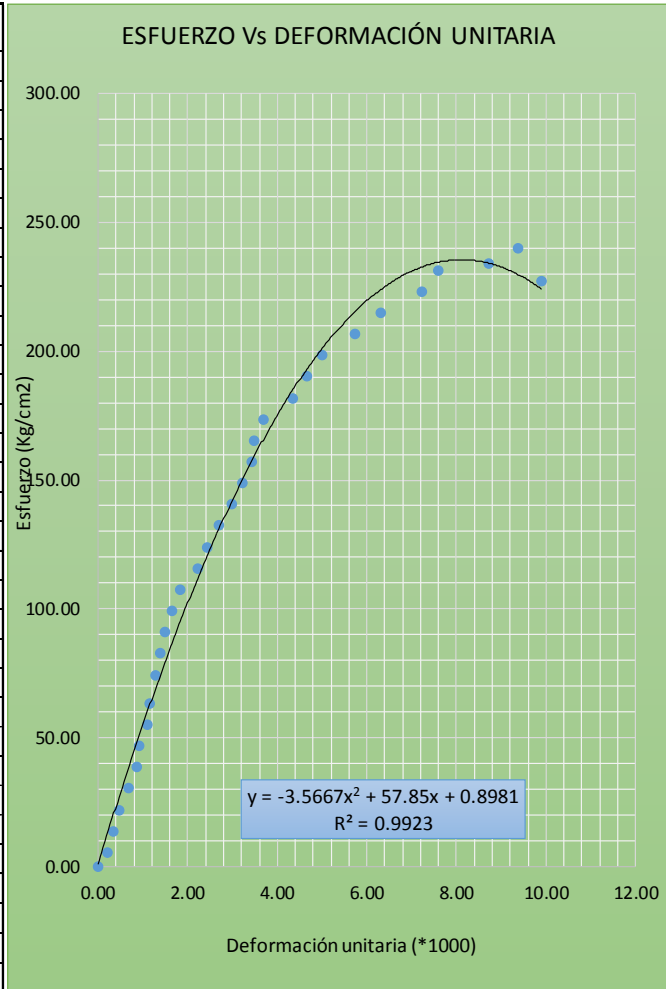


Figura 26. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Convencional CC3

ESFUERZO DE ROTURA = 239.72 Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 229.90 Kg/cm<sup>2</sup>  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 227437.54 Kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 66. Valores de Esfuerzo y deformación CC4**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CP - 27  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.1  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 66. Valores de Esfuerzo y deformación CC4

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1000.00	0.06	0.20	5.58
2500.00	0.10	0.33	13.96
4000.00	0.14	0.46	22.34
5500.00	0.21	0.69	30.71
7000.00	0.24	0.79	39.09
8500.00	0.28	0.92	47.47
10000.00	0.32	1.05	55.84
11500.00	0.38	1.25	64.22
13000.00	0.45	1.48	72.59
14500.00	0.49	1.61	80.97
16000.00	0.52	1.71	89.35
17500.00	0.58	1.91	97.72
19000.00	0.62	2.04	106.10
20500.00	0.69	2.27	114.47
22000.00	0.74	2.43	122.85
23500.00	0.82	2.70	131.23
25000.00	0.86	2.83	139.60
26500.00	0.91	2.99	147.98
28000.00	1.01	3.32	156.36
29500.00	1.15	3.78	164.73
31000.00	1.28	4.21	173.11
32500.00	1.32	4.34	181.48
34000.00	1.46	4.80	189.86
35500.00	1.52	5.00	198.24
37000.00	1.62	5.33	206.61
38500.00	1.85	6.09	214.99
40000.00	1.92	6.32	223.37
41500.00	2.02	6.64	231.74
<b>42750.00</b>	<b>2.45</b>	<b>8.06</b>	<b>238.72</b>
40750.00	2.58	8.49	227.55
40000.00	2.84	9.34	223.37

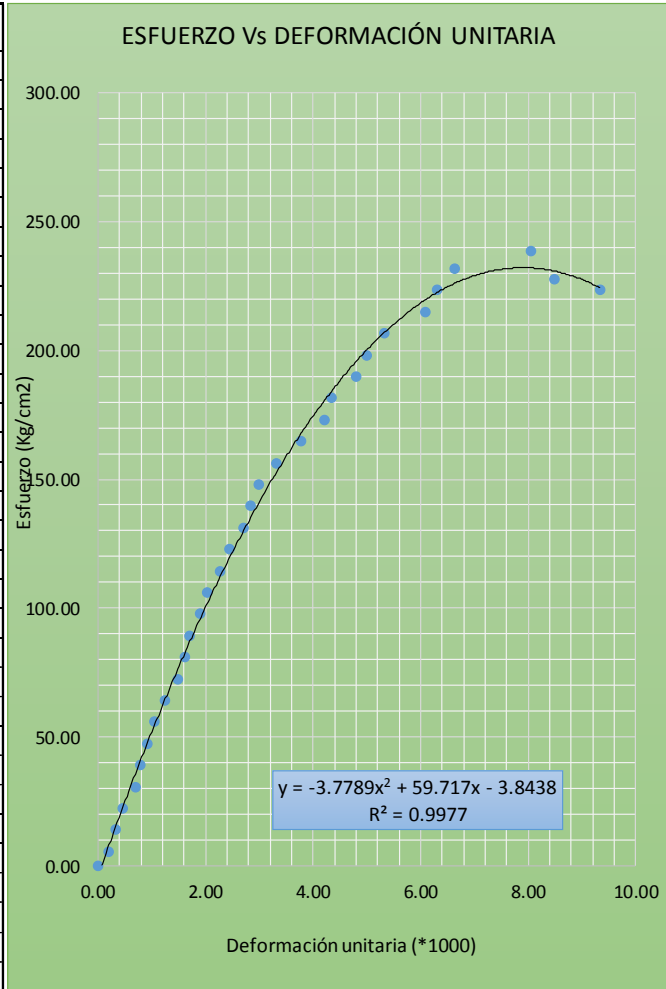


Figura 27. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Convencional CC4

ESFUERZO DE ROTURA = 238.72 Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 231.89 Kg/cm<sup>2</sup>  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 228420.17 Kg/cm<sup>2</sup>

**Tabla 67. Valores de Esfuerzo y deformación CC5**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CP - 30  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.15  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 67. Valores de Esfuerzo y deformación CC5

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
500.00	0.09	0.30	2.77
2000.00	0.12	0.39	11.09
3500.00	0.16	0.53	19.42
5000.00	0.19	0.63	27.74
6500.00	0.21	0.69	36.06
8000.00	0.24	0.79	44.38
9500.00	0.29	0.95	52.70
11000.00	0.35	1.15	61.02
12500.00	0.38	1.25	69.34
14000.00	0.45	1.48	77.66
15500.00	0.49	1.61	85.98
17000.00	0.52	1.71	94.30
18500.00	0.68	2.24	102.63
20000.00	0.74	2.43	110.95
21500.00	0.85	2.80	119.27
23000.00	0.92	3.03	127.59
24500.00	0.96	3.16	135.91
26000.00	1.02	3.36	144.23
27500.00	1.04	3.42	152.55
29000.00	1.12	3.68	160.87
30500.00	1.25	4.11	169.19
32000.00	1.35	4.44	177.51
33500.00	1.46	4.80	185.84
35000.00	1.81	5.95	194.16
36500.00	1.92	6.32	202.48
38000.00	1.99	6.55	210.80
39500.00	2.06	6.78	219.12
41000.00	2.32	7.63	227.44
<b>43250.00</b>	<b>2.68</b>	<b>8.82</b>	<b>239.92</b>
42500.00	2.86	9.41	235.76
41500.00	2.99	9.84	230.21

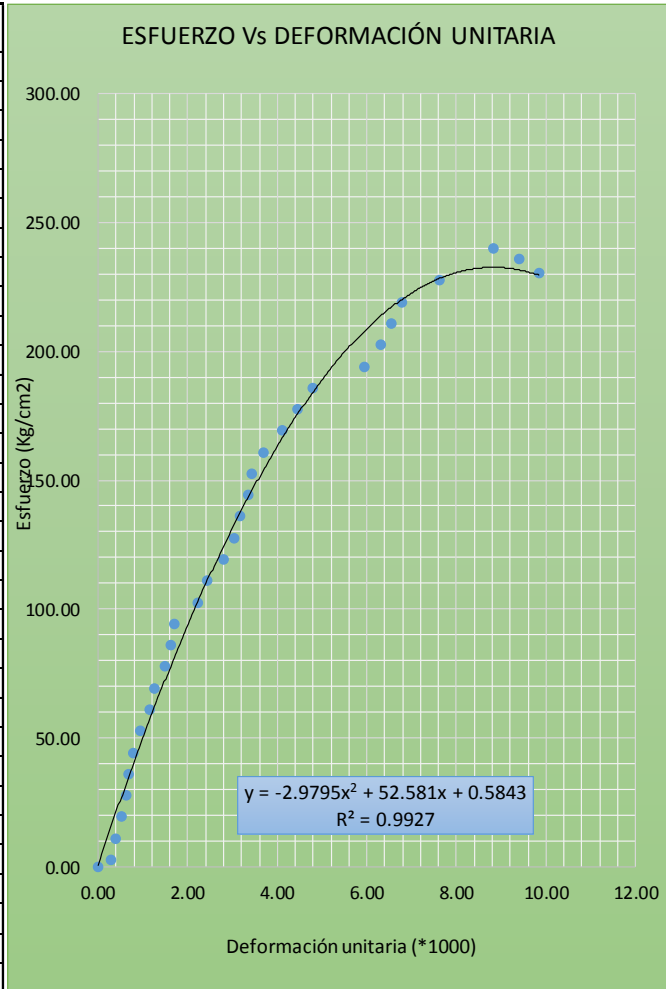


Figura 28. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Convencional CC5

ESFUERZO DE ROTURA = 239.92 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 232.57 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 228751.34 Kg/cm2

2.2 Tablas y figuras del concreto compactado para esfuerzo y deformación a los 28 días.

**Tabla 68. Valores de Esfuerzo y deformación CCR1.**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CCR - 21  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.2  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 68. Valores de Esfuerzo y deformación CCR1

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1000.00	0.04	0.13	5.51
3000.00	0.08	0.26	16.53
5000.00	0.09	0.30	27.55
7000.00	0.12	0.39	38.58
9000.00	0.15	0.49	49.60
11000.00	0.16	0.53	60.62
13000.00	0.19	0.63	71.64
14000.00	0.21	0.69	77.15
16000.00	0.24	0.79	88.17
18000.00	0.28	0.92	99.20
20000.00	0.31	1.02	110.22
22000.00	0.38	1.25	121.24
24000.00	0.42	1.38	132.26
25000.00	0.46	1.51	137.77
27000.00	0.49	1.61	148.79
29000.00	0.51	1.68	159.82
30000.00	0.58	1.91	165.33
32000.00	0.75	2.47	176.35
34000.00	0.80	2.63	187.37
36000.00	0.85	2.80	198.39
38000.00	0.92	3.03	209.41
40000.00	1.00	3.29	220.44
42000.00	1.12	3.68	231.46
44000.00	1.26	4.14	242.48
46000.00	1.42	4.67	253.50
48000.00	1.52	5.00	264.52
50000.00	1.81	5.95	275.55
52000.00	1.91	6.28	286.57
<b>52750.00</b>	<b>1.96</b>	<b>6.45</b>	<b>290.70</b>
50750.00	1.99	6.55	279.68
49500.00	2.05	6.74	272.79

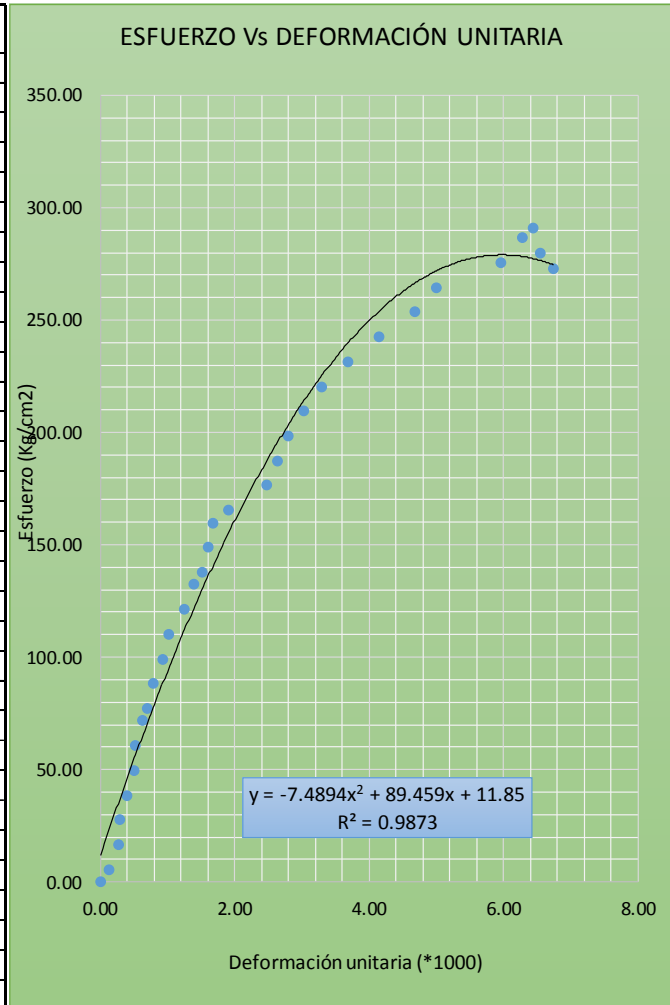


Figura 29. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Rodillado CCR1

ESFUERZO DE ROTURA = 290.70 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 278.11 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 250147.30 Kg/cm2

**Tabla 69. Valores de Esfuerzo y deformación CCR2.**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CCR - 23  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.15  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 69. Valores de Esfuerzo y deformación CCR2

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
750.00	0.03	0.10	4.16
2750.00	0.09	0.30	15.26
4750.00	0.12	0.39	26.35
6750.00	0.16	0.53	37.44
8750.00	0.19	0.63	48.54
10750.00	0.21	0.69	59.63
12750.00	0.28	0.92	70.73
14000.00	0.32	1.05	77.66
16000.00	0.38	1.25	88.76
18000.00	0.42	1.38	99.85
20000.00	0.46	1.51	110.95
22000.00	0.49	1.61	122.04
23000.00	0.51	1.68	127.59
25000.00	0.58	1.91	138.68
27000.00	0.62	2.04	149.78
29000.00	0.65	2.14	160.87
31000.00	0.74	2.43	171.97
33000.00	0.78	2.57	183.06
35000.00	0.92	3.03	194.16
37000.00	0.96	3.16	205.25
38000.00	0.99	3.26	210.80
40000.00	1.01	3.32	221.89
42000.00	1.12	3.68	232.99
44000.00	1.25	4.11	244.08
46000.00	1.35	4.44	255.18
47000.00	1.46	4.80	260.73
49000.00	1.52	5.00	271.82
51000.00	1.68	5.53	282.91
<b>52250.00</b>	<b>1.78</b>	<b>5.86</b>	<b>289.85</b>
51500.00	1.85	6.09	285.69
50250.00	1.96	6.45	278.75

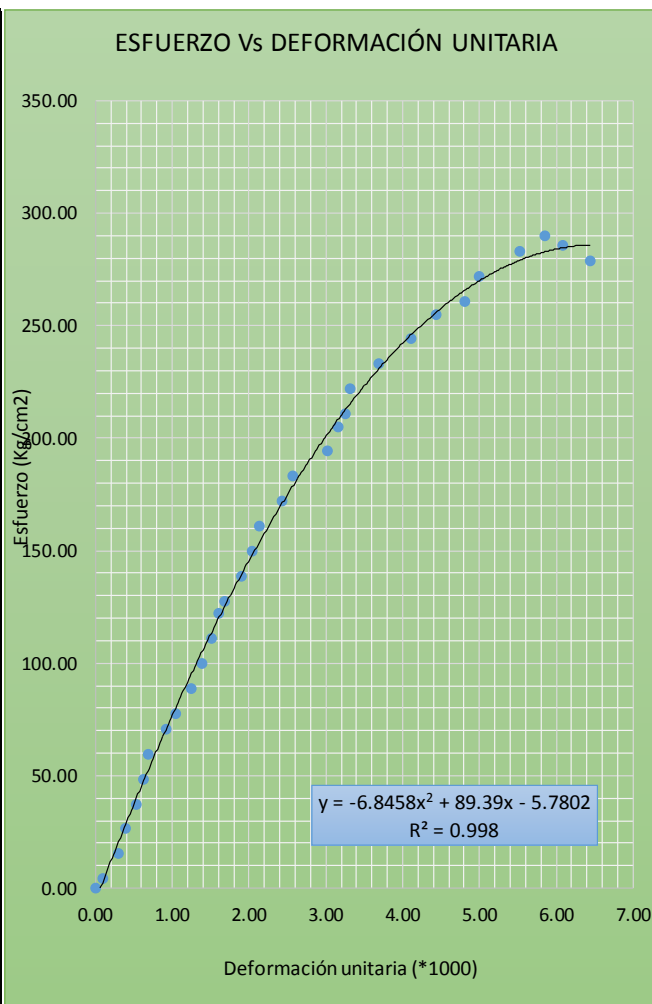


Figura 30. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Rodillado CCR2

ESFUERZO DE ROTURA = 289.85 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 283.49 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 252557.43 Kg/cm2

**Tabla 70. Valores de Esfuerzo y deformación CCR3.**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CCR - 25  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.1  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 70. Valores de Esfuerzo y deformación CCR3

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
500.00	0.05	0.16	2.79
2500.00	0.08	0.26	13.96
4500.00	0.12	0.39	25.13
6500.00	0.16	0.53	36.30
8500.00	0.19	0.63	47.47
10000.00	0.21	0.69	55.84
11000.00	0.24	0.79	61.43
12000.00	0.28	0.92	67.01
14000.00	0.32	1.05	78.18
16000.00	0.38	1.25	89.35
18000.00	0.42	1.38	100.51
20000.00	0.46	1.51	111.68
22000.00	0.49	1.61	122.85
24000.00	0.52	1.71	134.02
26000.00	0.58	1.91	145.19
28000.00	0.62	2.04	156.36
30000.00	0.68	2.24	167.52
32000.00	0.74	2.43	178.69
34000.00	0.85	2.80	189.86
36000.00	0.92	3.03	201.03
38000.00	0.96	3.16	212.20
40000.00	1.02	3.36	223.37
42000.00	1.12	3.68	234.53
44000.00	1.25	4.11	245.70
46000.00	1.32	4.34	256.87
48000.00	1.45	4.77	268.04
50000.00	1.58	5.20	279.21
52000.00	1.63	5.36	290.38
<b>52500.00</b>	<b>1.85</b>	<b>6.09</b>	<b>293.17</b>
51250.00	2.01	6.61	286.19
48500.00	2.10	6.91	270.83

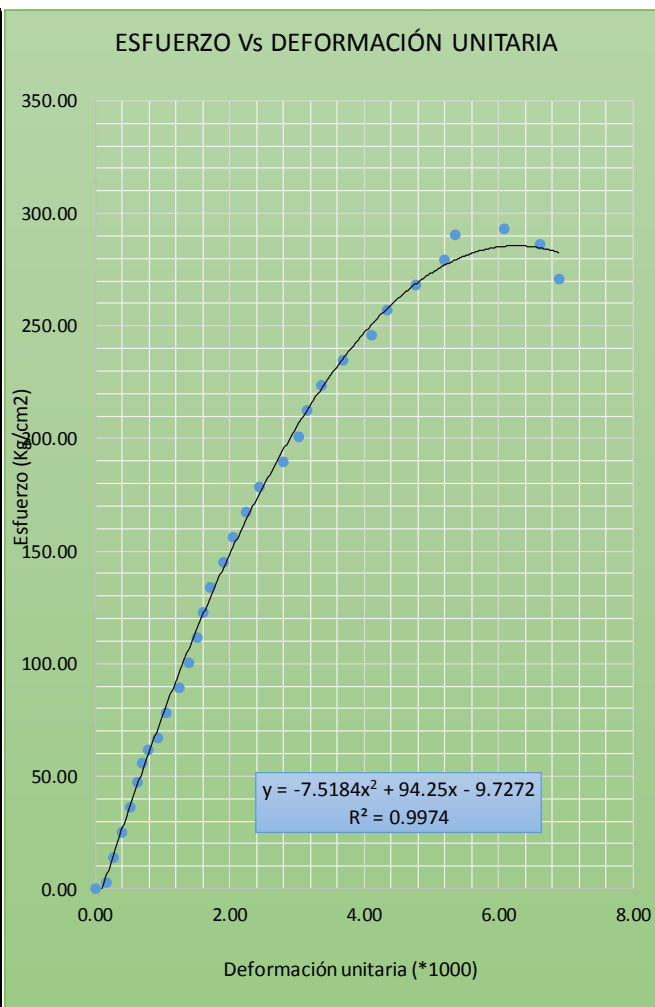


Figura 31. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Rodillado CCR3

ESFUERZO DE ROTURA = 293.17 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 285.60 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 253497.36 Kg/cm2

**Tabla 71. Valores de Esfuerzo y deformación CCR4.**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CCR - 26  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.2  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 71. Valores de Esfuerzo y deformación CCR4

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1500.00	0.06	0.20	8.27
3500.00	0.12	0.39	19.29
5500.00	0.18	0.59	30.31
7500.00	0.21	0.69	41.33
9500.00	0.28	0.92	52.35
11500.00	0.34	1.12	63.38
13500.00	0.38	1.25	74.40
15500.00	0.36	1.18	85.42
17500.00	0.39	1.28	96.44
19500.00	0.42	1.38	107.46
21500.00	0.46	1.51	118.48
22500.00	0.49	1.61	124.00
24500.00	0.51	1.68	135.02
26500.00	0.58	1.91	146.04
27500.00	0.62	2.04	151.55
29500.00	0.68	2.24	162.57
31500.00	0.74	2.43	173.59
33500.00	0.78	2.57	184.62
35500.00	0.85	2.80	195.64
37500.00	0.86	2.83	206.66
39500.00	0.95	3.13	217.68
40500.00	0.99	3.26	223.19
42500.00	1.05	3.45	234.21
44500.00	1.15	3.78	245.24
46500.00	1.21	3.98	256.26
48500.00	1.28	4.21	267.28
50500.00	1.32	4.34	278.30
52500.00	1.46	4.80	289.32
<b>53250.00</b>	<b>1.68</b>	<b>5.53</b>	<b>293.46</b>
52000.00	1.78	5.86	286.57
50000.00	1.96	6.45	275.55

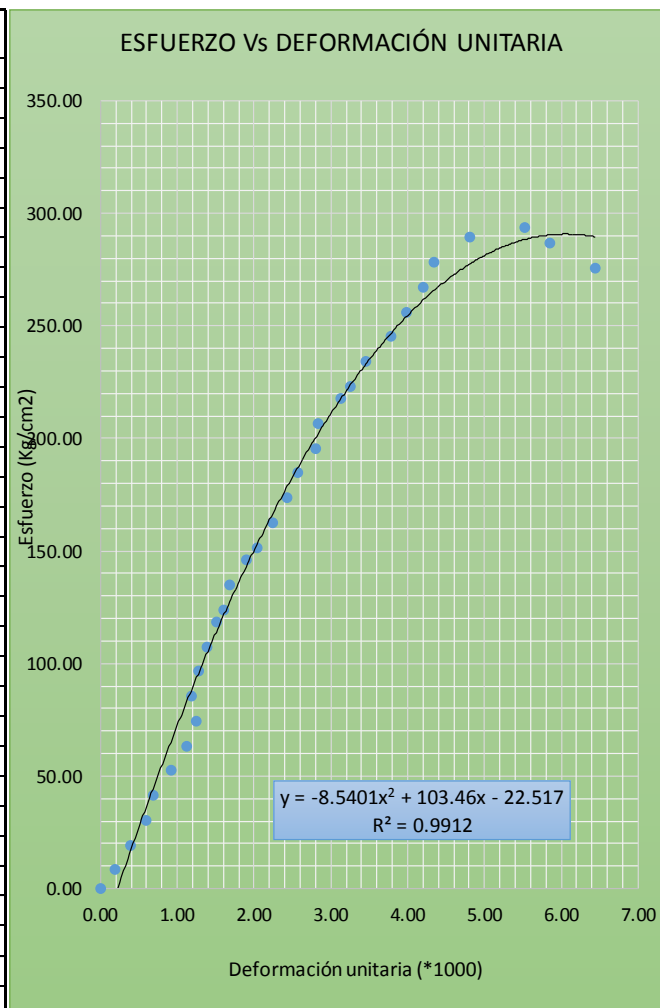


Figura 32. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Rodillado CCR4

ESFUERZO DE ROTURA = 293.46 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 290.01 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 255445.41 Kg/cm2



**Tabla 72. Valores de Esfuerzo y deformación CCR5.**

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : CCR - 28  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.15  
 ALTURA (mm) : 304

Tabla 72. Valores de Esfuerzo y deformación CCR5

Carga (Kg)	Deformación (mm)	Deformación Unitaria (*1000)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0.00	0.00	0.00	0.00
1000.00	0.05	0.16	5.55
3000.00	0.09	0.30	16.64
5000.00	0.15	0.49	27.74
7000.00	0.20	0.66	38.83
9000.00	0.25	0.82	49.93
11000.00	0.30	0.99	61.02
13000.00	0.35	1.15	72.12
15000.00	0.42	1.38	83.21
17000.00	0.46	1.51	94.30
18000.00	0.45	1.48	99.85
20000.00	0.52	1.71	110.95
22000.00	0.60	1.97	122.04
24000.00	0.68	2.24	133.14
26000.00	0.74	2.43	144.23
27000.00	0.85	2.80	149.78
29000.00	0.92	3.03	160.87
31000.00	0.96	3.16	171.97
33000.00	1.02	3.36	183.06
35000.00	1.06	3.49	194.16
37000.00	1.21	3.98	205.25
38000.00	1.35	4.44	210.80
40000.00	1.45	4.77	221.89
42000.00	1.55	5.10	232.99
44000.00	1.62	5.33	244.08
46000.00	1.85	6.09	255.18
48000.00	1.92	6.32	266.27
50000.00	1.98	6.51	277.37
52000.00	2.05	6.74	288.46
<b>52250.00</b>	<b>2.26</b>	<b>7.43</b>	<b>289.85</b>
50250.00	2.30	7.57	278.75
47500.00	2.45	8.06	263.50

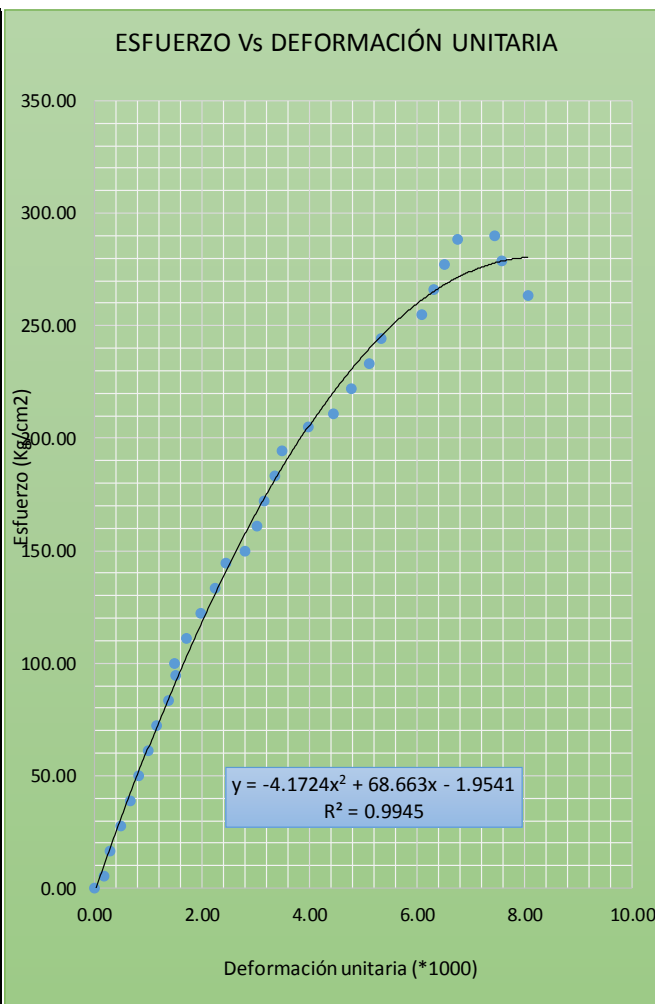


Figura 33. Esfuerzo vs Deformación de Concreto Rodillado CCR5

ESFUERZO DE ROTURA = 289.85 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 278.09 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 250139.81 Kg/cm2

## ANEXO 4: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO.



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**

Calle La Colonia Nro. 858 Urb. El Valle de Monserrate Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 868 Pisco/Santiago - La Libertad  
Teléfono: 01 - 8080



SOC-REG-06-00002 -  
Versión 01

### Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 01 de marzo del 2012

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	1.9	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.6	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	2.6	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.61	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.16	Máximo 0.60
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	3940	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.13	NO ESPECÍFICA

#### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	27.0 (275)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	32.8 (325)	Mínimo 18.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	39.1 (388)	Mínimo 28.0 (Mínimo 280)

#### Tiempo de Fragado Vicat :

Fragado Inicial	min	149	Mínimo 45
Fragado Final	min	282	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados corresponden al promedio del cemento despachado en el año 2011.

(\*) Requisito opcional.

### APLICACIONES

De uso tradicional en la construcción, para emplearse en obras que no requieran propiedades especiales de ningún tipo:

- Obras de concreto y de concreto armado en general.
- Para estructuras que requieren rápido desencofrado.
- Concreto en clima frío.
- Prefabricados.
- Pavimentos y cimentaciones.

## ANEXO 5: RODILLO COMPACTADOR CAT CB44B, ENERGÍA DE COMPACTACIÓN.

Peso en orden de trabajo (kg)	Ancho rodillo (m)	Vel. Equipo (km/h)	Energía rotacional (N-m)	Energía traslacional (N-m)	Energía por vibración		Espesor capa (m)	Número de pasadas (Ciclos x2)	Energía/m <sup>3</sup> (N-m/m <sup>3</sup> )
					Energía potencial (N-m)	Energía cinética (N-m)			
8300	1.5	8	163,950.62	327,901.23	20,310.48	75,389.04	0.25	6	587,551.37
8300	1.5	6	92,222.22	184,444.44	27,080.64	100,518.72	0.25	6	404,266.03
8300	1.5	4	40,987.65	81,975.31	40,620.96	150,778.08	0.25	6	314,362.00
8300	1.5	2	10,246.91	20,493.83	81,241.92	301,556.17	0.25	6	413,538.82
8300	1.5	8	218,600.82	437,201.65	27,080.64	100,518.72	0.25	8	783,401.83
8300	1.5	6	122,962.96	245,925.93	36,107.52	134,024.96	0.25	8	539,021.37
8300	1.5	4	54,650.21	109,300.41	54,161.28	201,037.44	0.25	8	419,149.34
8300	1.5	2	13,662.55	27,325.10	108,322.55	402,074.89	0.25	8	551,385.10
8300	1.5	8	273,251.03	546,502.06	33,850.80	125,648.40	0.25	10	979,252.29
8300	1.5	6	153,703.70	307,407.41	45,134.40	167,531.20	0.25	10	673,776.71
8300	1.5	4	68,312.76	136,625.51	67,701.60	251,296.80	0.25	10	523,936.67
8300	1.5	2	17,078.19	34,156.38	135,403.19	502,593.61	0.25	10	689,231.37

## ANEXO 6: CUADRO DE DISEÑO DE CONCRETO COMPACTADO.

### DISEÑO DE CONCRETO COMPACTADO

DISEÑO CCR PARA: 6 SACOS DE 42.5 Kg

TOTAL SACOS	RELACIÓN A/C	AGUA (l/m <sup>3</sup> )	NUMERO DE ESPECÍMENES	CONSISTENCIA	MÉTODO ACI m=	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		
						7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
6	0.34	86.7	6	SECA	4.96	<b>280.3382</b>	<b>334.5519</b>	<b>396.069</b>
6	0.35	89.3	6	PLÁSTICA	4.96	<b>269.5888</b>	<b>319.6128</b>	<b>379.1008</b>
6	0.36	91.8	6	PLÁSTICA	4.96	<b>259.6796</b>	<b>309.8982</b>	<b>364.8004</b>
6	0.37	94.4	6	PLÁSTICA	4.96	<b>249.8482</b>	<b>296.2092</b>	<b>351.3412</b>

FUENTE: Elaboración Propia

DISEÑO CCR PARA: 4 SACOS DE 42.5 Kg

TOTAL SACOS	RELACIÓN A/C	AGUA (l/m <sup>3</sup> )	NUMERO DE ESPECÍMENES	CONSISTENCIA	MÉTODO ACI m=	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )		
						7 DÍAS	14 DÍAS	28 DÍAS
4	0.34	57.8	6	SECA	4.81	<b>239.98</b>	<b>286.67</b>	<b>339.39</b>
4	0.35	59.5	6	SECA	4.81	<b>229.71</b>	<b>272.33</b>	<b>323.02</b>
4	0.36	61.2	6	SECA	4.81	<b>220.36</b>	<b>262.97</b>	<b>309.56</b>
4	0.37	62.9	6	SECA	4.81	<b>211.76</b>	<b>249.12</b>	<b>297.17</b>

FUENTE: Elaboración Propia

SEGÚN: Norma ASTM 039

ELEGIMOS NUMERO DE SACOS =4 Y RELACIÓN AGUA CEMENTO =0.37

## ANEXO 7: ECUACIÓN PARA CALCULO DE NÚMERO DE CAPAS Y GOLPES POR CADA CAPA.

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

Donde:

- Y - energía a aplicar en la muestra de suelo;
- n - número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado;
- N - número de golpes aplicados por capa;
- P - peso del pisón;
- H - altura de caída del pisón; y
- V - volumen del cilindro.

CUADRO PARA CALCULO DE GOLPES SEGÚN NUMERO DE CAPAS	
Nº DE CAPAS	Nº DE GOLPES
3	65
5	40
7	28

## ANEXO 8: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 24. Toma de muestras en cantera de almacenamiento en Baños del Inca - Cajamarca.



Figura 25. Ensayo de abrasión con la Máquina de los Ángeles.



**Figura 26. Peso de materiales para la elaboración de las mezclas.**



**Figura 27. Colocación de materiales en la mezcladora.**





**Figura 28. Vista de la mezcla de concreto para elaborar los especímenes con compactación.**



**Figura 29. Ensayo de Slump de la mezcla de concreto**





**Figura 30. Medida del asentamiento de la mezcla de concreto.**



**Figura 31. Compactación de los especímenes de concreto.**



**Figura 32. Vista de los especímenes luego de ser elaborados con compactación.**



**Figura 33. Codificación de los especímenes de concreto.**





**Figura 34. Curado de los especímenes de concreto.**



**Figura 35. Especímenes codificados para ser ensayados a compresión Uniaxial.**



**Figura 36. Ensayos a compresión de los especímenes de concreto.**



**Figura 37. Lectura del Deformímetro para los diagramas de esfuerzo Vs deformación unitaria**



**Figura 38. Ensayo a flexión del concreto.**



**Figura 39. Modo de falla del concreto.**





**Figura 40. Ensayo Vebe por Capas.**



**Figura 41. Ensayo Vebe por Capas.**



**Figura 42. Ensayo Vebe Finalizado.**

