



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil**

## **TESIS:**

**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL CURADO ACELERADO  
DEL CONCRETO PARA UN  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ ”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR  
BACHILLER EN ING. CIVIL  
CÉSAR ERIXON ZORRILLA RODRÍGUEZ**

**ASESOR:  
M.sc. Ing.  
HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA**

**Cajamarca – Perú - 2018**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme haber vivido unos momentos maravillosos de  
Universidad.

A mis padres, hermanos y toda mi familia por apoyarme en cada decisión  
y proyecto.

A mi Universidad por permitir convertirme en un profesional en lo que  
tanto me apasiona.

A mi asesor y amigo el M. Ing. Héctor A. Pérez Loayza por su apoyo y  
dedicación constante en el desarrollo de esta tesis.

A cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación.

A mis compañeros y amigos que me apoyaron continuamente durante el  
proceso de mi carrera.

A mi hermano Deyner, amigos Leiner, Lobato, Tito, Jeanfranco, German,  
Daniel y Lumba, de manera especial.

Con sus aportes, amor, bondad, afecto y apoyo incondicional el  
camino fue menos tedioso para lograr esta meta.

## **DEDICATORIA**

A Dios por guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar, encarando las adversidades sin perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres César y Emérita, hermanos y a toda mi familia por quienes soy lo que soy, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por apoyarme con los recursos necesarios para mis estudios, por contribuir a ser todo lo que soy como persona con valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje.

## RESUMEN

El propósito de la presente tesis fue determinar si los resultados del estudio de la influencia del curado acelerado del concreto para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  fueron iguales o superiores a los resultados de la influencia del curado estándar. El estudio se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales "Carlos Esparza Díaz" de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se trabajó con una muestra de 90 especímenes de concreto, 30 para el grupo de control con el curado estándar (GC), 30 para el primer grupo experimental con el curado acelerado a 2 horas de secado (GE1) y 30 para el segundo grupo experimental con el curado acelerado a 7 horas de secado (GE2). Para el GC se utilizó la poza para un curado estándar; para los grupos GE1 Y GE2 se utilizó una máquina de curado acelerado que cumple con lo requerido en la NTP 339.213, la cual nos permite curar 6 especímenes con agua hirviendo, estos fueron expuestos a 3.5, 7 y 12 horas de curado, con un tiempo de enfriado de 2 horas +- 10 min para el GE1 y un tiempo de enfriado de 7 horas a más para el GE2. Los resultados revelan que la resistencia de concreto con el curado acelerado a 7 horas de secado (111.14%) son aproximadamente iguales que la resistencia del concreto con el curado estándar (112.38%) y en un tiempo menor. El método de curado acelerado con agua hirviendo se puede realizar con especímenes en laboratorio, sólo para realizar control de calidad.

**Palabras Clave:** Curado, curado estándar, curado acelerado, resistencia a la compresión.

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to determine if the results of the study of the influence of the accelerated curing of the concrete for a  $f'c = 280 \text{ kg / cm}^2$  were equal or superior to the results of the influence of the standard curing. The study was carried out in the materials testing laboratory "Carlos Esparza Díaz" of the Engineering Faculty of the National University of Cajamarca. We worked with a sample of 90 concrete specimens, 30 for the control group with standard curing (GC), 30 for the first experimental group with accelerated curing at 2 hours of drying (GE1) and 30 for the second experimental group with accelerated curing at 7 hours of drying (GE2). For the GC, the well was used for a standard cure; for groups GE1 and GE2 an accelerated curing machine was used that meets the requirements of NTP 339.213, which allows us to cure 6 specimens with boiling water, these were exposed to 3.5, 7 and 12 hours of curing, with a time of cooling of 2 hours + - 10 min for the GE1 and a cooling time of 7 hours to more for the GE2. The results reveal that the concrete strength with the accelerated curing at 7 hours of drying (111.14%) are approximately the same as the strength of the concrete with the standard curing (112.38%) and in a shorter time. The method of accelerated curing with boiling water can be performed with specimens in the laboratory, only to perform quality control

**Keywords:** Curing, standard curing, accelerated curing, compression resistance.

## ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTO .....                                  | i   |
| DEDICATORIA .....                                     | ii  |
| RESUMEN .....   | iii |
| ABSTRACT .....  | iv  |
| ÍNDICE GENERAL .....                                  | v   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                 | x   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                                | xiv |
| CAPITULO I. ....                                      | 1   |
| INTRODUCCIÓN.....                                     | 1   |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                  | 3   |
| 1.1.1. Contextualización .....                        | 3   |
| 1.1.2. Descripción del Problema .....                 | 4   |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                     | 5   |
| 1.3 HIPÓTESIS.....                                    | 5   |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....           | 6   |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN ..... | 6   |
| 1.6 OBJETIVOS.....                                    | 8   |
| 1.7.1 Objetivo General.....                           | 8   |
| 1.7.2 Objetivos Específicos .....                     | 8   |
| CAPITULO II. ....                                     | 9   |
| MARCO TEÓRICO .....                                   | 9   |
| 2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....    | 9   |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales.....              | 9   |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales .....                  | 10  |
| 2.1.2. Antecedentes Locales .....                     | 12  |
| 2.2. BASES TEÓRICAS.....                              | 12  |
| 2.2.1. Norma Técnica Peruana 239.213 .....            | 13  |
| 2.2.1.1. Síntesis del metodo de ensayo .....          | 13  |
| 2.2.2. Curado Del concreto. ....                      | 13  |
| 2.2.2.1. Hidratación Del Cemento.....                 | 14  |
| 2.2.2.2. Consecuencias del secado Prematuro. ....     | 16  |
| 2.2.2.3. Duración del Curado.....                     | 18  |
| 2.2.3 Concreto .....                                  | 19  |
| 2.2.4 Resistencia a compresión del concreto.....      | 20  |

|                                   |   |           |
|-----------------------------------|---|-----------|
| 2.2.5                             | Cemento Portlan Pacasmayo tipo I.....                           | 22        |
| 2.2.6                             | Agregados para Concreto.....                                    | 23        |
| 2.2.6.1.                          | Características de los agregados para concreto.....             | 25        |
| 2.2.6.2.                          | Características Físicas de los agregados para concreto.....     | 27        |
| 2.2.6.2.1.                        | Peso específico y absorción.....                                | 27        |
| 2.2.6.2.2.                        | Análisis granulométrico.....                                    | 28        |
| 2.2.6.2.2.1.                      | Módulo de finura.....   | 28        |
| 2.2.6.2.2.2.                      | Tamaño máximo y tamaño máximo nominal del agregado.....         | 29        |
| 2.2.6.2.3.                        | Peso unitario.....  | 29        |
| 2.2.6.2.4.                        | Contenido de Humedad.....                                       | 29        |
| 2.2.6.2.5.                        | Resistencia a la abrasión.....                                  | 29        |
| 2.2.6.2.6.                        | Material más fino que el tamiz N° 200.....                      | 30        |
| 2.2.7                             | Agua para mezclado de concreto.....                             | 30        |
| 2.2.7.1.                          | Agua de mezclado.....   | 31        |
| 2.2.7.2.                          | Agua de Curado.....   | 31        |
| 2.2.8                             | Teoría Del diseño de Mezclas.....                               | 31        |
| 2.2.8.1.                          | Generalidades.....  | 31        |
| 2.2.8.2.                          | Elección de la resistencia promedio.....                        | 32        |
| 2.2.8.3.                          | Elección del asentamiento (Slump).....                          | 32        |
| 2.2.8.4.                          | Selección de tamaño máximo del agregado.....                    | 33        |
| 2.2.8.5.                          | Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.....        | 33        |
| 2.2.8.6.                          | Elección de la relación agua cemento (a/c).....                 | 35        |
| 2.2.8.7.                          | Cálculo del contenido de cemento.....                           | 37        |
| 2.2.8.8.                          | Estimación del contenido de agregado grueso y fino.....         | 37        |
| 2.2.8.8.1.                        | Método del módulo de finura de la combinación de agregados..... | 37        |
| 2.2.8.9.                          | Ajuste por humedad y absorción.....                             | 38        |
| 2.2.8.10.                         | Cálculo de las proporciones en peso.....                        | 38        |
| 2.2.8.11.                         | Cálculo del proporciones en volumen.....                        | 39        |
| 2.2.9                             | Prueba de ensayos.....  | 39        |
| 2.2.9.1.                          | Descripción de materiales utilizados.....                       | 39        |
| 2.3                               | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....                             | 41        |
| <b>CAPITULO III.....</b>          |   | <b>42</b> |
| <b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b> |   | <b>42</b> |
| 3.1                               | TOMA DE MUESTRAS.....   | 42        |
| 3.2                               | UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....                   | 42        |
| 3.3                               | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: .....                               | 43        |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.1. Tipo de la Investigación. ....  | 43 |
| 3.3.2. Nivel de la Investigación. ....   | 43 |
| 3.3.3. Método de la Investigación. ....  | 43 |
| 3.3.4. Población de Estudio. ....  | 43 |
| 3.3.5. Muestra. ....   | 43 |
| 3.3.6. Unidad de Análisis. ....  | 43 |
| 3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....  | 45 |
| 3.5 OPERACIONAL DE VARIABLES.....  | 45 |
| 3.5.1 Variable Independiente .....   | 45 |
| 3.5.2 Variable Dependiente .....   | 45 |
| 3.6 MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....  | 46 |
| 3.6.1. Materiales.....   | 46 |
| 3.6.2. Equipos. ....   | 46 |
| 3.7 PROCEDIMIENTO.....   | 47 |
| 3.8 CANTERA DE ESTUDIO.....  | 48 |
| 3.8.1 Ubicación.....   | 48 |
| 3.8.2 Extracción de agregado de cantera .....  | 48 |
| 3.9 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO. ....  | 49 |
| 3.9.1. Peso específico y absorción. ....   | 49 |
| 3.9.2. Peso unitario.....  | 51 |
| 3.9.3. Contenido de humedad.....   | 53 |
| 3.9.4. Análisis granulométrico.....  | 54 |
| 3.9.5. Material más fino que el tamiz N°200.....   | 55 |
| 3.9.6. Desgaste o resistencia a la abrasión. ....  | 56 |
| 3.10 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS.....   | 57 |
| 3.10.1. Diseño de mezcla de concreto convencional. ....  | 57 |
| 3.11 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....   | 61 |
| 3.12 PESO UNITARIO FRESCO DEL CONCRETO. ....   | 63 |
| 3.13 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO.....   | 63 |
| 3.14 CURADO DE ESPECÍMENES.....  | 64 |
| 3.14.1. Curado de especímenes por el método estándar.....  | 64 |
| 3.14.2. Curado por el método B de la NTP 339.213. ....   | 64 |
| 3.14.2.2. Métodos de Aceleramiento de resistencia NTP 339.213.....   | 65 |
| 3.14.2.3. Fabricación de la máquina de curado acelerado.....   | 66 |
| 3.14.3. Curado de especímenes por método de curado acelerado mediante el uso de agua hirviendo, método B de la NTP 339.213. .... | 67 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.15 PRUEBA DE ESPECÍMENES A LA COMPRESIÓN.....  | 68        |
| <b>CAPITULO IV.....</b>  | <b>71</b> |
| <b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>   | <b>71</b> |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL<br>CONCRETO.....                     | 71        |
| 4.1.1 Análisis y discusión de características de los materiales utilizados.....            | 72        |
| 4.2 DISEÑO DE MEZCLAS PARA LOS GRUPOS DE EXPERIMENTACIÓN<br>DE LA INVESTIGACIÓN.....       | 74        |
| 4.3 ANÁLISIS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO.....                                     | 75        |
| 4.4 CURADO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO.....   | 75        |
| 4.4.1 Curado por el método estándar (NTP 339.183).....                                     | 75        |
| 4.4.2 Curados por el método de curado acelerado de la NTP 339.213<br>(Agua hirviendo)..... | 76        |
| 4.5 ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....   | 77        |
| 4.5.1 Resultados de los ensayos a discusión.....   | 77        |
| 4.5.1.1 Especímenes curados por el metodo de curado estándar.....                          | 77        |
| 4.5.1.2 Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 (Agua<br>hirviendo).....     | 79        |
| 4.6 ANÁLISIS DEL TIPO Y MODO DE FALLA DE LOS ESPECÍMENES A<br>COMPRESIÓN.....              | 90        |
| 4.7 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO.....  | 90        |
| 4.8 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....   | 90        |
| <b>CAPÍTULO V.....</b>   | <b>91</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>   | <b>91</b> |
| 5.1 CONCLUSIONES.....  | 91        |
| 5.2 RECOMENDACIONES.....   | 92        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>93</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>   | <b>96</b> |
| <b>ANEXO 1: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE AGREGADOS.....</b>                          | <b>97</b> |
| 1.1 Peso específico y absorción.....   | 97        |
| 1.2 Peso unitario.....   | 98        |
| 1.3 Contenido de humedad.....  | 100       |
| 1.4 Análisis granulométrico.....   | 101       |
| 1.5 Material más fino que el tamiz N°200.....  | 107       |
| 1.6 Desgaste o resistencia a la abrasión.....  | 107       |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO.....</b>   | <b>108</b> |
| <b>ANEXO 3: DISEÑO DE MEZCLA PARA GRUPO DE CONTROL (GC) Y GRUPO EXPERIMENTAL (GE1 Y GE2) .....</b> | <b>109</b> |
| 3.1    DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO .....  | 109        |
| 3.2    PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO.....  | 110        |
| <b>ANEXO 4: GRÁFICAS QUE MUESTRAN LA RESISTENCIA A COMPRESION. ....</b>                            | <b>111</b> |
| <b>ANEXO 5: DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA.....</b>                                  | <b>116</b> |
| <b>ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO.....</b>   | <b>126</b> |
| <b>PLANOS.....</b>   | <b>141</b> |
| PLANO EN PERFIL DE MAQUINA CURADORA DE CONCRETO .....  | 142        |
| PLANO EN PLANTA DE MAQUINA CURADORA DE CONCRETO .....  | 143        |
| PLANO EN PERFIL DE MAQUINA CURADORA DE CONCRETO .....  | 144        |
| PLANO ISOMÉTRICO DE MAQUINA CURADORA DE CONCRETO .....   | 145        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Componentes principales del cemento. ....  | 23 |
| <b>Tabla 2.</b> Límites granulométricos del agregado fino.....   | 25 |
| <b>Tabla 3.</b> Husos granulométricos del agregado fino. ....  | 26 |
| <b>Tabla 4.</b> Usos granulométricos del agregado grueso. ....   | 27 |
| <b>Tabla 5.</b> Cantidad de muestra a ensayar para el agregado grueso para análisis granulométrico. ....   | 28 |
| <b>Tabla 6.</b> Carga abrasiva y peso de la muestra para abrasión. ....  | 30 |
| <b>Tabla 7.</b> Cantidad de material necesario para el ensayo de material más fino que el tamiz N°200.....   | 30 |
| <b>Tabla 8.</b> Grado de control. ....   | 32 |
| <b>Tabla 9.</b> Consistencia y Asentamiento.....   | 32 |
| <b>Tabla 10.</b> Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción. ....  | 33 |
| <b>Tabla 11.</b> Porcentaje que pasan por las siguientes mallas para determinación del tamaño máximo del agregado grueso. ....                                     | 33 |
| <b>Tabla 12.</b> Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados..... | 34 |
| <b>Tabla 13.</b> Volumen unitario de agua de mezclado, para asentamientos y tamaño máximo nominal. ....  | 35 |
| <b>Tabla 14.</b> Determinación del aire atrapado según el tamaño máximo nominal. ...   | 35 |
| <b>Tabla 15.</b> Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.....   | 36 |
| <b>Tabla 16.</b> Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.....   | 36 |
| <b>Tabla 17.</b> Módulo de fineza de la combinación de agregados.....  | 37 |
| <b>Tabla 18.</b> Determinación del tamaño de la muestra de la investigación. ....  | 44 |
| <b>Tabla 19.</b> Operacionalización de la variable independiente .....   | 45 |
| <b>Tabla 20.</b> Operacionalización de la variable dependiente. ....   | 45 |
| <b>Tabla 21.</b> Propiedades físicas y mecánicas del agregado fino.....  | 71 |
| <b>Tabla 22.</b> Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso.....  | 72 |
| <b>Tabla 23.</b> Materiales necesarios para metro cubico. ....   | 74 |
| <b>Tabla 24.</b> Curado de especímenes con el método estándar. ....  | 75 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 25.</b> Curado de especímenes con el método B de la NTP 339.213. ....  | 76 |
| <b>Tabla 26.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 7 días (GC). ....   | 77 |
| <b>Tabla 27.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 14 días (GC). ....  | 78 |
| <b>Tabla 28.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 28 días (GC). ....  | 78 |
| <b>Tabla 29.</b> Temperatura y diámetro para los especímenes ensayados a compresión que fueron sometidos a curado acelerado (GE).....   | 79 |
| <b>Tabla 30.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 3.5 horas, tiempo secado 2 horas±10 min (GE1). ....   | 79 |
| <b>Tabla 31.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 3.5 horas, tiempo secado 7 horas a más (GE2). ....  | 80 |
| <b>Tabla 32.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 7 horas, tiempo secado 2 horas±10 min (GE1). ....   | 80 |
| <b>Tabla 33.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 7 horas, tiempo secado 7 horas a más (GE2). ....  | 81 |
| <b>Tabla 34.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 12 horas, tiempo secado 2 horas±10 min (GE1). ....  | 81 |
| <b>Tabla 35.</b> Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 12 horas, tiempo secado 7 horas a más (GE2). ....   | 82 |
| <b>Tabla 36.</b> Análisis estadístico de resultados de diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes a la edad de 7, 14 y 28 días, Curados por el método estándar (GC).....   | 82 |
| <b>Tabla 37.</b> Análisis estadístico de resultados diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y secadas a dos tiempos 2 y 7 horas (GE1) y (GE2). .... | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 38.</b> Análisis estadístico de resultados diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y secadas a dos tiempos 2 y 7 horas. (GE1) y (GE2).....  | 85  |
| <b>Tabla 39.</b> Análisis estadístico de resultados diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y secadas a dos tiempos 2 y 7 horas. (GE1) y (GE2)..... | 85  |
| <b>Tabla 40.</b> Resistencia a la compresión promedio de los grupos de control (GC) y experimentales (GE1 y GE2).....  | 86  |
| <b>Tabla 41.</b> Resistencia a la compresión en porcentaje promedio de los grupos de control (GC) y experimentales (GE1 y GE2).....  | 86  |
| <b>Tabla 42.</b> Resistencia a la compresión a diferentes periodos de enfriamiento. ....   | 88  |
| <b>Tabla 43.</b> Módulo de elasticidad promedio para GC y GE2.....   | 90  |
| <b>Tabla 44.</b> Peso específico y absorción agregado fino. ....   | 97  |
| <b>Tabla 45.</b> Peso específico y absorción agregado fino. ....   | 97  |
| <b>Tabla 46.</b> Peso específico y absorción agregado grueso. ....   | 98  |
| <b>Tabla 47.</b> Peso específico y absorción agregado grueso. ....   | 98  |
| <b>Tabla 48.</b> Peso unitario suelto agregado fino. ....  | 98  |
| <b>Tabla 49.</b> Peso unitario suelto agregado fino. ....  | 99  |
| <b>Tabla 50.</b> Peso unitario compactado agregado fino. ....  | 99  |
| <b>Tabla 51.</b> Peso unitario agregado grueso. ....   | 99  |
| <b>Tabla 52.</b> Peso unitario suelto agregado grueso. ....  | 100 |
| <b>Tabla 53.</b> Peso unitario compactado agregado grueso. ....  | 100 |
| <b>Tabla 54.</b> Contenido de humedad agregado fino. ....  | 100 |
| <b>Tabla 55.</b> Contenido de humedad agregado grueso. ....  | 100 |
| <b>Tabla 56.</b> Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado fino. ....   | 101 |
| <b>Tabla 57.</b> Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado fino. ....   | 102 |
| <b>Tabla 58.</b> Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado fino. ....   | 103 |
| <b>Tabla 59.</b> Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado grueso. ....   | 104 |
| <b>Tabla 60.</b> Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado grueso. ....   | 105 |
| <b>Tabla 61.</b> Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado grueso. ....   | 106 |
| <b>Tabla 62.</b> Ensayo: Material más fino que el tamiz N°200. ....  | 107 |
| <b>Tabla 63.</b> Ensayo: Material más fino que el tamiz N°200. ....  | 107 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 64.</b> <i>Desgaste o resistencia a la abrasión.....</i>                                      | 107 |
| <b>Tabla 65.</b> <i>Diseño de mezclas para concreto de <math>f'c=280</math> Kg/cm<sup>2</sup>.....</i> | 109 |
| <b>Tabla 66.</b> <i>Peso unitario del concreto fresco.....</i>   | 110 |
| <b>Tabla 67.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de C1-28.....</i>                      | 116 |
| <b>Tabla 68.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de C2-28.....</i>                      | 117 |
| <b>Tabla 69.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de C3-28.....</i>                      | 118 |
| <b>Tabla 70.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de C4-28.....</i>                      | 119 |
| <b>Tabla 71.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de C5-28.....</i>                      | 120 |
| <b>Tabla 72.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de E1-12.....</i>                      | 121 |
| <b>Tabla 73.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de E2-12.....</i>                      | 122 |
| <b>Tabla 74.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de E3-12.....</i>                      | 123 |
| <b>Tabla 75.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de E4-12.....</i>                      | 124 |
| <b>Tabla 76.</b> <i>Valores de esfuerzo Vs Deformación unitaria de E5-12.....</i>                      | 125 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Etapas de la hidratación del cemento Portland determinadas por calorimetría de conducción.</i> .....                       | 16  |
| <b>Figura 2.</b> <i>Volumen porcentual ocupado por la porosidad capilar en pastas de cemento, como función del grado de hidratación.</i> ..... | 18  |
| <b>Figura 3.</b> <i>Proporciones volumen absoluto de los componentes del concreto.</i> .....   | 20  |
| <b>Figura 4.</b> <i>Fotografía satelital de la ubicación del estudio.</i> .....  | 42  |
| <b>Figura 5.</b> <i>Número de probetas en función del error máximo e, ASTM C.</i> .....  | 44  |
| <b>Figura 6.</b> <i>Ubicación cantera Chilete.</i> .....   | 48  |
| <b>Figura 7.</b> <i>Resumen de datos a la resistencia a compresión para GE1, GE2 Y GC.</i> .....   | 87  |
| <b>Figura 8.</b> <i>Resumen de datos a la resistencia a compresión en porcentaje para GE1, GE2 Y GC.</i> .....                                 | 87  |
| <b>Figura 9.</b> <i>Temperatura °C Vs Hora de enfriado.</i> .....  | 89  |
| <b>Figura 10.</b> <i>Esfuerzo Vs Hora de enfriado.</i> .....   | 89  |
| <b>Figura 11.</b> <i>Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado fino.</i> .....  | 101 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado fino.</i> .....  | 102 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado fino.</i> .....  | 103 |
| <b>Figura 14.</b> <i>Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado grueso.</i> .....  | 104 |
| <b>Figura 15.</b> <i>Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado grueso.</i> .....  | 105 |
| <b>Figura 16.</b> <i>Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado grueso.</i> .....  | 106 |
| <b>Figura 17.</b> <i>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 7 días.</i> .....        | 111 |
| <b>Figura 18.</b> <i>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 14 días.</i> .....       | 111 |
| <b>Figura 19.</b> <i>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 28 días.</i> .....       | 112 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 20.</b> Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto. .... | 112 |
| <b>Figura 21.</b> Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados de 7 horas a más luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto ..... | 113 |
| <b>Figura 22.</b> Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto. ....   | 113 |
| <b>Figura 23.</b> Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados 7 horas a más de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto.....             | 114 |
| <b>Figura 24.</b> Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados 2 hora +- 10min luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto. ....   | 114 |
| <b>Figura 25.</b> Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados de 7 horas a más de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto .....        | 115 |
| <b>Figura 26.</b> Resumen de datos a la resistencia a compresión para GE1, GE2 Y GC. ....  | 115 |
| <b>Figura 27.</b> Toma de muestra en el almacén de la cantera Chilete .....  | 126 |
| <b>Figura 28.</b> Almacenado de los agregados en el laboratorio “Carlos Esparza” de la Facultad de Ingeniería de la UNC. ....  | 126 |
| <b>Figura 29.</b> Preparación del equipo de tamices y balanza para realizar el ensayo de granulometría del agregado fino y agregado grueso .....   | 127 |
| <b>Figura 30.</b> Ensayo granulométrico del agregado grueso. ....  | 127 |
| <b>Figura 31.</b> Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.....  | 128 |
| <b>Figura 32.</b> Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino. ....   | 128 |
| <b>Figura 33.</b> Ensayo de peso específico del agregado grueso .....  | 129 |
| <b>Figura 34.</b> Fabricación de la máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339. 213.....  | 129 |
| <b>Figura 35.</b> Fabricación de la máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213.....   | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 36.</b> <i>Instalación de las resistencias y cables a la máquina de curado acelerado.</i> .....  | 130 |
| <b>Figura 37.</b> <i>Instalación de la máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213, en el laboratorio Carlos Esparza de la Facultad de Ingeniería.</i> ..... | 131 |
| <b>Figura 38.</b> <i>Máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213, instalada en el laboratorio Carlos Esparza de la Facultad de Ingeniería.</i> .....         | 131 |
| <b>Figura 39.</b> <i>Preparación de equipos y materiales para realizar una mezcla de concreto</i> .....  | 132 |
| <b>Figura 40.</b> <i>Colocación de los materiales a la mezcladora.</i> .....   | 132 |
| <b>Figura 41.</b> <i>Ensayo de Slump de la mezcla de concreto</i> .....  | 133 |
| <b>Figura 42.</b> <i>Ensayo de Slump de la mezcla de concreto.</i> .....   | 133 |
| <b>Figura 43.</b> <i>Enrazado de los especímenes de concreto</i> .....   | 134 |
| <b>Figura 44.</b> <i>Sacado de los especímenes del molde.</i> .....  | 134 |
| <b>Figura 45.</b> <i>Especímenes que fueron curados por el método estándar en la poza</i>  | 135 |
| <b>Figura 46.</b> <i>Especímenes acondicionados con alambre, para ser curados por el método B de la NTP 339.213.</i> .....   | 135 |
| <b>Figura 47.</b> <i>Instrucción de los especímenes a la máquina de curado acelerado, cuando el agua se encuentra hirviendo.</i> .....                                   | 136 |
| <b>Figura 48.</b> <i>Especímenes sometidos al curado acelerado con agua hirviendo.</i> ....  | 136 |
| <b>Figura 49.</b> <i>Con el pirómetro se comprobó la temperatura del agua hirviendo</i> ....   | 137 |
| <b>Figura 50.</b> <i>Mcs. Héctor Pérez, comprobando la temperatura en el ensayo de curado acelerado.</i> .....   | 137 |
| <b>Figura 51.</b> <i>Con el pirómetro calculamos la temperatura del espécimen al momento de sacarla de la máquina de curado acelerado</i> .....                          | 138 |
| <b>Figura 52.</b> <i>Especímenes luego de haber sido sacados de la máquina de curado acelerado del método B de la NTP 339.213.</i> .....                                 | 138 |
| <b>Figura 53.</b> <i>Rotura de espécimen de concreto, ensayo a compresión axial</i> .....  | 139 |
| <b>Figura 54.</b> <i>Modo de falla del espécimen de concreto.</i> .....  | 139 |
| <b>Figura 55.</b> <i>Espécimen luego de haber sido ensayado</i> .....  | 140 |

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

El curado es el proceso que consiste en mantener húmedo el concreto después de su colocación, que permite la reacción química entre el cemento y el agua denominado proceso de hidratación del cemento. Si el concreto se seca de forma muy rápida se produce rajaduras superficiales y además se impide alcanzar la resistencia especificada. En el presente trabajo de tesis se recopila la información relevante disponible actualmente sobre este tema, para que, a través de un estudio experimental se determine la influencia del curado acelerado del concreto si son iguales o superiores a los resultados de la influencia del curado estándar.

Esto es particularmente importante en una época, como la actual, donde **el tiempo** es uno de los recursos más valiosos, además el interés de lograr un curado acelerado y por ende obtener resultados más rápidos en los ensayos a resistencia de comprensión axial. Los estudiantes y tesisistas de pre y posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca y la sociedad en general, ensayan sus especímenes a compresión que tardan 28 días, con el método estándar, y mínimamente 7 días. Este periodo de tiempo es muy alto, por ello se busca utilizar otros métodos de curado para optimizar el tiempo para lograr la resistencia a la compresión axial a la cual ha sido diseñada. Para el presente trabajo de tesis se obtiene una óptima resistencia a compresión con el método de curado acelerado denominado método del agua hervida, según la Norma Técnica Peruana 339.213.

El conocimiento disponible actualmente sobre experiencias e implementación de la norma NTP 339.213, tanto en el Perú como en el extranjero no es muy extensa, por tal motivo en la presente tesis se amplia y consolida el conocimiento y las dificultades técnicas que se presenta al implementar una máquina de curado acelerado.

La Norma Técnica Peruana 339.213 Método normalizado para la elaboración, curado acelerado y compresión de especímenes de concreto, establece cuatro (04) procedimientos para elaborar, curar y ensayar especímenes de concreto almacenados bajo condiciones que aceleran el desarrollo de su resistencia. Uno de los procedimientos es el Método del agua hervida, el cual fue utilizado para conocer la correlación entre las resistencias a compresión axial entre los especímenes sometidos a un curado acelerado y los sometidos a los 28 días con un curado estándar. Para esto se elaboraron probetas estándar (6"x12") con la misma relación a/c agua-cemento, posteriormente a estas probetas cilíndricas, se les aplicó carga axial, y se las ensayo hasta la rotura.

Actualmente en la construcción, se evidencia, que el ritmo de colocación de concreto ha aumentado y para un buen control de calidad se requieren una cantidad de especímenes ya sea por día, volumen o área en las cuales se utiliza concreto. Por ejemplo, edificios que tiempo atrás, demoraban años en completarse ahora se realizan solo en cuestión de meses, esto genera que esperar roturas a los 28 días e incluso 7 días para verificar si el concreto cumple la resistencia a la compresión a la cual fue diseñada, es demasiado tiempo. Por lo dicho anteriormente es necesario un método que permita de manera temprana, obtener la resistencia que a edades mayores.

Los ensayos al concreto son el primer paso al desarrollo constructivo que marcará la pauta para un veredicto de calidad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. Durante la ejecución de proyectos, en algunos casos, este procedimiento se considera un formalismo que se hace por cumplir, pero no porque su análisis represente importancia para la ejecución de la obra. Si se le da la importancia que corresponde, esto permite tomar decisiones para optimizar desempeños y una buena ejecución de los procesos constructivos.

Es por esta razón que resulta útil someter el concreto a un curado acelerado, ya que ayuda a la obtención de los valores de resistencia a la compresión del concreto, en un menor tiempo, lo cual permite tomar

acciones de corrección y control tempranas, permitiendo optimizar el tiempo de reacción para realizar correcciones en la dosificación o diseño de mezcla.

Entonces podemos decir que la **ventaja** principal del curado acelerado es básicamente la obtención de manera rápida y confiable valores de resistencia a la compresión ( $f'c$ ) de especímenes a edad de 2 días con la misma confiabilidad que con especímenes curados con el método estándar y ensayados a los 7 y 28 días.

Además, se cuenta con experiencias del uso de curado acelerado en obras de EE. UU y Canadá con resultados satisfactorios, en el control de calidad y la predicción a resistencias a 28 días. Además, según investigaciones difundidas por el American Concrete Institute (ACI) es muy probable que en un futuro se utilicen los curados acelerados conocidos como "One Day Test" para la aprobación del concreto en obra y no esperar 28 días como sucede en la actualidad. (Lamond1983, The Aberdeen Group (1981), Meyer 1997).

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1.1. Contextualización.**

El curado del concreto son todas aquellas prácticas realizadas para asegurar la correcta evolución de sus propiedades, tales como la resistencia especificada y la durabilidad. El concreto debe mantenerse bajo condiciones de temperatura y humedad hasta lograr que la hidratación del cemento se desarrolle por completo.

Desde prácticamente hace 100 años el tema del curado del concreto ha estado en estudio. En el año 1907, la Asociación Nacional de Usuarios de Cemento (NACU) en Estados Unidos, confeccionó una guía, la cual recomendaba proteger al concreto del secado prematuro, manteniéndolo bajo ambiente húmedo por al menos 24 horas después de su colocación inicial. Cuatro años después esa Asociación pasó a ser lo que hoy se conoce como el Instituto Americano del Concreto (ACI).

A principios de los años 40 aparece la norma ACI 318, la cual incluía el tema del curado, pero recién en los años 90 el ACI publicó una norma que trataba específicamente este tema, la ACI 308-92: “Práctica estándar para el curado del hormigón”, la cual fue reemplazada por las normas que se ocupan hoy, la ACI 308R-01: “Guía para el curado del hormigón” y la ACI 308.1-98: “Especificaciones estándar para el curado del hormigón”.

### **1.1.2. Descripción del Problema.**

En las últimas décadas, en la ciudad de Cajamarca se ha producido un incremento poblacional y económico que han llevado a una notable expansión de la zona urbana. Este crecimiento urbano se observa en las construcciones de edificaciones que conlleva el uso masivo de materiales como el concreto, ladrillo y acero. De tal manera que en la actualidad casi la totalidad de edificaciones de diversas formas estructurales en la ciudad de Cajamarca utilizan para su construcción el concreto.

El concreto se utiliza mayormente como material que compone elementos estructurales, por lo tanto, tiene que cumplir con un desempeño óptimo de sus propiedades, siendo la más importante la resistencia a compresión.

En Cajamarca, en las obras de construcción para realizar el control de calidad que se realizan durante la fase de construcción, se tiene que esperar como mínimo 7 días y para tener resultados más confiables se debe esperar 28 días, usando el método de curado estándar, donde con este consigue alcanzar su máxima resistencia, siendo un problema muy grave pues estando ya iniciada cualquier obra de construcción ese periodo de tiempo es muy largo, y no se podría aplicar ningún tipo de correctivo, por lo que es sumamente necesario utilizar métodos de curado acelerado, los cuales nos permitirán obtener valores de resistencia en periodos más cortos, con una alta confiabilidad y evitar a posterior cualquier tipo de falla referente a la resistencia a compresión axial.

Asimismo, Independiente del método utilizado para almacenar agua dentro del hormigón, el mecanismo de liberación de ella es básicamente el mismo. Weber y Reinhardt (1997) y Holm et al., (2003) explicaron que a medida que la hidratación del cemento procede, un sistema de

porosidad capilar se forma en la pasta de cemento. El radio de estos poros y la humedad relativa al interior de ellos disminuyen a medida que más productos de hidratación se forman, llegando un cierto punto en que estos poros son capaces de absorber agua de la fuente de almacenamiento por acción capilar. A medida que más hidratación ocurre y los poros se hacen más finos dicha fuerza capilar aumenta siendo capaz de succionar más agua de la fuente. Este proceso se detiene cuando el agua de la fuente se ha agotado o cuando la totalidad del cemento se ha hidratado o si la permeabilidad de la pasta es muy baja y no permite el transporte de agua.

Por estos antecedentes expuestos, se podría inducir que los tipos de curado utilizados no hidratan adecuadamente al cemento en el proceso de curado, afectando así al desarrollo de la resistencia a compresión axial, por lo cual es necesario recomendar un nuevo tipo de curado más efectivo y analizado con materiales locales y con temperaturas reales en la ciudad de Cajamarca.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la influencia del curado acelerado del concreto para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ?

## **1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.**

El concreto curado con el método B de la NTP 339.213, tiene igual o mayor resistencia que el concreto curado con el método estándar.

### **Variable independiente (VI):**

- Curado del concreto.

### **Variable Dependiente (VD):**

- Resistencia a la compresión.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Este estudio se justifica por las razones siguientes:

Porque no existen trabajos referentes a la influencia de curados acelerados del concreto en la ciudad de Cajamarca. Porque la utilización del curado acelerado es fundamental para la obtención de concreto de buena calidad en cualquier tipo de estructura en trabajos de laboratorio o de campo. Porque la adecuada implementación y ejecución de estas actividades de curado acelerado tienen gran influencia en las propiedades del concreto, tanto en su estado plástico como en su estado endurecido, particularmente en lo que se refiere a su fraguado, estabilidad volumétrica, permeabilidad, densidad, resistencia mecánica, durabilidad y resistencia a la abrasión.

Además, porque el tiempo de obtención de los resultados para control calidad de las propiedades del concreto con el curado acelerado es muy rápido comparado con la obtención de resultado de las propiedades del concreto con el curado estándar, por ello se puede utilizar muy bien para realizar control de calidad en obras de construcción.

#### **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación se orienta hacia la comunidad científica por existir información insuficiente sobre la influencia del curado acelerado para zonas andinas, ya sea por cualquiera de los métodos y el curado normal del concreto sobre las propiedades del concreto, y también a los actores de la construcción civil como empresas de construcción, albañiles, maestros de obra, etc. de la ciudad de Cajamarca porque se orienta a determinar las ventajas y desventajas del uso del curado interno del concreto. Así mismo será tomado como fuente bibliográfica para estudiantes de Ingeniería Civil y como base para la ejecución de trabajos similares. Orientándose sus resultados para su población y contexto social.

El trabajo se realizó en el **Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca “Carlos Esparza Días”**, tomando como unidad de estudio los agregados de la cantera de propiedad del señor Edilberto Aguilar Flores, la cantera Km 94 carretera Ciudad de Dios - Cajamarca, considerada representativa y de muy buena calidad, que cumplen con el ASTM C-33. Y, el **cemento utilizado en este estudio fue el cemento Portland tipo I marca Pacasmayo**. Por ser el cemento más utilizado y es recomendado para elaborar concretos sin requerimientos especiales ni cuanta con adicionados ni puzolanas que modifican las propiedades del concreto,

En la elaboración de los tratamientos de concreto de estudio: La dosificación de materiales para las mezclas de estos concretos fueron la misma para todos los especímenes, para lo cual el porcentaje de agregado fino y grueso, la cantidad de agua y cemento fueron determinados de acuerdo a diseños de mezclas, para el cual se tomó en cuenta los porcentajes de humedad del agregado, estos diseños se calcularon después de haber estudiado las propiedades de los agregados a utilizar. El diseño de mezcla se realizó utilizando el método de Módulo de Finura de la Combinación de Agregados. Por ser el método de diseño de mezcla más utilizado en la ciudad de Cajamarca y en el Perú.

La limitación que podemos encontrar en la realización del curado acelerado es que solo se puede realizar con especímenes en laboratorio, además que se requiere cierto nivel técnico del personal, además de la elaboración e implementación de una máquina de curado acelerado que cumpla con lo requerido en la norma NTP 339.213.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. Objetivo General:**

Determinar la influencia del curado acelerado del concreto para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

### **1.6.2. Objetivos Específicos:**

- a) Determinar las características físicas y mecánicas de los agregados para el concreto.
- b) Determinar la resistencia a compresión del concreto curado por el método estándar para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  de los especímenes a edades de 7, 14 y 28 días.
- c) Determinar la resistencia a compresión del concreto curado por el método acelerado para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  de los especímenes a edades de 3.5, 7 y 12 horas.

# CAPITULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Desde prácticamente hace 100 años el tema del curado del concreto ha estado en estudio. En el año 1907, la Asociación Nacional de Usuarios de Cemento (NACU) en Estados Unidos, confeccionó una guía, la cual recomendaba proteger al concreto del secado prematuro, manteniéndolo bajo ambiente húmedo por al menos 24 horas después de su colocación inicial. Cuatro años después esa Asociación pasó a ser lo que hoy se conoce como el Instituto Americano del Concreto (ACI). FIGUEROA FAGANDINI, María F.

A principios de los años 40 aparece la norma ACI 318, la cual incluía el tema del curado, pero recién en los años 90 el ACI publicó una norma que trataba específicamente este tema, la ACI 308-92: **“Práctica estándar para el curado del hormigón”**, la cual fue reemplazada por las normas que se ocupan hoy, la ACI 308R-01: **“Guía para el curado del hormigón”** y la ACI 308.1-98: **“Especificaciones estándar para el curado del hormigón”**.

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

FIGUEROA FAGANDINI, María F. en su tesis **“Uso de un sistema de curado Intermedio en Hormigó Fresco”** (2007) - Chile, señala que, El curado exige que el hormigón se mantenga en ciertas condiciones de humedad y temperatura por un período mínimo de tiempo, el cual no siempre se respeta. En el último tiempo, en que las obras de construcción cada vez se realizan con mayor rapidez, los plazos de descimbre de los elementos de hormigón se deben reducir considerablemente. Proteger al hormigón en sus primeros días puede introducir restricciones a los tiempos de construcción y, en consecuencia, aumentar los costos correspondientes, pero a largo plazo, la falta de protección puede significar problemas mayores. Por lo tanto, es necesario, buscar una

solución que compatibilice los tiempos constructivos, los costos y la obtención de hormigones de mejor calidad.

Hay varias soluciones para el curado, las cuales difieren en eficiencia y costos. Decidir qué sistema de curado emplear en una obra debe considerar costos, tiempo disponible y, además, en qué condiciones ambientales se encontrará el hormigón, si recibirá recubrimiento, etc. La necesidad de encontrar sistemas de curado satisfactorio ha generado todo tipo de investigaciones. Diversos investigadores han estudiado los efectos del curado en distintas propiedades del hormigón; otros se han interesado en comparar los tipos de curado en términos de su eficiencia en la pérdida de agua por evaporación. En el caso de pavimentos, la pérdida de agua se relaciona con la capacidad del hormigón de exudar el agua sobrante de la mezcla, lo cual a su vez lo protege contra la evaporación debido a altas temperaturas, humedad relativa baja y vientos.

POWER, T.C., en su tesis **“A discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete”**, Proceedings, Highway Research Board, V.27, 1948, **la clave** para el desarrollo tanto de la resistencia mecánica como de las características de durabilidad del concreto, no es tanto el grado de hidratación del cemento, como el grado en que los poros entre partículas de cemento se hayan llenado con los productos de hidratación, dicho de otra manera: **la resistencia y la durabilidad dependen fundamentalmente del grado de porosidad de la matriz del concreto.**

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

RUÍZ ENERO, Patricia A. (2006), en su tesis **“Influencia de los métodos comunes de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño”** (2006) en Lima-Perú, señala que, de la investigación realizada acerca de la influencia de los métodos de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño, en resumen se ha concluido que: El curador químico, ha cumplido con su función de proteger al concreto de la pérdida de humedad, permitiendo alcanzar resistencias que oscila entre el 98% - 95% en las mezclas con aditivo

(0.8% a 2%de aditivo). Además, los valores logrados se encuentran dentro de un rango de resistencia hallado en investigaciones realizadas utilizando otros curadores (curasol, curadikret a-1, etc.)

Además también debe recalcar que con el curador químico se obtiene una ligera mejora con respecto a los demás curadores, pues se ha observado que la tendencia es de alcanzar una resistencia del 90% al 95% con respecto a la probeta patrón, siendo la ganancia de resistencia mayor para las relaciones a/c más alta, pero para el caso del curador en estudio se obtuvo porcentajes de resistencia mayores para relaciones a/c bajas (0.32, 0.31, 0.29 que corresponde para concretos con dosis de aditivo de 0.8, 1.4 y 2%)

El método de curado al ambiente cubierto, nos ha permitido encontrar que para relaciones a/c muy bajas, aparentemente no sería necesario curar el concreto ya que los valores de resistencia alcanzados (97%-99%) son cercanos a la resistencia patrón (curado húmedo), este resultado se debería a las condiciones del medio a la que estuvieron expuestas, ya que los ensayos se realizaron durante los meses de agosto, septiembre , octubre, con una temperatura que osciló entre los 18°C – 20°C y humedad relativa alta, además de estar expuestos en un ambiente con techo. Todas estas condiciones propiciaron que no existiera perdida de humedad en la probeta, y que por el contrario la humedad existente en el medio ambiente favoreció el desarrollo de la resistencia.

Además, RUÍZ ENERO, Patricia A. **recomienda** lo siguiente: **La aplicación del curador es más efectiva con el uso de rociadores mecánicos (dispositivo atomizador), ya que permite una distribución más uniforme y una mayor productividad**, aplicando el curador tan pronto como la superficie del concreto esté endureciendo y previo curado. Es necesario realizar investigaciones utilizando otros métodos de curado (utilizando coberturas humedad, como el yute, otros compuestos selladores, etc.) tanto en laboratorio como en obra, a fin de establecer su eficiencia y realizar comparaciones con respecto a los ya estudiados.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

A nivel local no se ha publicado trabajos de investigación relacionados al curado acelerado.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Norma Técnica Peruana 339.213

La Norma Técnica Peruana (NTP) 339.213:2007 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto, 1ª Edición, se encuentra incluida en el Plan de revisión y actualización de Normas Técnicas Peruanas que cumplieron 8 años de vigencia.

La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Agregados, Hormigón (Concreto), Hormigón Armado y Hormigón Pretensado, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de enero a mayo del 2007, utilizando como antecedente a la norma ASTM C 684:1999 (Reapproved 2003) Standard test method for making, accelerated curing, and testing concrete compression test specimens. Esta Norma Técnica Peruana fue tomada en su totalidad de la **ASTM C 684:1999(2003)**. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

Esta Norma Técnica Peruana establece 4 procedimientos para elaborar, curar y ensayar especímenes de concreto almacenados bajo condiciones que intentan acelerar el desarrollo de sus resistencias. Los procedimientos son: A – Método del agua caliente, B – Método del agua hervida, C – Método de curado autógeno, D – Método de alta presión y temperatura.

### 2.2.1.1. Síntesis Del Método De Ensayo

Los especímenes de concreto están expuestos a condiciones de curado acelerado que les permitan desarrollar una porción significativa de su resistencia última dentro un periodo de tiempo en el rango de 5 h a 49 h, dependiendo del procedimiento usado. En los procedimientos A y B se usan almacenes de especímenes con agua caliente a una temperatura de curado elevada sin pérdida de humedad. **La función** primaria del agua caliente moderada usada en el procedimiento A es la de su aislamiento para conservar el calor generado por la hidratación. **El nivel de temperatura empleado en el procedimiento B provee aceleración térmica.** El proceso C involucra el almacenamiento de especímenes en contenedores de curado aislado en el que la temperatura de curado elevada es obtenida del calor de hidratación del cemento. Los contenedores sellados también previenen la pérdida de humedad. El procedimiento D desarrolla una aplicación simultánea de elevada presión y temperatura al concreto usando contenedores especiales. Los procesos de muestreo y ensayo son los mismos como para un curado normal de especímenes (véase NTP 339.036 y NTP 339.034, respectivamente).

### 2.2.2. Curado Del Concreto

RUÍZ ENERO (2006), establece que los procedimientos empleados para promover la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto son el control de la temperatura y los movimientos de humedad desde y hacia el concreto, que afectan a la resistencia y durabilidad del concreto.

El curado, por un lado, se refiere a mantener al concreto en una condición que permita una hidratación continua y por el otro lado, se refiere a los procedimientos usados en obra de tal manera que se asegure que las condiciones de resistencia sean alcanzadas.

GINNERMAN y SHUMAN (1928), afirma que el curado del concreto suministra y mantiene la temperatura y humedad por un periodo de

tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación del concreto, con el fin de lograr una óptima hidratación del cemento y favorecer el desarrollo de las propiedades deseadas del concreto.

ACI 308 R, refiere que el curado del concreto, elaborado con cemento hidráulico, madura y endurece con el tiempo como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor. El cemento requiere de cierta cantidad de agua para hidratarse, en promedio 25% de la masa de cemento, sin embargo, es necesario una cantidad mayor para garantizar la disponibilidad de agua de hidratación para el cemento en un espacio saturado. Un concreto de baja relación agua/cementante, por ejemplo 0,45, tiene un 80% de agua por encima de lo requerido por el cemento para hidratarse, sin embargo, la prematura desecación del concreto puede reducir el agua en la mezcla, especialmente en elementos laminares, a niveles donde la hidratación será incompleta.

FERNÁNDEZ LUCO, en la revista INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES, con leves variantes, señala que el curado provee las condiciones adecuadas para la hidratación del cemento en hormigones y morteros; un curado eficiente es vital para la calidad del hormigón.

En términos prácticos, se debe controlar la temperatura y evitar o reducir las pérdidas de agua del hormigón en el período comprendido entre su colocación y los 14 días, aproximadamente.

#### **2.2.2.1. Hidratación del cemento portland**

Para CASTILLO LINTON (2015), en su tesis “**Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice**”, el progreso del proceso de hidratación del cemento Portland depende de: 1.-La velocidad de disolución de las fases involucradas; 2.-La velocidad de nucleación y el crecimiento de los

cristales de los hidratos a formarse; 3.-La velocidad de difusión del agua y la disolución de los iones a través del material hidratado ya formado.

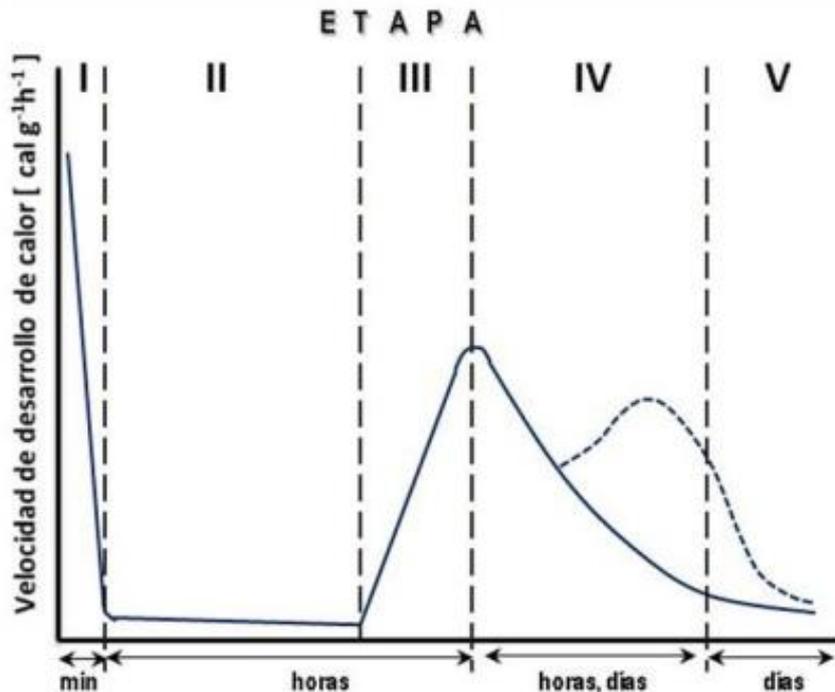
El **mecanismo de hidratación** de una pasta de cemento a temperatura ambiente se caracteriza por cinco etapas (Figura 1). La primera etapa, en los primeros minutos, periodo de pre-inducción, inmediatamente al tener contacto el cemento con el agua ocurre una rápida disolución de las especies iónicas en la fase líquida y la formación de las fases hidratadas da comienzo. En la segunda etapa, a las pocas horas, periodo de inducción o periodo durmiente, después del periodo inicial de hidratación acelerada, la velocidad de las reacciones de hidratación de todos los minerales del clinker se desarrolla a una velocidad muy baja, el consumo de agua y la cantidad de hidratos formados es mínimo, adquiriendo plasticidad y siendo trabajable durante un determinado tiempo. En la tercera etapa, periodo de aceleración entre las 3 y 12 horas después del mezclado empieza la solidificación o fraguado, la reacción de hidratación se acelera nuevamente y está controlada por la nucleación y crecimiento de los productos de hidratación. En la cuarta etapa, periodo de desaceleración, hay una continua formación de productos de hidratación, mientras el espesor de la capa sigue creciendo y el movimiento a través de la capa C-S-H determina la velocidad de la reacción y la hidratación queda controlada por la velocidad de difusión dentro de la capa. Posteriormente en la quinta etapa, la velocidad de reacción empieza a disminuir hasta alcanzar un estado estable, después de 12 a 24 horas.

A relaciones de agua/cemento altas, el proceso de hidratación continuará hasta que todo el cemento sea consumido. Sin embargo, residuos de partículas grandes de cemento pueden persistir aún en pastas endurecidas. A relaciones agua/cemento bajas, las reacciones pueden detenerse aún en presencia de grandes porcentajes de material sin reaccionar, este debido al agua insuficiente para llevar a cabo las reacciones de hidratación.

La hidratación, como otras reacciones químicas, es sensible con respecto a la temperatura. La velocidad de reacción aumenta con la temperatura. Pero la dependencia entre la velocidad y la temperatura está relacionada

con el grado de reacción. La etapa en la que la temperatura tiene más importancia es en el período de aceleración, etapa III, donde la velocidad de reacción es controlada químicamente.

**Figura 1:** Etapas de la hidratación del cemento Portland determinadas por calorimetría de conducción.



**Fuente:** Castillo Linton (2015)

#### 2.2.2.2. Consecuencias del secado prematuro.

FERNÁNDEZ LUCO, del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones en su estudio “Importancia del curado en la calidad del hormigón de recubrimiento” afirma que, cuando las condiciones no son las adecuadas para la evolución de la hidratación, ésta primero se ralentiza y luego se interrumpe. En la práctica habitual de las construcciones con hormigón, al intentar reducir el tiempo de la construcción, una ralentización de las reacciones de hidratación implicará tener que prolongar los plazos necesarios para continuar o librar la estructura al servicio mientras que su interrupción tiene efectos más severos.

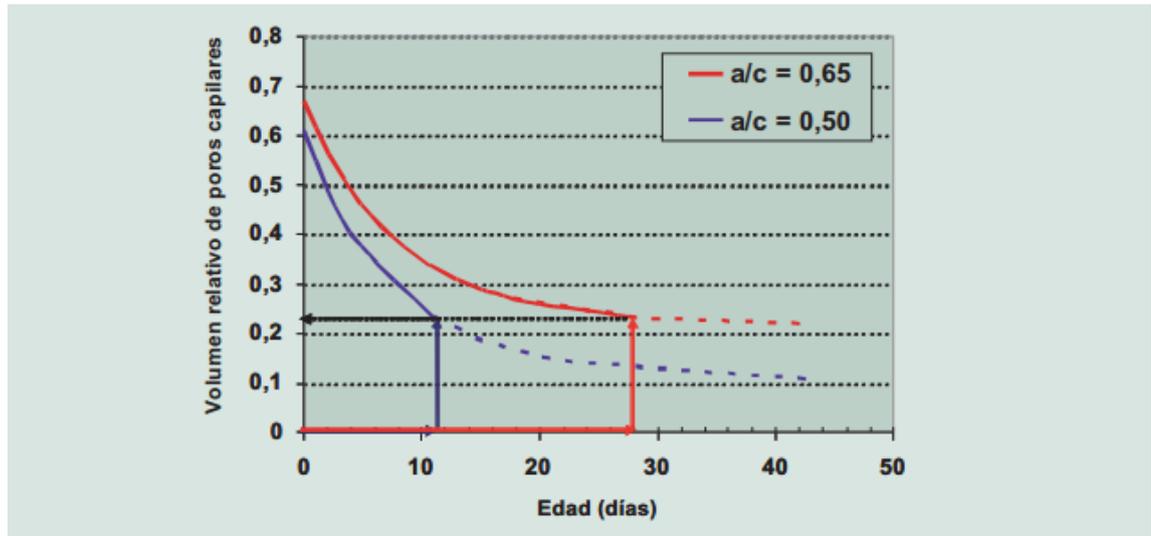
En situaciones reales, no se alcanza la hidratación completa del cemento y es posible observar partículas anhidras en hormigones que han estado

expuestos durante muchos años a la acción de la lluvia. Cuando la hidratación se detiene por falta de agua libre, las consecuencias pueden extrapolarse del modelo de Powers de la hidratación. Las características de la microestructura corresponden al avance obtenido para las reacciones de hidratación y, por lo tanto, la porosidad capilar y la conectividad de poros son mayores que las que se habrían alcanzado luego de completar las reacciones de hidratación. Por añadidura, la reducción del agua libre induce fenómenos de retracción que podrían agravar la situación.

La Figura 2 muestra que el volumen relativo de poros capilares de una pasta de relación  $a/c = 0,65$  curada hasta la edad de 28 días es la misma que la que se obtiene en una pasta de relación  $a/c = 0,50$  curada menos de 11 días.

Trasladando esto al caso de un hormigón que, de acuerdo con su composición sería capaz de satisfacer los requisitos de durabilidad y resistencia (contenido mínimo de cemento, relación  $a/c$  máxima), la interrupción temprana de la hidratación dejaría mayor porosidad que la prevista y equivaldría a haber empleado una relación  $a/c$  superior a la necesaria para satisfacer ambos requisitos, es decir, aunque las proporciones en el momento de la elaboración fuesen adecuadas, no alcanzaría las prestaciones esperables a causa del secado prematuro.

**Figura 2.** Volumen porcentual ocupado por la porosidad capilar en pastas de cemento, como función del grado de hidratación  $\alpha$ .



**Fuente:** Fernández Luco (2009)

Cualquiera que sea el motivo de la interrupción de la evolución normal de la hidratación, esta situación tiene efectos sobre la evolución de las propiedades a escala macroscópica, en particular, la resistencia y la durabilidad.

Para identificar cuál de ellas se ve más afectada por un secado prematuro (curado ineficaz), es prudente analizar brevemente los mecanismos de secado, su cinética y la distribución de la zona afectada.

### 2.2.2.3. Duración del curado

Sika Informaciones Técnicas ISSN-0122-0594 referente al curado del concreto, indica que desde hace ya varias décadas se aconsejaba que a un concreto de resistencia normal (21 a 35 Mpa a 28 días) se le diera un tiempo mínimo de curado 7 días, en cierta forma coincidiendo con la especificación actual, que **un concreto de resistencia normal debe curarse hasta que complete el 70% de la resistencia a compresión especificada**. Para un concreto de alta resistencia inicial especifica que debe curarse 3 días y coincidiendo con la obtención para este tipo de concreto del 70% de resistencia a compresión.

Sin embargo, estas especificaciones parten de la convicción de que, en las condiciones de obra, la estructura curada como se especifica completará la hidratación del cemento y se alcanzará la resistencia especificada a los 28 días.

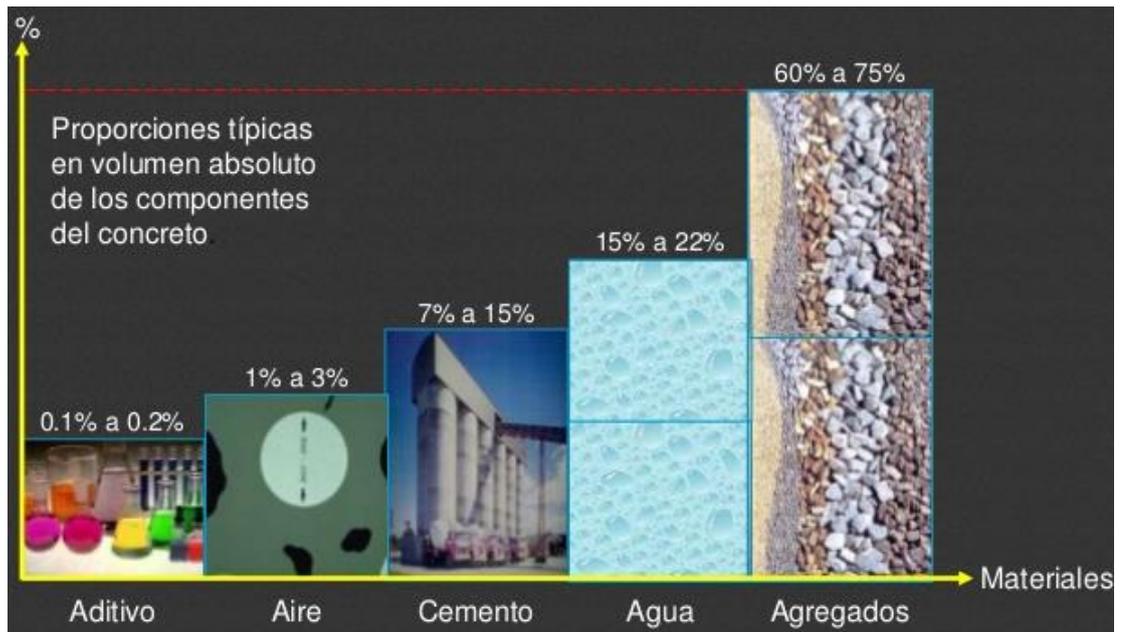
### **2.2.3. Concreto**

Según De La Cruz y Quispe 2014, el concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo. Su producción, aparentemente muy simple y aunque fundamentalmente basta mezclar un producto cementante, agregados y agua, es realmente muy complejo su comportamiento para la gran variedad de agregados y de productos cementantes hidráulicos disponibles. (Rivera y Rivera 2005).

Según Ottazzi (2004). El Concreto es un material compuesto constituido por un material cementante, agua y agregado. El cemento, una vez hidratado genera la adhesión química entre los componentes. La figura 3, detalla las proporciones normales de los materiales integrantes del concreto, por lo general los agregados representan entre el 60 al 75% del volumen total del concreto, el cemento de 7 a 15%, el agua de 15 a 22% y el aire atrapado entre 1 al 3%, eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo, representando pequeñas proporciones del orden del 0.1 al 0.2%.

**Figura 3:** Proporciones en volumen absoluto de los componentes del concreto.



Fuente: Ottazzi (2004).

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

El concreto tiene una alta resistencia en compresión, pero su resistencia en tracción es baja, de hecho, en los cálculos se suele despreciar la resistencia en tracción.

#### 2.2.4. Resistencia a compresión del concreto

La principal propiedad, la resistencia a la compresión) se utiliza generalmente como indicador de la calidad del concreto, hasta los años 70's estaba limitada dado que el principal factor, la relación entre el agua y el cemento estaba limitada a 0.45 por falta de fluidez para fabricar el concreto, los diseños estructurales tradicionales se orientaban a

dimensionar por resistencia; hasta que aparecieron los aditivos superplastificantes, revolucionando así la Tecnología del Concreto pudiendo lograrse concretos de alto comportamiento muy fluidos y resistentes y a su vez logrando que el concreto haya llegado a desplazar al acero en la construcción de edificios altos y en puentes. (Rivera y Rivera 2005).

La resistencia a la compresión se determina a partir de ensayos de laboratorio en probetas estándar cargadas axialmente, este ensayo se utiliza para monitorear la resistencia del concreto tanto para el control de la calidad como para la aceptación del concreto elaborado de los diversos proyectos que incluyan concreto. La confección de las probetas y el ensayo están regulada por la Norma (NTP 339.034).

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga.

Los cilindros para pruebas de aceptación deben de tener un tamaño de 6" x 12" (150 x 300 mm).

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga, generalmente los cilindros se cabecean con mortero de azufre (ASTM C-617) o con almohadillas de neopreno (ASTM C-1231).

El diámetro del cilindro se debe medir en dos sitios en ángulos rectos entre sí a media altura de la probeta y debe promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medios difieren en más de 2% no se debe someter a prueba el cilindro.

Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más de 0.5% y los extremos deben hallarse planos dentro de un margen de 0.002"(0.05mm).

Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con maquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35 Mpa/s durante la última mitad de la fase de carga. Se debe anotar el tipo de ruptura la fractura cónica es un patrón común de ruptura.

En la prueba de resistencia a la compresión se debe anotar la fecha en que se recibieron las probetas en el laboratorio, la fecha de la prueba, identificación de la probeta, diámetro del cilindro, la edad de los cilindros de prueba, la máxima carga aplicada, el tipo de fractura y todo defecto que presenten los cilindros.

La carga debe de ser aplicada en forma continua, para maquinas operadas hidráulicamente la velocidad de carga estará en el rango de 0.14 a 0.34 Mpa/s se aplicará la velocidad de carga continua y constante desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta.

### **2.2.5. Cemento Portland Pacasmayo tipo I**

El cemento Portland Pacasmayo tipo I cumple con las normas ASTM C-150, NTP334.

El cemento portland, como aglomerante hidráulico, producido mediante la pulverización del Clinker, está compuesto esencialmente de silicato de calcio hidráulico y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio. Con una adición de yeso u otro material durante la molienda (Clinker + Yeso + Caliza (máx. 5%)).

Castillo Linton (2015), denomina “cementante” a aquella sustancia adhesiva que es capaz de unir fragmentos o masas de materiales y conjuntarlos en un “todo”. Según Ramón (2014). El cemento es un conglomerante hidráulico, material artificial de naturaleza inorgánica y minera, que finalmente molidos y convenientemente amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire libre como debajo del agua.

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son los indicados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Componentes principales del cemento.

|            | <b>Componente Químico</b>                           | <b>Procedencia Usual</b>            |
|------------|---|-------------------------------------|
| <b>95%</b> | Óxido de calcio (CaO)                               | Rocas Calizas                       |
|            | Óxido de Sílice (SiO <sub>2</sub> )                 | Areniscas                           |
|            | Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | Areniscas                           |
|            | Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )   | Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita |
| <b>5%</b>  | Óxidos de Magnesio, Sodio                           | Minerales Varios                    |
|            | Potasio, Titanio, Azufre,                           |                                     |
|            | Fósforo y Manganeso                                 |                                     |

Fuente: Pasquel, 1998

El Tipo I es un cemento común, para usos generales, el que más se emplea para fines estructurales.

### 2.2.6. Agregados para concreto

Llamados también áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros. Viene a ser el conjunto de partículas provenientes de los materiales naturales o artificiales, pudiendo ser tratados o elaborados, de forma estable y cuyas dimensiones varían desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros, apropiados para la fabricación de morteros y concretos. (Adam M. Neville, 2010).

Es el conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural y artificial, cuyas dimensiones están comprendidas en los límites fijados por la norma NTP 400.011; son la fase discontinua del concreto. El concreto está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de un material conocida como agregado el cual ocupa del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa). Por su peso se clasifican en normal, liviano y pesado; por su limpieza se clasifican en sucio y limpio; y, por su granulometría en agregado fino, agregado grueso, o agregado integral también conocido como hormigón.

La calidad del agregado es importante desde que aproximadamente  $\frac{3}{4}$  partes del volumen de concreto es ocupada por éste (Rivva 2007). Generalmente se entiende por agregado a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario, representan entre el 70% y 80% de la masa del concreto. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones (Ruíz Enero, 2006).

Los agregados se clasifican en agregado fino, agregado grueso y hormigón, conocido este último como agregado integral.

El agregado fino es 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, como el producto resultante de la desintegración natural de las rocas.

El agregado grueso es aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, se clasifica en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso proveniente de la disgregación y abrasión natural de materiales pétreos y se ubica 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.

El hormigón o agregado integral es el 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).

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.

### 2.2.6.1. Características de los agregados para concreto

#### A. Agregado fino

La NTP 400.011 define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200); además de cumplir con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C – 33.

El contenido de agregado fino normalmente del 35% al 45% por masa o volumen total del agregado. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes.

La granulometría seleccionada deberá ser perfectamente continua con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, de la serie de Tyler.

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

**Tabla 2:** Límites granulométricos del agregado fino.

| MALLA   | %QUE PASA |
|---------|-----------|
| (3/8")  | 100       |
| (N°4)   | 95-100    |
| (N°8)   | 80-100    |
| (N°16)  | 50-85     |
| ( N°30) | 25-60     |
| (N°50)  | 10-30     |
| (N°100) | 2-10      |

Fuente: NTP 400.037 (2014) - ASTM C 33.

- El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica de acuerdo a los requisitos de la NTP 400.013.

La granulometría deberá corresponder a la gradación C.

**Tabla 3:** Husos granulométricos del agregado fino

| Tamiz   | Porcentaje de peso que pasa |          |          |          |
|---------|-----------------------------|----------|----------|----------|
|         | Límites totales             | *C       | M        | F        |
| (3/8")  | 100                         | 100      | 100      | 100      |
| (N°4)   | 89 - 100                    | 95 - 100 | 89 - 100 | 89 - 100 |
| (N°8)   | 65 - 100                    | 80 - 100 | 65 - 100 | 80 - 100 |
| (N°16)  | 45 - 100                    | 50 - 85  | 45 - 100 | 70 - 100 |
| (N°30)  | 25 - 100                    | 25 - 60  | 25 - 80  | 55 - 100 |
| (N°50)  | 5 - 70                      | 10 - 30  | 5 - 48   | 5 - 70   |
| (N°100) | 0 - 12                      | 2 - 10   | 0 - 12*  | 0 - 12   |

Fuente: NTP 400.037- ASTM C 33. \* Incrementar a 5% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos

### **b. Agregado grueso**

La NTP 400.011 define como agregado grueso al material retenido en el tamiz N°4(4.75mm) y cumple los límites establecidos por la NTP 400.037. El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida o agregados metálicos naturales o artificiales y deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.

Las partículas deberán de ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

Es recomendable tener en consideración lo siguiente: según la NTP 400.037 o la norma ASTM C-33.

- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de 1/4".

El agregado grueso deberá de estar graduado dentro de los límites específicos de la NTP 400.037.

**Tabla 4:** Usos granulométricos del agregado grueso.

| Nº  | TMN           | % QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS |      |     |      |     |      |     |     |    |      |      |      |       |
|-----|---------------|---|------|-----|------|-----|------|-----|-----|----|------|------|------|-------|
|     |               | 4"                                      | 3.5" | 3"  | 2.5" | 2"  | 1.5" | 1"  | ¾"  | ½" | 3/8" | Nº 4 | Nº 8 | Nº 16 |
| 1   | 3½" a<br>1½"  | 10                                      | 90   |     | 25   |     | 0    |     | 0   |    |      |      |      |       |
|     |               | 0                                       | 100  |     | 60   |     | 15   |     | 5   |    |      |      |      |       |
| 2   | 2½" a<br>1½"  |   |      | 100 | 90   | 35  | 0    |     | 0   |    |      |      |      |       |
|     |               |   |      |     | 100  | 70  | 15   |     | 5   |    |      |      |      |       |
| 3   | 2" a<br>1"    |   |      |     | 100  | 90  | 35   | 0   |     | 0  |      |      |      |       |
|     |               |   |      |     |      | 100 | 70   | 15  |     | 5  |      |      |      |       |
| 357 | 2" a<br>Nº4   |   |      |     | 100  | 95  |      | 35  |     | 10 |      | 0    |      |       |
|     |               |   |      |     |      | 100 |      | 70  |     | 30 |      | 5    |      |       |
| 4   | 1½" a<br>¾"   |   |      |     | 100  |     | 90   | 20  | 0   |    | 0    |      |      |       |
|     |               |   |      |     |      |     | 100  | 55  | 15  |    | 5    |      |      |       |
| 467 | 1½" a<br>Nº4  |   |      |     | 100  |     | 95   |     | 35  |    | 10   | 0    |      |       |
|     |               |   |      |     |      |     | 100  |     | 70  |    | 30   | 5    |      |       |
| 5   | 1" a<br>½"    |   |      |     |      |     | 100  | 90  | 20  | 0  | 0    |      |      |       |
|     |               |   |      |     |      |     |      | 100 | 55  | 10 | 5    |      |      |       |
| 56  | 1" a<br>3/8"  |   |      |     |      |     | 100  | 90  | 40  | 10 | 0    | 0    |      |       |
|     |               |   |      |     |      |     |      | 100 | 85  | 40 | 15   | 5    |      |       |
| 57  | 1" a<br>Nº4   |   |      |     |      |     | 100  | 95  |     | 25 |      | 0    | 0    |       |
|     |               |   |      |     |      |     |      | 100 |     | 60 |      | 10   | 5    |       |
| 6   | ¾" a<br>3/8"  |   |      |     |      |     | 100  |     | 90  | 20 | 0    | 0    |      |       |
|     |               |   |      |     |      |     |      |     | 10  | 55 | 15   | 5    |      |       |
| 67  | ¾" a<br>Nº4   |   |      |     |      |     |      | 100 | 90  |    | 20   | 0    | 0    |       |
|     |               |   |      |     |      |     |      |     | 100 |    | 55   | 10   | 5    |       |
| 7   | ½" a<br>Nº4   |   |      |     |      |     |      |     | 100 | 90 | 40   | 0    | 0    |       |
|     |               |   |      |     |      |     |      |     |     | 10 | 70   | 15   | 5    |       |
| 9   | 3/8" a<br>Nº8 |   |      |     |      |     |      |     | 100 |    | 85   | 10   | 0    | 0     |
|     |               |   |      |     |      |     |      |     |     |    | 10   | 30   | 10   | 5     |

Fuente: NTP 400.037 (2014) - ASTM C 33.

## 2.2.6.2. Características físicas de los agregados para concreto.

### 2.2.6.2.1 Peso específico y absorción

#### a. Peso específico

Es la relación de la masa en el aire de un volumen unitario del material, a la masa en el aire (de igual densidad) de un volumen igual de agua libre de gas, a una temperatura especificada. Cuando el material es sólido se considera un volumen de la porción impermeable. NTP 400.021 (2011).

## b. Absorción

Capacidad que tiene los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, al ser sumergirlos durante 24 horas en esta. La relación del incremento en peso de una muestra seca, expresada en porcentaje, se denomina porcentaje de absorción. Esta particularidad de los agregados, que depende de la porosidad, es de suma importancia para realizar correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto. NTP 400.021 (2011).

### 2.2.6.2.2. Análisis granulométrico

Es el estudio en forma y tamaño en que se encuentran distribuidas las partículas de un agregado. La cantidad de material se considerará de acuerdo a la NTP 400.012, 300g, para el agregado fino y para el grueso de acuerdo a la tabla.

**Tabla 5:** Cantidad de muestra a ensayar para el agregado grueso para análisis granulométrico.

| Tamaño máximo de las partículas | Peso aproximado de la muestra(Kg) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 3/8"                            | 1.00                              |
| 1/2"                            | 2.00                              |
| 3/4"                            | 5.00                              |
| 1"                              | 10.00                             |
| 1 1/2"                          | 15.00                             |
| 2"                              | 20.00                             |
| 2 1/2"                          | 35.00                             |
| 3"                              | 60.00                             |
| 3 1/2"                          | 100.00                            |

Fuente: NTP 400.012 (2013).

#### 2.2.6.2.2.1 Módulo de finura

Es el indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas en un agregado así mismo el módulo de finura puede considerarse como un tamaño promedio ponderado, pero que representa la distribución de las partículas. Es preciso mencionar que el módulo de finura está en relación inversa tanto a las áreas superficiales como al valor lubricante del agregado; por lo que la demanda de agua por área superficial será menor mientras mayor sea el módulo de finura. NTP 400.01 (2008).

#### **2.2.6.2.2.2 Tamaño máximo y tamaño máximo nominal del agregado**

**a. Tamaño máximo.** Esta dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15 %, o más del agregado tamizado. NTP 400.01 (2008).

**b. Tamaño máximo nominal**

Se define como el tamiz más pequeño que produce el primer retenido. NTP 400.01 (2008).

#### **2.2.6.2.3. Peso unitario**

Se lo define como el peso del material seco que se necesita para llenar cierto recipiente de volumen unitario. También se le denomina peso volumétrico y se emplea en la conversión de cantidades en peso a cantidades en volumen y viceversa

El peso unitario de los agregados está en función directa del tamaño, forma y distribución de las partículas, y el grado de compactación (suelto o compacto). NTP 400.017 (2011).

#### **2.2.6.2.4. Contenido de humedad**

Es la cantidad de agua que contiene el agregado en un momento dado, el contenido de humedad es una de las propiedades físicas del agregado que no se encuentra limitada en especificaciones, sin embargo, podemos manifestar, que, en los agregados finos, el contenido de humedad puede llegar a representar un 8% a más, mientras que en el agregado grueso dicho contenido de humedad, puede representar un 4%. NTP 339.185 (2013).

#### **2.2.6.2.5. Resistencia a la abrasión**

Oposición que presentan los agregados sometidos a fuerzas de impacto y al desgaste por abrasión y frotamiento, ya sea de carácter mecánico o hidráulico. Se mide en función inversa al incremento del material fino; y cuando la pérdida de peso se expresa en porcentaje de la muestra original se le denomina porcentaje de desgaste.

Existen diferentes métodos para medir los efectos de abrasión, pero actualmente el más usado es el de la prueba de los ángeles, por la rapidez con que se efectúa y porque se puede aplicar a cualquier tipo de agregado.

En los agregados gruesos, ensayados al desgaste según el método (NTP 400.019 y NTP 400.020), se aceptará una pérdida no mayor del 50% del peso original.

**Tabla 6:** Carga abrasiva y peso de la muestra para abrasión.

| Gradación | Nº de esferas | Peso de la carga(gr) |
|-----------|---------------|----------------------|
| A         | 12            | 5000±25              |
| B         | 11            | 4584±25              |
| C         | 08            | 3330±20              |
| D         | 06            | 2500±15              |

Fuente: NTP 400.019 (2013).

#### 2.2.6.2.6. Material más fino que el tamiz N°200

Son elementos perjudiciales que cuando se hallan presentes en los agregados, disminuyen las propiedades fundamentales del concreto, tanto en la elaboración como en su comportamiento posterior, la cantidad de material necesario se expresa en la siguiente tabla.

**Tabla N°07:** Cantidad de material necesario para el ensayo de material más fino que el tamiz N°200.

| Tamaño Nominal Máximo (mm.) | Peso mínimo (gr.) |
|-----------------------------|-------------------|
| 2.38                        | 100               |
| 4.76                        | 500               |
| 9.51                        | 2000              |
| 19                          | 2500              |
| > 31.1                      | 5000              |

Fuente: NTP 400.018 (2013).

#### 2.2.7. Agua para mezclas de concreto.

El agua en la elaboración del concreto debe de ser apta para el consumo humano libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. NTP 339.088 (2014).

### **2.2.7.1. Agua de mezclado.**

El agua de mezclado deberá de desarrollar funciones como:

- Reaccionar con el cemento, produciendo su hidratación
- Actuar como un lubricante, contribuyendo a la trabajabilidad de la mezcla.
- Asegurar el espacio necesario en la pasta, para el desarrollo de los productos de hidratación. La hidratación completa del cemento requiere del 22-25%, del agua de mezclado. NTP 339.088 (2014).

### **2.2.7.2. Agua de curado.**

El agua de curado no debe contener sustancias agresivas para el concreto endurecido o las armaduras, ya que durante las primeras edades el concreto es sumamente permeable; no emplear agua con elevados contenidos de cloruros en caso de estructuras armadas, evitar sustancias que puedan provocar decoloraciones o manchas superficiales y mantener reducida la diferencia de temperatura entre el agua de curado y el concreto para evitar la aparición de fisuras.

El agua de curado tiene por objeto mantener el concreto saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento permitiendo el incremento de la resistencia NTP 339.088 (2014).

## **2.2.8. Teoría del Diseño de mezclas**

### **2.2.8.1. Generalidades**

Según Rivva (2007), se conoce como diseño de mezcla a la determinación de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, el diseño de mezclas puede definirse también como el proceso de selección de los componentes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuada y que en el estado endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador e indicados en los planos y especificaciones de obra.

En la selección de las proporciones de las mezclas de concreto el diseñador debe de tener en cuenta que la composición de la mezcla está determinada por:

- 1.-Las propiedades que debe de tener el concreto no endurecido.
- 2.-Las propiedades que debe de tener el concreto endurecido.
- 3.-El costo de la unidad cúbica de concreto.

### 2.2.8.2. Elección de la resistencia promedio

Si no se cuenta con registros estadísticos, se utilizará la siguiente para la determinación de la resistencia promedio requerida.

**Tabla 8:** Grado de control.

| Excelente en obra | 10% - 12% |
|-------------------|-----------|
| Bueno             | 15%       |
| Regular           | 18%       |
| Inferior          | 20%       |
| Malo              | 25%       |

Fuente: Rivva (2007).

### 2.2.8.3. Elección del asentamiento (Slump).

Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla.

**Tabla 9:** Consistencia y Asentamiento.

| Consistencia | Asentamiento              | Trabajabilidad  |
|--------------|---------------------------|-----------------|
| Seca         | 0" (0mm) a 2"<br>(50mm)   | Poco trabajable |
| Plástica     | 3" (75mm) a 4"<br>(100mm) | Trabajable      |
| Húmeda       | ≥5" (125mm)               | Muy trabajable  |

Fuente: Rivva (2007).

➤ Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requerido para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla siguiente, podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberá usar las mezclas de la consistencia más densas que pueden ser colocadas eficientemente.

**Tabla N°10.** Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

| Tipos de construcción                             | Revenimiento (cm) |        |
|---|-------------------|--------|
|   | Máximo            | Mínimo |
| Zapatas y muros de sedimentación reforzados       | 8                 | 2      |
| Zapatas, simples cajones y muros de subestructura | 8                 | 2      |
| Vigas y muros reforzados                          | 10                | 2      |
| Columnas  | 10                | 2      |
| Pavimentos y losas                                | 8                 | 2      |
| Concreto ciclópeo y masivo                        | 5                 | 2      |

Fuente: ACI 211

#### 2.2.8.4. Selección de tamaño máximo del agregado.

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

**Tabla 11.** Porcentaje que pasan por las siguientes mallas para determinación del tamaño máximo del agregado grueso.

| TMN    | Porcentajes que pasan por las siguientes mallas |        |        |        |        |        |       |      |
|--------|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
|        | 2"  | 1 1/2" | 1"     | 3/4"   | 1/2"   | 3/8"   | N°4   | N°8  |
| 2"     | 95-100  | ...    | 35-70  | ...    | 10-30  | ...    | 0.5   | ...  |
| 1 1/2" | 100   | 95-100 | ...    | 35-70  | ...    | 10-30  | 0.5   | ...  |
| 1"     | ...   | 100    | 95-100 | ...    | 25-60  | ...    | 0.10  | 0.5  |
| 3/4"   | ...   | ...    | 100    | 90-100 | ...    | 20-55  | 0.10  | 0.5  |
| 1/2"   | ...   | ...    | ...    | 100    | 90-100 | 40-70  | 0.15  | 0.5  |
| 3/8"   | ...   | ...    | ...    | ...    | 100    | 85-100 | 10-30 | 0.10 |

Fuente: ACI 211

#### 2.2.8.5. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

El comité 211 del ACI, proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos elaborados con diferentes tamaños máximos de agregados con o sin aire incorporado.

**Tabla 12:** Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

| Asentamiento  | Agua, en L/m <sup>3</sup> , para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia indicados |      |      |     |        |     |     |      |
|---|---|------|------|-----|--------|-----|-----|------|
|   | 3/8"  | 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 | 11   |
| 3" a 4"   | 228   | 216  | 205  | 193 | 181    | 169 | 145 | 124  |
| 6" a 7"   | 243   | 228  | 216  | 202 | 190    | 178 | 160 | ---- |
| Cont. Aire atrapado (%)                                   | 3   | 2.5  | 2    | 1.5 | 1      | 0.5 | 0.3 | 0.2  |
| <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 | ---- |
| Promedio recomendable para el contenido total de aire (%) | 8   | 7    | 6    | 5   | 4.5    | 4   | 3.5 | 3    |

Fuente: ACI 211 y ACI 318

Como se observa en la tabla anterior no se toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Se puede usar la siguiente tabla para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo.

**Tabla N°13:** Volumen unitario de agua de mezclado, para asentamientos y tamaño máximo nominal.

| TMN    | Volumen unitario de agua (lt/m <sup>3</sup> ); para asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados. |                  |                     |                  |                     |                  |
|--------|--|------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|
|        | 1" a 2"  |                  | 3" a 4"             |                  | 6" a 7"             |                  |
|        | Agregado redondeado  | Agregado angular | Agregado redondeado | Agregado angular | Agregado redondeado | Agregado angular |
| 3/8"   | 185  | 212              | 201                 | 227              | 230                 | 250              |
| 1/2"   | 182  | 201              | 197                 | 216              | 219                 | 238              |
| 3/4"   | 170  | 189              | 185                 | 204              | 208                 | 227              |
| 1"     | 163  | 182              | 178                 | 197              | 197                 | 216              |
| 1 1/2" | 155  | 170              | 170                 | 185              | 185                 | 204              |
| 2"     | 148  | 163              | 163                 | 178              | 178                 | 197              |
| 3"     | 136  | 151              | 151                 | 167              | 163                 | 182              |

Fuente: Rivva (2007).

Los valores de la tabla N°13 corresponden a mezclas sin aire incorporado, para la elección del aire atrapado se tomará de la Tabla N°14.

**Tabla 14.** Determinación del aire atrapado según el tamaño máximo nominal.

| Tamaño máximo nominal | Aire atrapado |
|-----------------------|---------------|
| 3/8"                  | 3.0%          |
| 1/2"                  | 2.5%          |
| 3/4"                  | 2.0%          |
| 1"                    | 1.5%          |
| 1 1/2"                | 1.0%          |
| 2"                    | 0.5%          |
| 3"                    | 0.3%          |

Fuente: Rivva, E. (2007).

#### 2.2.8.6. Elección de la relación agua cemento (a/c).

Existen dos criterios (por resistencia y por durabilidad), para la selección de la relación agua cemento a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores con el cual se garantiza el cumplimiento de las especificaciones.

Es importante que la relación agua cemento a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

#### a. Por resistencia

Para concretos preparados con Cemento Portland, puede tomarse la relación a/c de la tabla N°15 o 16.

**Tabla N°15.** Relación agua /cemento y resistencia a la compresión del concreto.

| Resistencia a la compresión a los 28 días $f'_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Relación agua / cemento de diseño en peso |                      |
|---|---|----------------------|
|   | Sin aire incorporado                      | Con aire incorporado |
| 450   | 0.38                                      | ...                  |
| 400   | 0.43                                      | ...                  |
| 350   | 0.48                                      | 0.40                 |
| 300   | 0.55                                      | 0.46                 |
| 250   | 0.62                                      | 0.53                 |
| 200   | 0.70                                      | 0.61                 |
| 150   | 0.80                                      | 0.71                 |

Fuente: Rivva (2007).

**Tabla 16.** Relación agua /cemento y resistencia a la compresión del concreto.

| Relación agua / cemento | Resistencia probable a los 28 días ( $f'_{cr}$ ) |                      |
|-------------------------|--|----------------------|
|                         | Sin aire incorporado                             | Con aire incorporado |
| 0.35                    | 420  | 335                  |
| 0.45                    | 350  | 280                  |
| 0.54                    | 280  | 225                  |
| 0.63                    | 225  | 180                  |
| 0.71                    | 175  | 140                  |
| 0.80                    | 140  | 110                  |

Fuente: Rivva (2007).

### 2.2.8.7. Cálculo del contenido de cemento.

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua entre la relación a/c. Sin embargo, es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio.

$$\text{contenido de cemento(kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de agua de mezcla(L/m}^3\text{)}}{\text{relacion a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{volumen de cemento(m}^3\text{)} = \frac{\text{contenido de cemento(kg)}}{\text{peso especifico del cemento(kg/m}^3\text{)}}$$

### 2.2.8.8. Estimación del contenido de agregado grueso y fino.

#### 2.2.8.8.1. Método del módulo de finura de la combinación de agregados.

Las investigaciones realizadas en la universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso cuando estos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que se establece la norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias y se aproxime a los valores indicados en la tabla N°17.

**Tabla 17:** Módulo de finura de la combinación de agregados

| TMN    | Módulo de finura de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos / metro cúbico indicados |      |      |      |      |
|--------|---|------|------|------|------|
|        | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 3/8"   | 3.88  | 3.96 | 4.04 | 4.11 | 4.19 |
| 1/2"   | 4.38  | 4.46 | 4.54 | 4.61 | 4.69 |
| 3/4"   | 4.88  | 4.96 | 5.04 | 5.11 | 5.19 |
| 1"     | 5.18  | 5.26 | 5.34 | 5.41 | 5.49 |
| 1 1/2" | 5.48  | 5.56 | 5.64 | 5.71 | 5.79 |
| 2"     | 5.78  | 5.86 | 5.94 | 6.01 | 6.09 |
| 3"     | 6.08  | 6.16 | 6.24 | 6.31 | 6.39 |

Fuente: Rivva (2007).

De la tabla N°17 podemos obtener el módulo de fineza de la combinación de agregados (mc), al mismo tiempo se cuenta con el módulo de fineza del agregado fino (mf) y el módulo de fineza del agregado grueso (mg), de los cuales se hará uso para obtener el porcentaje de agregado fino respecto al volumen total de los agregados mediante el uso de la siguiente formula:

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100$$

rf: porcentaje del volumen del agregado fino, con respecto al volumen total de los agregados.

mg: módulo de fineza del agregado grueso.

mf: módulo de fineza del agregado fino.

#### **2.2.8.9. Ajuste por humedad y absorción.**

El contenido de agua añadida para formar parte de la pasta será afectado por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Sin embargo, si ellos tienen humedad libre en la superficie aportarán agua a la pasta aumentando la relación agua cemento, la trabajabilidad y la resistencia a la compresión.

#### **2.2.8.10. Cálculo de las proporciones en peso**

Consiste en obtener los pesos de los componentes del concreto respecto al peso del cemento.

|   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| Cemento:  | agregado fino:  | agregado grueso   | / agua   |
| $\frac{\text{peso del cemento}}{\text{peso del cemento}}$ : | $\frac{\text{peso del agregado fino}}{\text{peso del cemento}}$ : | $\frac{\text{peso del agregado grueso}}{\text{peso del cemento}}$ | / $\frac{\text{agua efectiva}}{\text{peso del cemento}}$ |

### 2.2.8.11. Cálculo de las proporciones en volumen.

Cemento:                      agregado fino:                      agregado grueso                      / agua  
(L/bolsa)

$$\frac{\text{volumen del cemento}}{\text{volumen del cemento}} : \frac{\text{vol. agregado fino}}{\text{volumen del cemento}} : \frac{\text{vol. agregado grueso}}{\text{volumen del cemento}} / \text{agua (L/bolsa)}$$

### 2.2.9. Prueba de ensayos.

El ensayo de aceptación se realiza para verificar cuantitativamente si el concreto cumple con lo especificado en las normas técnicas. Es importante para aquellos involucrados en la realización de ensayos que estén claros, ya que los resultados de aceptación tienen importantes implicaciones en el cronograma de ejecución de los proyectos.

#### 2.2.9.1. Descripción de materiales utilizados.

**a. Equipo menor.** Está conformado por todas las herramientas livianas utilizadas para la elaboración y ensayo de las probetas, tales como: cuchara de albañil, guantes, cinta métrica, espátulas, palas, y barra compactadora de acero cilíndrica de 1.6cm de diámetro por 60cm de longitud y punta semiesférica de 0.8cm de radio.

**b. Cono de abrams.** Construido de un material metálico rígido e inatacable por el concreto; con un espesor mínimo de 0.15cm. Su forma interna es similar a la de un cono truncado de 20cm de diámetro de base mayor, y de 10cm de diámetro de base menor y 30cm de altura. Las bases deben ser abiertas paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe ser provisto de asas y aletas para su manejo. Para este ensayo se requiere de una plancha metálica de material similar al del cono, cuyas dimensiones no están especificadas, pero se recomienda que su área sea lo suficientemente grande para cubrir la base inferior del cono; y sirve como base para el mismo e impide la pérdida de agua entre la superficie de esta y el cono.

**c. Moldes cilíndricos.** Construido de un material rígido, de superficie interior lisa, no absorbente y que no reacciona con el concreto. Provisto de una base metálica del mismo material de la pared del molde con la que se consigue un cierre hermético y provisto de asas laterales para su manejo. El molde debe tener dimensiones de: 15.24cm (6 pulgadas) de diámetro y 30.48cm (12 pulgadas) de altura.

**d. Equipos mayores.** Tenemos a la máquina de compresión, para realizar el ensayo a compresión, la maquina curadora de concreto fabricada por el tesista.

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Agregados:** Llamados también áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros.

**Agua de curado:** El agua de curado no debe contener sustancias agresivas para el concreto endurecido o las armaduras

**Análisis granulométrico:** Ensayo cuya finalidad es determinar la distribución de las partículas por tamaño presentes en una muestra de agregado.

**Calor de hidratación:** Se llama calor de hidratación al calor que se desprende durante la reacción que se produce entre el agua y el cemento al estar en contacto.

**Curado Acelerado:** Método por el cual se consigue acelerar la velocidad de hidratación del cemento que así endurece más rápidamente y alcanza una resistencia suficiente en un intervalo de tiempo mas corto.

**Concreto:** Es el material obtenido al mezclar cemento portland, agua y áridos, además en algunos casos se utiliza aditivos.

**Consistencia:** Es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado.

**Curado del Concreto:** Es la actividad por la cual se suministra y mantiene la temperatura y humedad, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación del concreto, con el fin de lograr una óptima hidratación del cemento lo que favorecerá el desarrollo de las propiedades deseadas del concreto.

**Resistencia a la abrasión:** Se define como la resistencia que ofrece el material bajo condiciones de desgaste.

**Resistencia a compresión:** Resistencia máxima que una probeta de concreto o mortero puede resistir cuando es cargada axialmente en compresión en una máquina de ensayo a una velocidad especificada.

# CAPITULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

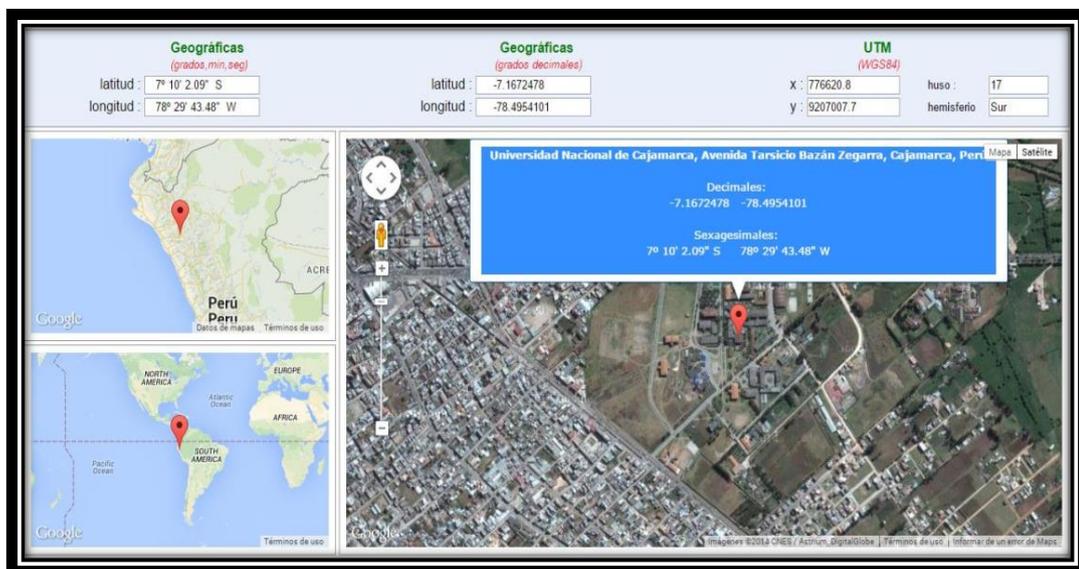
### 3.1. TOMA DE MUESTRA.

La toma de muestras de los agregados 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, para luego curarlos por dos métodos de curado: el estándar y el acelerado.

### 3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.

La investigación se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la facultad de Ingeniería de La Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N° 1050, entre los meses de mayo del 2017 a enero del 2018, con nueve (09) meses consecutivos.

**Figura 4.** Fotografía satelital de la ubicación del estudio.



Fuente: imágenes Google Earth

### **3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **3.3.1. Tipo De La Investigación**

El tipo de investigación fue experimental con un grupo de control GC y dos grupos experimentales GE1 y GE2.

#### **3.3.2. Nivel De La Investigación**

La investigación es de nivel descriptivo en su primera parte luego explicativo y finalmente comparativo.

#### **3.3.3. Método De La Investigación**

Se empleará el método descriptivo, inductivo, deductivo, etc.

#### **3.3.4. Población De Estudio**

Especímenes de concretos curados por el método estándar y método acelerado.

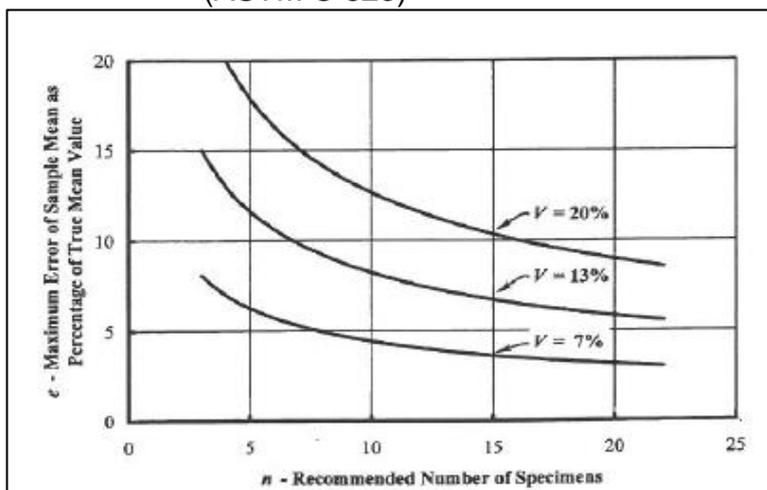
#### **3.3.5. Muestra**

La muestra establecida fue de 90 especímenes de concreto, 30 para el grupo de control GC, 30 para el primer grupo experimental GE1 y 30 para el segundo grupo experimental GE2.

#### **3.3.6. Unidad De Análisis**

La unidad de análisis fueron los especímenes de concreto de la muestra, según **ACI 318.08** un ensayo para control de calidad de la resistencia a la compresión del concreto, corresponde al promedio de la resistencia de tres probetas como mínimo.

**Figura 5:** Número de probetas en función del error máximo  $\epsilon$ , (ASTM C 823)



Fuente: Martínez (2012).

De la figura se anterior se puede deducir que considerando un error de 5% y un coeficiente de variación de 7%, valores que según la autora son aceptables en control de calidad de concreto el número de especímenes el número de especímenes a considerar será 07, por cada grupo sin embargo buscando obtener mayor confiabilidad se consideró 10.

**Tabla 18:** Tamaño de la muestra de la investigación.

| DESCRIPCIÓN      | Tamaño de la muestra (Numero de especímenes) |       |         |                 |         |         |
|------------------|--|-------|---------|-----------------|---------|---------|
|                  | Curado Acelerado                             |       |         | Curado Estándar |         |         |
|                  | 3.5 hrs.                                     | 7hrs. | 12 hrs. | 7 días          | 14 días | 28 días |
| GC               | -  | -     | -       | 10              | 10      | 10      |
| GE1(2h±10min)    | 10   | 10    | 10      | -               | -       | -       |
| GE2(7h a más)    | 10   | 10    | 10      | -               | -       | -       |
| Parcial x tiempo | 20   | 20    | 20      | 10              | 10      | 10      |
| Parcial x Curado | 60 especímenes                               |       |         | 30 especímenes  |         |         |
| TOTAL            | 90 especímenes                               |       |         |                 |         |         |

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

La técnica de recolección de datos empleada para la presente investigación fue la observación en el laboratorio de ensayo de materiales “Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Los instrumentos utilizados para el acopio de datos fueron: la balanza para medir el peso del espécimen de concreto, el vernier para medir las dimensiones del espécimen de concreto, el cronómetro para medir el tiempo del ensayo a compresión y el deflectómetro para medir las deformaciones al incremento de carga sobre cada espécimen de concreto y la máquina de curado acelerado de concreto.

### 3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1. Variable Independiente (VI):

Tabla 19: Operacionalización de la variable independiente

| Variable Independiente | Dimensiones | Indicadores | Escala de valores |
|------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| Curado de concreto     | Estándar    | Temperatura | °C                |
|                        |             | Tiempo      | 7 días            |
|                        |             |             | 14 días           |
|                        | 28 días     |             |                   |
|                        | Acelerado   | Temperatura | °C                |
|                        |             | Tiempo      | 3.5 horas         |
| 7 horas                |             |             |                   |
| 12 horas               |             |             |                   |

#### 3.5.2. Variable Dependiente (V.D):

Tabla 20: Operacionalización de la variable dependiente

| Variable Dependiente        | Dimensiones   | Escala de valores  |
|-----------------------------|---------------|--------------------|
| Resistencia a la compresión | Diámetro      | Cm                 |
|                             | Temperatura   | °C                 |
|                             | Carga máxima  | Kg                 |
|                             | Esfuerzo      | Kg/cm <sup>2</sup> |
|                             | Tipo de falla | entre 3 á 5        |

### **3.6. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.**

#### **3.6.1. Materiales**

- Cemento: Cementos Pacasmayo Tipo I
- Agregados: Agregado Fino, Agregado Grueso
- Agua potable.

#### **3.6.2. 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.
- Recipiente adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua para peso específico.
- Pirómetro FLUKE.
- Esferas de acero
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 1/2" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Máquina de los Ángeles.
- Máquina para curado acelerado.
- Máquina Universal
- Trompo mezclador de concreto capacidad 7 pies cúbicos

### **3.7. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.**

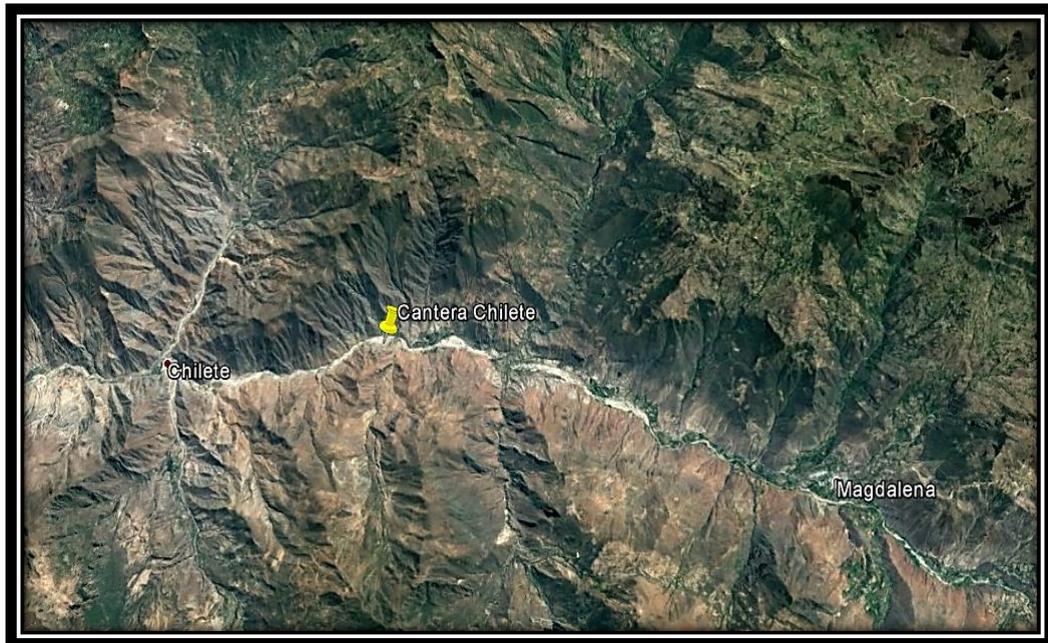
- a)** Extracción y toma de muestras de agregado fino y agregado grueso en la cantera de Chilete.
- b)** Transporte de las muestras a Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”
- c)** Determinación de las características físicas y mecánicas de los agregados.
- d)** Fabricación de la máquina para curado acelerado de concreto que cumpla con lo requerido en la Norma Técnica Peruana 339.213.
- e)** Elaboración de los diseños de mezclas para un concreto de  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup>
- f)** Preparación de la mezcla.
- g)** Elaboración de especímenes patrón de concreto, para controlar la relación a/c.
- h)** Elaboración de los especímenes de concreto con el diseño ya definitivo.
- i)** Preparación de la máquina curadora de concreto, llenado con agua y procediendo a encender con una (01) hora de anticipación para que cuando se ensaye los especímenes el agua se encuentre hirviendo.
- j)** Preparación de los especímenes para que puedan ser introducidos a la maquina curadora de concreto
- k)** Curado de los especímenes de concreto por método B de curado acelerado de la Norma Técnica Peruana 339.213.
- l)** Sacado de los especímenes de la máquina de curado acelerado, para luego ensayarlas en la máquina de compresión.
- m)** Curado de los especímenes de concreto por el método estándar.
- n)** Ensayos a compresión de los especímenes curados por el método B (Método del agua hirviendo), con una duración de curado a 3 horas y 30 minutos, 7horas y 12 horas y con un tiempo de enfriamiento mínimo 1 hora.
- o)** Ensayos a compresión de los especímenes de concreto, curados a edades de 7, 14 y 28 días por el método estándar.
- p)** Análisis y procesamiento de datos.

### 3.8. CANTERA ESTUDIO

#### 3.8.1. Ubicación.

Los agregados de estudio se obtuvieron de la cantera “Chilete Km 94+500 carretera Ciudad de Dios – Cajamarca. Geográficamente en las coordenadas UTM, según Datum WGS-84, se ubica 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 6:** Ubicación Cantera Chilete



Fuente: Imagen Google Earth.

#### 3.8.2. Extracción de agregados de Cantera

Para la tesis se utilizaron agregados que se encuentran de forma dispersa a lo largo del río Jequetepeque, luego son extraídos desde los márgenes del río mediante el uso de maquinaria pesada, para ser transportados con volquetes de quince metros cúbicos de capacidad de tolva, estos últimos transportan el material a la zona de proceso, donde son lavados, reducidos a través de trituración y tamizados. El material es triturado y separado mecánicamente a través de la máquina aquí se hace una clasificación en TMN de 1/2", 3/4", 1" para su posterior despacho y futura venta.

### **3.9. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO.**

Una vez obtenido los agregados, estos fueron transportados al Laboratorio de Ensayo de Materiales, para ser estudiados y obtener sus características físicas y mecánicas que detallaremos a continuación.

#### **3.9.1. Peso específico y absorción.**

Se realizó según las indicaciones de la norma NTP 400.021 y ASTM C 127 para el agregado grueso y la NTP 400.022 y ASTM C 128 para el agregado fino.

##### **a) Selección de equipos y materiales.**

###### **Para el agregado grueso:**

- Balanza con sensibilidad de 0.5 gr y capacidad no menor de 5 kg.
- Cesta de malla de alambre con abertura no mayor de 3mm.
- Depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua.
- Estufa capaz de mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Termómetro con aproximación de  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

###### **Para el agregado fino:**

- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr o menos y capacidad no menor de 1kg
- Picnómetro o frasco volumétrico, cuya capacidad sea 500 cm<sup>3</sup>, calibrado hasta 0.10 cm<sup>3</sup> a 20°C.
- Molde cónico metálico de diámetro interior en la parte superior de 4 cm, de diámetro interior en la parte inferior 9 cm y altura 7.5 cm.
- Varilla de metal con un extremo redondeado, de  $(25\pm 3)$  mm de diámetro y  $(340\pm 15)$  gr de peso.
- Estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

## **b) Preparación de la muestra.**

### **Para el agregado grueso:**

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

### **Para el agregado fino:**

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

## **c) Procedimiento de ensayo.**

### **Para el agregado grueso:**

Se obtuvo el peso de la muestra bajo la condición de saturación con la superficie seca, después de pesar se colocó la muestra saturada con superficie seca en la canastilla de alambre, y se determinó su peso en agua, se secó la muestra hasta peso constante a una temperatura de 110°C, se dejó enfriar y se determinó su peso.

### **Para el agregado fino:**

Se introdujo 500g del material preparado, y se llenó de agua hasta alcanzar casi la marca de 500, se eliminó las burbujas de aire, se llenó con agua hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup> y se determinó el peso total del agua introducida en el frasco, se sacó el agregado fino del frasco, se

secó hasta una temperatura de 110°C y se determinó su peso. Finalmente se llenó el picnómetro hasta la marca de calibración con agua y se determinó su peso.

#### d) Expresión de los resultados

##### Para el Agregado Grueso

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

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

**B:** Peso en el aire, de la muestra saturada de superficie seca (gr).

**C:** Peso en el agua, de la muestra saturada (gr).

##### Para el agregado fino

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{W_o}{V - V_a}$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{500}{V - V_a}$$

$$\text{Peso e. a} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)}$$

$$\text{Absorción} = \frac{500 - W_o}{W_o} * 100$$

**W<sub>o</sub>:** Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

**V :** Volumen del frasco (cm<sup>3</sup>)

**V<sub>a</sub> :** Peso (gr) o volumen (cm<sup>3</sup>) del agua añadida al frasco.

#### 3.9.2. Peso unitario.

Se realizó según las indicaciones de la norma NTP 400.017, ASTM C-29/ C-29M.

**a) Selección de equipos y materiales.**

- Balanza que permita lecturas de por lo menos 0.1 % del peso de la muestra.
- Barra compactadora de acero liso circular recta de 5/8" de diámetro y 60 cm de largo.
- recipiente cilíndrico y de metal suficiente rígido para condiciones duras de trabajo.

**b) Preparación de la muestra.**

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

**c) Procedimiento de ensayo.**

**Para el peso unitario suelto**, se llenó el recipiente con una pala hasta rebosar, dejando caer el agregado desde una altura no mayor de 5cm, por encima del borde superior del recipiente, se eliminó el excedente del agregado con una espátula para equilibrar los vacíos, se determinó la masa del recipiente más su contenido y la masa del recipiente vacío con una exactitud de 5g.

**Peso unitario compactado**, se llenó el recipiente hasta la tercera parte y se niveló la superficie con los dedos, se apisonó la muestra con la barra compactadora mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie, se llenó hasta las 2/3 partes del recipiente y se niveló y apisonó con 25 golpes como la manera anterior. Luego se llenó completamente el recipiente hasta rebosar, se golpeó 25 veces con la barra compactadora (varilla de hacer de 16mm de diámetro y 60cm de longitud), se enrasó el recipiente utilizando la barra compactadora como regla y con los dedos para equilibrar los vacíos. En el apisonado de la primera capa se buscó no tocar el fondo del recipiente con la fuerza de la varilla, en la segunda y tercera capa se evitó traspasar la varilla a la capa anterior, se determinó la masa del recipiente más su contenido y la masa del recipiente vacío.

#### **d) Expresión de los resultados.**

El recipiente se calibró determinado con exactitud el peso del agua requerida para llenarlo a 16.7°C, el factor (F), se obtuvo dividiendo el peso unitario del agua a 16.7°C (1000 kg/m<sup>3</sup>) por el peso del agua a 16.7°C necesario para llenar la medida.

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{W_a(16.7^\circ\text{C})}$$

$W_a$  = Peso del agua para llenar el recipiente a 16.7°C.

El peso unitario se calculó mediante las siguientes fórmulas.

$$P.U = W_s \div V \quad P.U = W_s * F$$

**Donde:**

**P.U:** Peso unitario (kg/m<sup>3</sup>).

**W<sub>s</sub>:** Peso neto del agregado (kg)

**V:** Volumen del molde cilíndrico (m<sup>3</sup>)

**F:** Factor para el recipiente (l/m<sup>3</sup>).

#### **3.9.3. Contenido de humedad.**

Se realizó según las indicaciones de la norma NTP 339.185

##### **a) Selección de equipos y materiales.**

- Balanza con sensibilidad de 0.1g y cuya capacidad no sea menor de 1kg.
- Recipiente adecuado para colocar la muestra de ensayo.
- Estufa a temperatura de 105°C – 110°C.

##### **b) Procedimiento de ensayo.**

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

$W_w$  = Peso del recipiente más mezcla húmeda – peso del recipiente más la muestra seca. Luego se determinó el peso de la muestra seca

$W_s$  = Peso del recipiente + muestra seca – peso del recipiente.

**c) Expresión de los resultados.**

$$w\% = \frac{W_w * 100}{W_s}$$

$W_w$  = Peso del agua evaporada.

$W_s$  = Peso de la muestra seca.

$W\%$  = Porcentaje de humedad.

**3.9.4. Análisis granulométrico.**

El procedimiento que se utilizó fue el mecánico o granulometría por tamizado para el agregado fino y grueso encontrando su distribución granulométrica y módulo de finura.

Según las normas NTP 400.012, ASTM C-136, AASHTO T-27.

**a) Selección de equipos y materiales.**

- Balanza con sensibilidad de 1g.
- Juego de tamices conformado por: Para el agregado fino: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100.
- Juego de tamices conformado por: Para el agregado grueso 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8".
- Una estufa capaz de mantener una temperatura de 110°C.
- Taras.
- Recipientes.

**b) Preparación de la muestra.**

La cantidad de muestra a ensayar para el agregado grueso debe ser el que corresponda al tamaño máximo de las partículas, para el agregado fino será de acuerdo con lo establecido con la NTP 400.012.

**c) Procedimiento de ensayo.**

Para el agregado grueso y para el agregado fino: Se colocó el agregado en la estufa a una temperatura de 110°C, hasta conseguir peso constante,

se colocó la muestra en la malla superior del juego de tamices, dispuestos en forma decreciente, según la abertura, se realizó el tamizado en forma manual con movimientos de vaivén hasta observar que no pase de un tamiz a otro. Con esta distribución granulométrica se verificó los requerimientos de la NTP 400.037(husos granulométricos).

Luego se determinó el módulo de finura, que es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz N°100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido entre 100.

**d) Expresión de los resultados.**

**Módulo de finura para el agregado fino**

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

**Módulo de finura para el Agregado Grueso**

$$M.G = (\Sigma \%Ret. acum(N^{\circ}4, 3/8", 3/4", 1 1/2", ,)/100)$$

Del análisis granulométrico se determinó de acuerdo a la NTP 400.011 el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

**3.9.5. Material más fino que el tamiz N°200.**

Se realizó según las indicaciones de la norma NTP 400.018

**a) Procedimiento de ensayo.**

El ensayo consistió en lavar la muestra de agregado y pasar el agua del lavado por el tamiz # 200 (74 micrones), la pérdida de masa resultante de lavado se calculó como el porcentaje de la muestra original y fue expresada como la cantidad de material que pasa el tamiz # 200.

**b) Expresión de los resultados.**

$$F = \frac{(W_0 - W_1)}{W_0} * 100$$

Donde:

F =% de material que pasa el tamiz N°200

W<sub>0</sub> = Peso seco de la muestra original (en g).

W<sub>1</sub> = Peso Seco de la muestra después del lavado (en g).

### **3.9.6. Desgaste o resistencia a la abrasión.**

Se realizó según las indicaciones de la norma (NTP 400.019)

#### **a) Selección de equipo.**

- La máquina de los ángeles.
- Balanza que permita lecturas de por lo menos 0.1% del peso de la muestra requerida para el ensayo.
- Estufa capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C.

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

#### **b) Preparación de la muestra.**

La muestra de ensayo estuvo constituida por agregado limpio representativo del material a ensayar y secada en una estufa a 110°C, hasta un peso aproximadamente constante.

#### **c) Procedimiento de ensayo**

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

#### **d) Expresión de resultados.**

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

$$\% \text{ abrasion} = \frac{(W_o - W_f) * 100}{W_o}$$

Wo: Peso original de la muestra (gr).

Wf: Peso final de la muestra (gr)

Una vez concluida con la determinación de las propiedades físico mecánicas de los agregados, resumidos en la **Tabla 20 y Tabla 21**, se procedió al diseño de mezclas.

### **3.10. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MEZCLAS**

Para el diseño de mezclas se utilizó el método de módulo de finura de la combinación de agregados, con el cual se realizó la elaboración de 102 especímenes, 30 especímenes fueron ensayados a edades de 7, 14 y 28 días, estos especímenes fueron curados por el método de curado estándar; y 72 especímenes fueron ensayados a edades de 1 día +3.5 horas, 1 día +7 horas y 1 día +12 horas, estos especímenes fueron curados por el método B de la Norma técnica Peruana 339.213. Ambos fueron ensayados por el método de ensayo normalizado para resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, según la Norma ASTM C 496.

Cabe mencionar que el concreto a evaluar es un concreto de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ , con cemento portland Pacasmayo Tipo I según norma ASTM C-150, cuyo peso específico es  $3.12 \text{ gr/cm}^3$ .

#### **3.10.1. Diseño de mezcla de concreto convencional.**

##### **a) Selección de equipo y materiales**

- Balanza con capacidad apropiada 30 Kg.
- Recipientes para pesar los materiales.
- Probeta cilíndrica, graduada y de  $1000 \text{ cm}^3$ .
- Herramientas: Palanas, badilejo, baldes, cucharón, enrasador.
- Cono de Abrams, para medir el asentamiento.
- Varilla de Acero semiredondeada, para la compactación de la mezcla en cada una de los especímenes, lizo de 60 cm de largo y de  $5/8''$  de diámetro.
- Aceite para generar una fina lámina en las paredes interiores de los especímenes y así evitar la adherencia del concreto al momento del desmoldado.

- Mezcladora de concreto, denominado comúnmente “trompo”.
- Comba de goma.
- Recipiente para determinar el Peso Unitario del Concreto Fresco.
- Moldes metálicos para los especímenes.

**b) Procedimiento.**

Se realizó el diseño para un  $f'c$  de 280 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando las propiedades de los agregados de la cantera “Chilete”, que fueron encontradas en los ensayos anteriores, agua potable del laboratorio de tecnología de los materiales de la UNC, y Cemento Portland Pacasmayo tipo I, para el diseño se utilizó el método del Módulo de Fineza de la Combinación de agregados; y estos fueron los pasos seguidos para obtener las dosificaciones.

• ***Selección de la resistencia promedio***

Se desconoce la desviación estándar y asumiendo un grado de control aceptable en obra, utilizamos la tabla N° 08 del marco teórico.

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 nominal***

El tamaño máximo del agregado fue de 3/4", correspondiente al uso granulométrico de la norma técnica ASTM C-33 (Standard Specification for Concrete Aggregates), utilizamos la tabla N° 11 del marco teórico.

• ***Selección del asentamiento***

El asentamiento que se consideró fue el correspondiente a una mezcla plástica: 3" – 4", utilizamos la tabla N° 09 del marco teórico.

• ***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%, utilizamos la tabla N° 14 del marco teórico.

- **Selección del volumen de agua de mezclado**

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:

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

- **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**

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 módulo de 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.

**• *Corrección por humedad de los materiales.***

Se partió encontrando los pesos húmedos de los agregados, multiplicando su peso por su respectivo contenido de humedad, luego se encontró la humedad superficial de los agregados sumando algebraicamente su contenido de humedad más su absorción, luego de determinó el aporte de humedad de los agregados multiplicando su peso seco por el porcentaje de humedad superficial de los agregados, se encontró el aporte total de los agregados sumando algebraicamente los aportes independientes de los mismos, finalmente se encontró el agua efectiva, para ello se toma en cuenta el aporte de los agregados si es

negativo significa que hay que sumarle agua de no ser así se hace lo contrario.

**• Proporción en peso de los materiales, ya corregidos por humedad del agregado.**

Se determinó el peso de los demás componentes con respecto al peso de una bolsa de cemento.

### **3.11. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.**

Se realizó según la NTP 339.183.

#### **a) Selección de equipos y materiales.**

Se utilizó moldes cilíndricos para especímenes, varilla de compactación de 1.6 cm de diámetro por 60cm de largo, martillo de goma de aproximadamente 0.5 kg, probetas graduadas de vidrio, herramientas pequeñas (palanas, baldes, cucharones, badilejo, reglas, aceite), bandeja de metal, balanza, cono de Abrams, mezcladora de concreto y EPP.

#### **b) Procedimiento.**

##### **b.1) Mezclado.**

Luego de haber encontrado las proporciones de volumen, se calculó los pesos para una tanda de volumen  $0.02 \text{ m}^3$ , que permita elaborar 3 especímenes de ensayo. Se procedió a pesar y medir adecuadamente cada uno de los agregados y cemento haciendo uso de la balanza, la cantidad requerida de agua que se midió haciendo uso de la probeta graduada de vidrio, una vez medidos todos los involucrados, se los introdujo a la mezcladora en el siguiente orden: Primero el agregado grueso con una parte del agua de mezcla, se inició con el funcionamiento de la mezcladora y se agregó el agregado fino y el cemento, se mezcló durante aproximadamente 03 minutos, luego se ropo aproximadamente 03 minutos cubriendo la parte superior de la mezcladora, finalmente se mezcló 02 minutos, se vació la mezcla en una bandeja limpia con la mezcladora en funcionamiento.

### **b.2) Medición del asentamiento.**

Con la mezcla en la bandeja se procedió inmediatamente a la medición del asentamiento (Slump), a través del cono de Abrams de acuerdo a la NTP 339.035, en el siguiente orden: Se humedeció primeramente el cono y la placa de base, se lo colocó en un lugar adecuado y se lo fijó, luego con la ayuda de un cucharón se llenó la tercera parte, se lo compactó con la varilla metálica con 25 golpes distribuidos uniformemente, se llenó las 2/3 partes y compactó como en el paso anterior, se lo llenó completamente hasta el rebose y compactó con 25 golpes, luego se lo enrasó con la varilla compactadora, con cuidado se lo retiró verticalmente el cono y se lo colocó de madera invertida sobre de la placa metálica a lado de la mezcla, se colocó horizontalmente la varilla compactadora y con la ayuda de una regla graduada se midió el asentamiento.

### **b.3) Llenado de moldes.**

Inmediatamente después de medido el asentamiento se regresó la mezcla a la bandeja y se volvió a mezclar, con un cucharón y se procedió inmediatamente al llenado del molde cilíndrico previamente acondicionado (ajustado y aceitado para evitar adherencia del concreto a las paredes del molde al momento del desencofrado), con el cucharón se introdujo la mezcla hasta la tercera parte del molde, con la varilla compactadora se golpeó 25 veces uniformemente en la superficie del concreto, con el martillo de goma se golpeó 12 veces las paredes exteriores del molde en su tercera parte, luego se llenó las 2/3 partes y se repitió el paso anterior, finalmente se llenó la última capa hasta el rebose y se compactó con la varilla metálica y golpeándose con el martillo de goma 12 veces en las paredes exteriores del molde, se enrasó con la varilla y se alisó con una plancha, se quitó el material excedente y se pesó la probeta con concreto fresco para la determinación de peso unitario del concreto, se lo cubrió con una bolsa plástica y trasladó y acondicionó en un lugar adecuado para luego ser desmoldado a las 24 horas.

### 3.12. PESO UNITARIO FRESCO 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:

$$Y = \frac{M}{D}$$

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>).

### 3.13. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO (ASTM C 489)

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:

$$E = 15000\sqrt{\delta_{m\acute{a}x}}$$

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 y curados durante 12 horas y enfriamiento de 7 horas a más, utilizando un mismo diseño de mezclas.

### **3.14. CURADO DE ESPECÍMENES.**

#### **3.14.1. Curado de especímenes por el método estándar.**

##### **a) Útiles y equipos.**

- Marcador indeleble.
- Pirómetro FLUKE.

##### **b) Preparación de los especímenes**

A las 24 horas de edad de los especímenes, se procede a sacarlos del molde con mucho cuidado.

##### **c) Procedimiento**

Una vez desencofrados los especímenes, se los codificó adecuadamente y traslado inmediatamente al pozo de curado del laboratorio y se lo introdujo completamente en el agua, usando el pirómetro calculamos la temperatura del agua y dejamos a los especímenes hasta completar las edades de 7, 14, y 28 días de elaborado.

### **3.14.2. Curado por el método B de la NTP 339.213**

#### **3.14.2.1. Método de aceleramiento mediante el uso de agua hirviendo, método B**

**Utilizaremos el método B** de aceleramiento de resistencia de la norma 339.213, el cual utiliza agua hirviendo y nos permite realizar una proyección de resistencias a 28 días con curado estándar, mediante el uso de valores de resistencia aceleradas a un día.

##### **➤ Máquinas existentes para realizar curado acelerado con agua hirviendo**

Se han estudiado las características presentes en modelos de máquinas de curado acelerado en mercados internacionales, hemos tomado como referencia estas características, así como las recomendaciones de la norma NTP 339.213. Con esta recolección de información hemos fabricado, haciendo uso de materiales disponibles en Cajamarca - Perú una máquina de curado acelerado, capaz de satisfacer los requerimientos de la norma NTP 339.213.

#### **3.14.2.2. Fabricación de la Máquina para curado acelerado**

##### **a) Materiales y accesorios**

- Plancha Metálica de 1/8".
- Parrilla de hierro para soporte de especímenes.
- Cuchillas termomagnéticas Schneider de 50 amperios.
- Resistencias eléctricas para calentar agua de 3500 y 5000 watts.
- Cable N° 12.
- Cable N° 6.
- Caja para cuchillas.
- Pintura para tanque de curado.
- Válvula de bronce de 1 pulgada.
- Canaletas de PVC.
- Terminales de ojo.
- Canaletas metálicas para proteger los cables.

#### **b) Restricciones de la NTP 339.213.**

La norma 339.213 recomienda que el nivel del agua mínimo sobre una probeta que está siendo curada aceleradamente debe ser de 10cm.; la distancia entre probetas que están siendo curadas debe ser como mínimo de 10cm y la distancia entre la pared interna del tanque de curado y la probeta debe ser como mínimo de 5cm. La distancia entre el fondo de la probeta y el fondo del tanque de curado acelerado deberá ser como mínimo de 7.5cm para permitir un flujo natural del agua.

#### **c) Tiempo que tarda en hervir el agua.**

Se usarán 2 resistencias de 3500 Watts y dos resistencias de 5000 Watts, cuando se encuentren las cuatro en uso obtendremos una potencia de 17000 Watts, que nos permitirá hacer hervir el agua en 1 hora con 5 minutos.

#### **d) Procedimiento**

El proceso duró aproximadamente un mes y medio, durante este tiempo se confeccionaron y adquirieron las distintas piezas que conformaron la máquina de curado acelerado.

Diseñamos el tanque de la máquina de curado acelerado con la capacidad de albergar en su interior a 6 especímenes de concreto de tamaño estándar 12"x6", las dimensiones interiores del tanque de curado acelerado son 0.8m x 0.5 m x 0.6 m (largo, ancho y altura).

Una vez calculado el volumen de agua que albergará, se calculó la potencia que se requiere para hacer hervir el agua en 1 hora aproximadamente, para hacer posible esto se necesitaron 17000 Watts de potencia.

Finalmente, se fabricó la máquina de curado acelerado, para luego ser instalada en el laboratorio de Ensayo de los materiales de la facultad de ingeniería en la Universidad nacional de Cajamarca.

### **3.14.3. Curado de especímenes por Método de curado acelerado mediante el uso de agua hirviendo, método B de la NTP 339.213.**

#### **a) Útiles y equipos.**

- Alambre de amarre.
- Pirómetro FLUKE.

#### **b) Preparación de los especímenes**

A las 24 horas de edad de los especímenes, se procede a sacarlos del molde con mucho cuidado y aproximadamente una hora antes de introducir los especímenes a la maquina curadora se procede al encendido de las cuchillas para que el agua estando a una temperatura ambiente, alcance una mayor temperatura la cual permita mantener el agua hirviendo durante todo el proceso de curado.

#### **c) Procedimiento**

Una vez desencofrados los especímenes, se los habilita con alambre de amarre de forma que nos permitan introducirlos en el tanque curados, que contiene agua hirviendo a una temperatura promedio de 86°C (Una hora antes se procede a encender la maquina curadora, subiendo las dos cuchillas, en suma total de la cuatro resistencias alcanzan un total de 17000 Watts de potencia ), la capacidad del tanque curador de concreto es de 6 espécimen, los cuales se mantendrán curándose a periodos de tiempo de 3.5 horas, 7 horas y 12 horas, para mantener el nivel de agua cada 1 hora se le agregara un determinado volumen de agua.

### **3.15. PRUEBA DE ESPECÍMENES A LA COMPRESIÓN. (NTP 339.034.)**

#### **a) Equipos y materiales.**

- Prensa hidráulica.
- Balanza
- Vernier
- Deformímetro
- Cronometro
- Marcador de concreto.
- Pirómetro FLUKE.
- Alicata

## **b) Procedimiento**

### **b.1) Especímenes curados por Método estándar.**

Luego que los especímenes fueron curados por el método estándar para alcanzar edades de 7, 14 y 28 días, se los trasladó para ser ensayados a compresión, antes de su rotura se los codificó, pesó, midió sus dimensiones de diámetro tomando dos medidas por cada cara perpendiculares entre sí, de altura se lo midió en las dos caras opuestas del espécimen, una vez registrado los datos anteriormente descritos, se procedió a la rotura de la siguiente manera:

Con la maquina encendida, se colocó el espécimen en la máquina de ensayo a compresión, se ubicó primeramente la placa circular inferior de refrentado con almohadilla de neopreno adecuadamente centrada, luego se colocó el espécimen alineado su eje con el centro de la placa, luego se colocó la placa superior correctamente centrada, posteriormente se bajó cuidadosamente la prensa hasta superponerse al espécimen.

Se ubicó el deformímetro en el lugar adecuado y se procedió a aplicar carga axial uniforme y continua hasta la rotura del espécimen, teniendo en cuenta el rango de velocidad de carga normado (0.20 a 0.30Mpa/s), verificando y anotando las deformaciones por cada tonelada de carga aplicada.

Se controló el tiempo de duración de la prueba contabilizado desde el primer incremento de carga hasta la rotura.

Una vez rota la probeta se registró la carga de rotura y analizó el tipo de fractura.

**b.2) Especímenes curados por Método de aceleramiento mediante el uso de agua hirviendo, método B de la NTP 339.213.**

Luego que los especímenes fueron curados por el método B de la NTP 339.213, sacamos los especímenes con mucho cuidado, dejamos enfriar para los primeros ensayos una hora como mínimo y para los otros ensayos como mínimo 5 horas, luego se los trasladó para ser ensayados a compresión, antes de su rotura se los codificó, pesó, midió sus dimensiones de diámetro tomando dos medidas por cada cara perpendiculares entre sí, de altura se lo midió en las dos caras opuestas del espécimen, una vez registrado los datos anteriormente descritos, se procedió a la rotura de la siguiente manera:

Con la maquina encendida, se colocó el espécimen en la máquina de ensayo a compresión, se ubicó primeramente la placa circular inferior de refrentado con almohadilla de neopreno adecuadamente centrada, luego se colocó el espécimen alineado su eje con el centro de la placa, luego se colocó la placa superior correctamente centrada, posteriormente se bajó cuidadosamente la prensa hasta superponerse al espécimen.

Se ubicó el deformímetro en el lugar adecuado y se procedió a aplicar carga axial uniforme y continua hasta la rotura del espécimen, teniendo en cuenta el rango de velocidad de carga normado (0.20 a 0.30Mpa/s), verificando y anotando las deformaciones por cada tonelada de carga aplicada.

Se controló el tiempo de duración de la prueba contabilizado desde el primer incremento de carga hasta la rotura.

Una vez rota la probeta se registró la carga de rotura y analizó el tipo de fractura.

**c) Expresión de resultados.**

Con los datos registrados de diámetro, altura, peso, tiempo de duración del ensayo, carga de rotura, tipo de fractura, se los procesó y se encuentra los siguientes resultados:

**Área:** se calculó el área encontrando el diámetro promedio en cm y aplicando la fórmula de área de la sección circular  $(\pi \cdot D^2)/4$ .

**Esfuerzo:** Representa la resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>), se calculó dividiendo la carga de rotura en kilogramos entre el área en cm<sup>2</sup>.

**Peso unitario de concreto:** Con el dato de altura y diámetro promedio del espécimen, se calculó su volumen en m<sup>3</sup> y con el dato de peso del espécimen se encontró el peso unitario del concreto en (kg/m<sup>3</sup>), aplicando la siguiente fórmula:

$PUC^\circ(Kg/m^3) = \text{Peso del espécimen} / \text{Volumen del espécimen}$ .

El tiempo que demora la rotura sirvió para tener una idea de cuánto puede soportar una estructura de concreto antes de llegar al colapso para una sollicitación de carga determinada.

El registro del tipo de fractura sirvió para analizar la falla de la pasta o de los agregados, como también tener conocimiento de la correcta elaboración de especímenes.

Se realizó las curvas esfuerzo deformación unitaria y se calculó gráficamente el módulo de elasticidad para cada espécimen.

# CAPITULO IV

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES COMPONENTES DEL CONCRETO.

**Cemento:** Portland Tipo I (ASTM C-150, NTP 334,  $P_c=3.12 \text{ gr/cm}^3$ )

**Agua:** Potable, cumple con requisitos de la NTP 339.088.

**Agregado Fino** (NTP 400.011)

**Tabla 21.** Propiedades físicas y mecánicas del agregado fino.

| CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO   | FINO  | UNIDAD           |
|--|-------|------------------|
| <b>Peso específico de masa</b><br>NTP 400.021                                | 2.613 | $\text{gr/cm}^3$ |
| <b>Peso específico saturado superficie seca</b><br>NTP 400.021               | 2.644 | $\text{gr/cm}^3$ |
| <b>Peso específico aparente</b><br>NTP 400.021                               | 2.698 | $\text{gr/cm}^3$ |
| <b>Contenido de humedad</b><br>NTP 400.185                                   | 3.45  | %                |
| <b>Absorción</b><br>NTP 400.021  | 1.202 | %                |
| <b>Peso unitario suelto del agregado fino</b><br>NTP 400.017                 | 1565  | $\text{Kg/m}^3$  |
| <b>Peso unitario compactado del agregado fino</b><br>NTP 400.017             | 1668  | $\text{Kg/m}^3$  |
| <b>Módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico</b><br>NTP 400.012 | 2.924 | --               |
| <b>Material más fino que el tamiz N° 200</b><br>NTP 400.018                  | 2.87  | %                |

## Agregado Grueso (NTP 400.011)

Tabla 22. Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso.

| CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADOS   | GRUESO        | UNIDAD             |
|---|---------------|--------------------|
| Tamaño Máximo Nominal<br>NTP 400.011                                  | $\frac{3}{4}$ | Pulg.              |
| Peso específico de masa<br>NTP 400.021                                | 2.62          | gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso específico saturado superficie seca<br>NTP 400.021               | 2.647         | gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso específico aparente<br>NTP 400.021                               | 2.639         | gr/cm <sup>3</sup> |
| Contenido de humedad<br>NTP 400.185                                   | 0.31          | %                  |
| Absorción<br>NTP 400.021  | 1.044         | %                  |
| Peso unitario suelto del agregado Grueso<br>NTP 400.017               | 1629          | Kg/m <sup>3</sup>  |
| Peso unitario compactado del agregado Grueso<br>NTP 400.017           | 1763          | Kg/m <sup>3</sup>  |
| Módulo de finura, obtenido del análisis granulométrico<br>NTP 400.012 | 6.791         | --                 |
| Material más fino que el tamiz N° 200<br>NTP 400.018                  | 0.41          | %                  |
| Ensayo de Abrasión<br>NTP 400.019                                     | 25.85         | %                  |

### 4.1.1. Análisis y discusión de características de los materiales utilizados.

Las propiedades que requiere el **cemento** para el diseño de mezclas, fue tomado directamente de la hoja técnica.

El **agua** utilizada para las mezclas y para los dos métodos de curado fue potable, que nos brinda el laboratorio de Tecnología de los Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNC.

Las características físicas y mecánicas de los **agregados** de la cantera "Chilete Km 94+500 Carretera Ciudad De Dios - Cajamarca.", se obtuvieron del promedio de los datos obtenidos de tres ensayos consecutivos para cada una de las propiedades.

La cantera utilizada para la obtención de agregados, fue elegida a criterio, por presentar agregados limpios y de buena calidad, constituida por grandes acumulaciones de material fluvial en el margen del río Jequetepeque.

De los resultados de las propiedades físicas mecánicas de los agregados, presentados en los resúmenes de las tablas N°21 y N° 22, se afirma:

En la **granulometría** del agregado **fino**, éste es un agregado bien gradado resultado que se puede visualizar en su curva de distribución granulométrica correspondiente (ver anexo 1 – análisis granulométrico).

La **granulometría** del agregado **grueso** se ajustó adecuadamente al uso granulométrico 67, de la norma ASTM C 33-11, apto para la elaboración de mezclas de concreto (ver anexo 1 - análisis granulométrico).

El módulo **de fineza** del agregado fino y grueso cumplió con los requerimientos establecidos por la norma NTP 400.037.

**El peso específico** tanto del agregado fino como del grueso se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma NTP 400.037, lo que nos indica que el agregado utilizado es apto para la elaboración de mezclas de concreto.

La **absorción** del agregado fino y del agregado grueso cumplen con los requerimientos técnicos de la norma NTP 400.037.

**El peso unitario** tanto suelto como compactado del agregado fino cumplió adecuadamente con lo establecido en la NTP 400.037, mientras que el agregado grueso cumplió adecuadamente con los límites establecidos por dicha norma en lo referente a peso unitario suelto seco, al igual que el compactado.

El **tamaño máximo** del agregado fue elegido a criterio propio esperando obtener buenas condiciones de trabajabilidad y resistencia, adoptando el requisito establecido por el RNE (el pasante por el tamiz de 2 ½”).

La resistencia a la **abrasión** del agregado grueso cumple los requerimientos de la NTP 400.037, lo que nos indica que el agregado utilizado posee partículas compactas y resistentes.

El porcentaje de **partículas menores que el tamiz N° 200** cumplió con lo especificado en la norma 400.037, tanto para el agregado grueso como el fino.

El **contenido de humedad** estuvo dentro de los requerimientos especificados en la norma, NTP 400.037.

#### 4.2. DISEÑO DE MEZCLAS PARA LOS GRUPOS DE EXPERIMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó el diseño de mezclas para calcular el total de materiales que se utilizaran por metro cubico, el diseño fue el mismo para los dos métodos de curados.

**Tabla 23** Materiales necesarios para metro cubico.

| MATERIALES DE DISEÑO |         |    | MATERIALES CORREGIDOS  |         |    |
|----------------------|---------|----|------------------------|---------|----|
| CEMENTO              | 330.00  | Kg | CEMENTO                | 330.00  | Kg |
| AGUA DE DISEÑO       | 185.00  | Lt | AGUA EFECTIVA          | 175.28  | Lt |
| AGREGADO FINO SECO   | 770.00  | Kg | AGREGADO FINO HUMEDO   | 797.00  | Kg |
| AGREGADO GRUESO SECO | 1034.00 | Kg | AGREGADO GRUESO HUMEDO | 1037.00 | Kg |
| AIRE TOTAL           | 2.00    | %  | AIRE TOTAL             | 2.00    | %  |

**a) Materiales por metro cubico en volumen.**

Los materiales que serán utilizados para los distintos métodos de curado tienen las mismas proporciones para el diseño de cualquier espécimen, que es el siguiente (en volumen).

**Cemento** : 1

**Agregado Fino** : 2.25

**Agregado Grueso** : 2.90

**Agua** : 22.6 Litros/bolsa

**4.3. ANÁLIS DE PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO.**

Ver **Tabla 66 de ANEXO III.**

**Peso unitario del concreto fresco promedio** : 2322 Kg/cm<sup>3</sup>

**4.4. CURADO DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO.**

**4.4.1. Curado por el método estándar (NTP 339.183)**

Edad que alcanzan los especímenes : 7, 14 y 28 días.

**Tabla 24.** Curado de especímenes con el método estándar.

| <b>Descripción</b>                      | <b>-</b>     | <b>Unid.</b> |
|---|--------------|--------------|
| Temperatura del agua de curado          | <b>16.2</b>  | °C           |
| Temperatura promedio de los especímenes | <b>17.7</b>  | °C           |
| Diámetro promedio de los especímenes    | <b>15.19</b> | cm           |

Fuente: Elaboración Propia

De la **Tabla 24**, se afirma que el agua cumple con lo requerido en la NTP 339.183 (Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio).

#### 4.4.2. Curados por Método de curado acelerado mediante el uso de agua hirviendo, método B de la NTP 339.213.

**Tabla 25.** Curado de especímenes con el método B de la NTP 339.213.

| Descripción   | -            | Unid.  |
|---|--------------|--------|
| Temperatura inicial del agua de curado  | <b>16.2</b>  | °C     |
| Temperatura del agua de curado hirviendo  | <b>86.2</b>  | °C     |
| Volumen de agua inicial   | <b>173.3</b> | litros |
| Evaporación de agua por hora  | <b>7.3</b>   | Litros |
| Temperatura promedio de los especímenes para ser introducidos a la máquina de curado acelerado                  | <b>17.42</b> | °C     |
| Temperatura promedio de los especímenes inmediatamente después de ser sacados de la máquina de curado acelerado | <b>78.2</b>  | °C     |
| Diámetro promedio de los especímenes a temperatura ambiente   | <b>15.27</b> | Cm     |
| Diámetro promedio de los especímenes inmediatamente después de ser sacados de la máquina curadora               | <b>15.48</b> | Cm     |
| Dilatación promedio de los especímenes  | <b>0.24</b>  | Cm     |

Fuente: Elaboración Propia

De la **Tabla 25**, se observa que los datos del agua a temperatura ambiente es **16.2 °C** así, como a temperatura hirviendo es **86.2°C** para Cajamarca y no cumple con la **NTP 339.213** que nos indica que es **100°C**.

Para mantener el volumen del agua en **173.3 litros**, fue necesario agregar **7.3** litros cada hora, de manera que no se alteró la temperatura de **86.2°C**.

Los especímenes luego del desencofrado tuvieron una temperatura promedio de **17.42°C**, pero luego de ser curados y sacados del tanque curador, alcanzaron una temperatura promedio de **78.2 °C**, por lo que el concreto sufrió un aumento en su diámetro que hizo que se dilate en 0.24 cm.

#### 4.5. ANÁLISIS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

El ensayo de resistencia a la compresión se llevó a cabo a las edades de 7, 14 y 28 días de elaborada las mezclas, para el caso de los especímenes curados por el método estándar, los cuales fueron el grupo de control y para los especímenes curados con el método B de la NTP 339.213 a tiempos de curados de 3.5, 7 y 12 horas con dos tiempos de enfriamiento, estos especímenes fueron los grupos experimentales (GE). En el ensayo se midió el diámetro, altura y peso de cada espécimen; así como las deformaciones, tiempo que duro el ensayo, la carga ultima de rotura y el tipo de falla.

##### 4.5.1. Resultados de los ensayos a discusión.

##### 4.5.1.1. Especímenes curados por el método de curado estándar.

**Tabla 26** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 7 días (GC)

| Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 7 días |            |            |                 |                                |               |                        |           |
|---|------------|------------|-----------------|--------------------------------|---------------|------------------------|-----------|
| COD.  | Diám. (cm) | Temp. (°C) | Carga Max. (Kg) | Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tipo de falla | Modo de falla (fig.xx) | % Del f'c |
| C1-7  | 15.23      | 17.9       | 42000           | 230.55                         | 5             | Dúctil                 | 82.34%    |
| C2-7  | 15.20      | 17.8       | 41500           | 228.70                         | 5             | Dúctil                 | 81.68%    |
| C3-7  | 15.21      | 17.5       | 40500           | 222.90                         | 4             | Dúctil                 | 79.61%    |
| C4-7  | 15.26      | 17.6       | 41000           | 224.17                         | 3             | Dúctil                 | 80.06%    |
| C5-7  | 15.21      | 17.8       | 40500           | 222.90                         | 4             | Dúctil                 | 79.61%    |
| C6-7  | 15.23      | 17.8       | 41500           | 227.80                         | 3             | Dúctil                 | 81.36%    |
| C7-7  | 15.23      | 17.9       | 42000           | 230.55                         | 5             | Frágil                 | 82.34%    |
| C8-7  | 15.24      | 17.9       | 41500           | 227.50                         | 3             | Dúctil                 | 81.25%    |
| C9-7  | 15.24      | 17.5       | 42000           | 230.24                         | 3             | Dúctil                 | 82.23%    |
| C10-7   | 15.25      | 17.8       | 41000           | 224.47                         | 5             | Dúctil                 | 80.17%    |

**Tabla 27** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 14 días (GC)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 14 días</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>C1-14</b>  | 15.26             | 17.5              | 49000                  | 267.91                   | 5                    | Dúctil                        | 95.68%           |
| <b>C2-14</b>  | 15.27             | 17.9              | 48500                  | 264.83                   | 4                    | Dúctil                        | 94.58%           |
| <b>C3-14</b>  | 15.22             | 17.8              | 49500                  | 272.07                   | 5                    | Frágil                        | 97.17%           |
| <b>C4-14</b>  | 15.23             | 17.6              | 50000                  | 274.46                   | 3                    | Dúctil                        | 98.02%           |
| <b>C5-14</b>  | 15.22             | 17.6              | 47500                  | 261.08                   | 2                    | Dúctil                        | 93.24%           |
| <b>C6-14</b>  | 15.20             | 17.5              | 48000                  | 264.52                   | 3                    | Dúctil                        | 94.47%           |
| <b>C7-14</b>  | 15.20             | 17.5              | 49000                  | 270.03                   | 4                    | Frágil                        | 96.44%           |
| <b>C8-14</b>  | 15.23             | 17.9              | 48500                  | 266.23                   | 3                    | Dúctil                        | 95.08%           |
| <b>C9-14</b>  | 15.24             | 17.6              | 49500                  | 271.36                   | 3                    | Dúctil                        | 96.91%           |
| <b>C10-14</b>   | 15.27             | 17.9              | 49500                  | 270.29                   | 5                    | Dúctil                        | 96.53%           |

**Tabla 28** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 28 días (GC)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 28 días</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>C1-28</b>  | 15.24             | 17.8              | 57000                  | 312.47                   | 5                    | Dúctil                        | 111.60%          |
| <b>C2-28</b>  | 15.27             | 17.6              | 56500                  | 308.52                   | 5                    | Frágil                        | 110.18%          |
| <b>C3-28</b>  | 15.23             | 17.7              | 57500                  | 315.63                   | 4                    | Dúctil                        | 112.72%          |
| <b>C4-28</b>  | 15.20             | 17.7              | 57000                  | 314.12                   | 3                    | Dúctil                        | 112.19%          |
| <b>C5-28</b>  | 15.22             | 17.6              | 57500                  | 316.04                   | 4                    | Frágil                        | 112.87%          |
| <b>C6-28</b>  | 15.25             | 17.5              | 58000                  | 317.54                   | 5                    | Dúctil                        | 113.41%          |
| <b>C7-28</b>  | 15.25             | 17.9              | 57500                  | 314.80                   | 6                    | Frágil                        | 112.43%          |
| <b>C8-28</b>  | 15.26             | 17.9              | 58000                  | 317.12                   | 4                    | Dúctil                        | 113.26%          |
| <b>C9-28</b>  | 15.26             | 17.9              | 57500                  | 314.39                   | 5                    | Frágil                        | 112.28%          |
| <b>C10-28</b>   | 15.22             | 17.6              | 57500                  | 316.04                   | 5                    | Dúctil                        | 112.87%          |

#### 4.5.1.2. Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 (agua hirviendo)

**Tabla 29:** Temperatura y diámetro para los especímenes ensayados a compresión que fueron sometidos a curado acelerado (GE)

| Descripción   | -            | Unid. |
|---|--------------|-------|
| Temperatura promedio de los especímenes al momento de la prueba, luego que enfrié <b>2 horas ± 10min.</b> | <b>61.82</b> | °C    |
| Temperatura promedio de los especímenes al momento de la prueba, luego de que enfrié <b>7 horas a más</b> | <b>17.54</b> | °C    |
| Diámetro promedio de los especímenes al momento de la prueba, luego de que enfrié <b>2 horas ± 10min.</b> | <b>15.34</b> | cm    |
| Diámetro promedio de los especímenes al momento de la prueba, luego de que enfrié <b>7 horas más</b>      | <b>15.27</b> | cm    |

Fuente: Elaboración Propia

En la **Tabla 29**, podemos observar que a partir de las 7 horas los especímenes logran la temperatura ambiente y ya no sufren dilaciones.

**Tabla 30** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 3.5 horas, tiempo secado 2 horas±10 min (GE1)

| Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto |            |            |                 |                   |               |                        |           |
|--|------------|------------|-----------------|-------------------|---------------|------------------------|-----------|
| COD.   | Diám. (cm) | Temp. (°C) | Carga Max. (Kg) | Esfuerzo (Kg/cm2) | Tipo de falla | Modo de falla (fig.xx) | % Del f'c |
| <b>C1-3.5</b>  | 15.34      | 38.7       | 33000           | 178.56            | 5             | Dúctil                 | 63.77%    |
| <b>C2-3.5</b>  | 15.32      | 39.2       | 32500           | 176.31            | 5             | Dúctil                 | 62.97%    |
| <b>C3-3.5</b>  | 15.35      | 38.7       | 32000           | 172.92            | 4             | Dúctil                 | 61.76%    |
| <b>C4-3.5</b>  | 15.33      | 39.1       | 31000           | 167.95            | 5             | Frágil                 | 59.98%    |
| <b>C5-3.5</b>  | 15.34      | 38.9       | 31500           | 170.44            | 4             | Frágil                 | 60.87%    |
| <b>C6-3.5</b>  | 15.34      | 38.8       | 33000           | 178.56            | 3             | Dúctil                 | 63.77%    |
| <b>C7-3.5</b>  | 15.32      | 39.0       | 32500           | 176.31            | 4             | Dúctil                 | 62.97%    |
| <b>C8-3.5</b>  | 15.35      | 38.6       | 33500           | 181.02            | 3             | Dúctil                 | 64.65%    |
| <b>C9-3.5</b>  | 15.36      | 38.6       | 32500           | 175.39            | 5             | Frágil                 | 62.64%    |
| <b>C10-3.5</b>   | 15.36      | 38.8       | 31500           | 170.00            | 3             | Dúctil                 | 60.71%    |

**Tabla 31.** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 3.5 horas, tiempo secado 7 horas a más (GE2)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayos de 7 horas a más luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>E1-3.5</b>   | 15.27             | 18.0              | 37500                  | 204.77                   | 5                    | Frágil                        | 73.13%           |
| <b>E2-3.5</b>   | 15.22             | 17.2              | 38000                  | 208.86                   | 5                    | Frágil                        | 74.59%           |
| <b>E3-3.5</b>   | 15.28             | 17.5              | 37000                  | 201.77                   | 4                    | Frágil                        | 72.06%           |
| <b>E4-3.5</b>   | 15.27             | 17.6              | 38500                  | 210.23                   | 5                    | Frágil                        | 75.08%           |
| <b>E5-3.5</b>   | 15.26             | 17.4              | 35500                  | 194.10                   | 5                    | Dúctil                        | 69.32%           |
| <b>E6-3.5</b>   | 15.27             | 17.3              | 37500                  | 204.77                   | 3                    | Dúctil                        | 73.13%           |
| <b>E7-3.5</b>   | 15.26             | 17.6              | 37500                  | 205.04                   | 4                    | Frágil                        | 73.23%           |
| <b>E8-3.5</b>   | 15.29             | 17.4              | 38000                  | 206.96                   | 3                    | Frágil                        | 73.91%           |
| <b>E9-3.5</b>   | 15.28             | 17.3              | 36500                  | 199.05                   | 5                    | Frágil                        | 71.09%           |
| <b>E10-3.5</b>  | 15.29             | 17.3              | 36500                  | 198.79                   | 4                    | Dúctil                        | 71.00%           |

**Tabla 32:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 7 horas, tiempo secado 2 horas±10 min (GE1)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayos 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>C1-7</b>   | 15.37             | 39.1              | 42000                  | 226.37                   | 5                    | Dúctil                        | 80.84%           |
| <b>C2-7</b>   | 15.33             | 38.6              | 41500                  | 224.84                   | 5                    | Dúctil                        | 80.30%           |
| <b>C3-7</b>   | 15.36             | 38.9              | 41000                  | 221.26                   | 4                    | Dúctil                        | 79.02%           |
| <b>C4-7</b>   | 15.35             | 38.7              | 42000                  | 226.96                   | 4                    | Frágil                        | 81.06%           |
| <b>C5-7</b>   | 15.36             | 38.6              | 42500                  | 229.36                   | 4                    | Frágil                        | 81.91%           |
| <b>C6-7</b>   | 15.34             | 38.6              | 42000                  | 227.25                   | 3                    | Dúctil                        | 81.16%           |
| <b>C7-7</b>   | 15.34             | 38.7              | 41500                  | 224.55                   | 4                    | Dúctil                        | 80.20%           |
| <b>C8-7</b>   | 15.32             | 38.5              | 41500                  | 225.13                   | 6                    | Dúctil                        | 80.40%           |
| <b>C9-7</b>   | 15.35             | 38.7              | 42500                  | 229.66                   | 5                    | Frágil                        | 82.02%           |
| <b>C10-7</b>  | 15.31             | 38.4              | 41000                  | 222.71                   | 3                    | Frágil                        | 79.54%           |

**Tabla 33:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 7 horas, tiempo secado 7 horas a más (GE2)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados 7 horas a más de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|--|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>E1-7</b>  | 15.28             | 17.4              | 46000                  | 250.85                   | 2                    | Dúctil                        | 89.59%           |
| <b>E2-7</b>  | 15.24             | 17.2              | 46500                  | 254.91                   | 5                    | Frágil                        | 91.04%           |
| <b>E3-7</b>  | 15.29             | 18.0              | 47000                  | 255.97                   | 3                    | Dúctil                        | 91.42%           |
| <b>E4-7</b>  | 15.28             | 17.9              | 47500                  | 259.03                   | 4                    | Dúctil                        | 92.51%           |
| <b>E5-7</b>  | 15.28             | 17.3              | 46000                  | 250.85                   | 5                    | Frágil                        | 89.59%           |
| <b>E6-7</b>  | 15.25             | 17.2              | 47500                  | 260.05                   | 5                    | Dúctil                        | 92.88%           |
| <b>E7-7</b>  | 15.26             | 17.3              | 47500                  | 259.71                   | 4                    | Dúctil                        | 92.75%           |
| <b>E8-7</b>  | 15.23             | 17.4              | 46500                  | 255.25                   | 3                    | Dúctil                        | 91.16%           |
| <b>E9-7</b>  | 15.27             | 17.5              | 46000                  | 251.18                   | 5                    | Frágil                        | 89.71%           |
| <b>E10-7</b>   | 15.24             | 17.5              | 46000                  | 252.17                   | 3                    | Dúctil                        | 90.06%           |

**Tabla 34:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 12 horas, tiempo secado 2 horas±10 min (GE1)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados 2 hora +- 10min luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>C1-12</b>  | 15.35             | 38.7              | 52000                  | 280.99                   | 5                    | Frágil                        | 100.35%          |
| <b>C2-12</b>  | 15.36             | 39.0              | 52500                  | 283.33                   | 3                    | Frágil                        | 101.19%          |
| <b>C3-12</b>  | 15.35             | 38.8              | 51500                  | 278.29                   | 5                    | Dúctil                        | 99.39%           |
| <b>C4-12</b>  | 15.37             | 39.1              | 52500                  | 282.96                   | 2                    | Frágil                        | 101.06%          |
| <b>C5-12</b>  | 15.38             | 39.1              | 53000                  | 285.28                   | 4                    | Dúctil                        | 101.89%          |
| <b>C6-12</b>  | 15.35             | 38.7              | 53000                  | 286.40                   | 4                    | Dúctil                        | 102.28%          |
| <b>C7-12</b>  | 15.36             | 38.6              | 52500                  | 283.33                   | 4                    | Dúctil                        | 101.19%          |
| <b>C8-12</b>  | 15.34             | 38.6              | 51500                  | 278.65                   | 3                    | Dúctil                        | 99.52%           |
| <b>C9-12</b>  | 15.34             | 38.7              | 53000                  | 286.77                   | 5                    | Frágil                        | 102.42%          |
| <b>C10-12</b>   | 15.37             | 38.9              | 52000                  | 280.26                   | 3                    | Frágil                        | 100.09%          |

**Tabla 35:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213; tiempo curado 12 horas, tiempo secado 7 horas a más (GE2)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados de 7 horas a más de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto</b> |                   |                   |                        |                          |                      |                               |                  |
|--|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>COD.</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>Tipo de falla</b> | <b>Modo de falla (fig.xx)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| E1-12  | 15.27             | 17.8              | 56500                  | 308.52                   | 5                    | Dúctil                        | 110.18%          |
| E2-12  | 15.29             | 17.4              | 58000                  | 315.88                   | 5                    | Dúctil                        | 112.81%          |
| E3-12  | 15.27             | 17.7              | 56500                  | 308.52                   | 4                    | Dúctil                        | 110.18%          |
| E4-12  | 15.28             | 17.7              | 57000                  | 310.84                   | 3                    | Frágil                        | 111.01%          |
| E5-12  | 15.31             | 17.4              | 57500                  | 312.34                   | 4                    | Dúctil                        | 111.55%          |
| E6-12  | 15.26             | 17.6              | 56000                  | 306.19                   | 3                    | Dúctil                        | 109.35%          |
| E7-12  | 15.28             | 17.5              | 55000                  | 299.93                   | 3                    | Dúctil                        | 107.12%          |
| E8-12  | 15.28             | 17.5              | 58000                  | 316.29                   | 3                    | Dúctil                        | 112.96%          |
| E9-12  | 15.27             | 17.4              | 56800                  | 310.16                   | 3                    | Frágil                        | 110.77%          |
| E10-12   | 15.28             | 17.8              | 57500                  | 313.57                   | 5                    | Dúctil                        | 111.99%          |

**Tabla 36** Análisis estadístico de resultados de diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes a la edad de 7, 14 y 28 días, Curados por el método estándar (GC)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 7 días (GC)</b>  |                   |                   |                        |                          |                  |
|--|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|------------------|
| <b>Rangos</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN  | 15.20             | 17.5              | 40500                  | 222.90                   | 79.61%           |
| VALOR MAX  | 15.26             | 17.9              | 42000                  | 230.55                   | 82.34%           |
| <b>VALOR PROM</b>  | <b>15.23</b>      | <b>17.75</b>      | <b>41350</b>           | <b>226.98</b>            | <b>81.06%</b>    |
| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 14 días (GC)</b> |                   |                   |                        |                          |                  |
| <b>Rangos</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN  | 15.20             | 17.5              | 47500                  | 261.08                   | 93.24%           |
| VALOR MAX  | 15.27             | 17.9              | 49500                  | 272.07                   | 97.17%           |
| <b>VALOR PROM</b>  | <b>15.23</b>      | <b>17.68</b>      | <b>48900</b>           | <b>268.28</b>            | <b>95.81%</b>    |

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 28 días (GC)</b> |                   |                   |                        |                          |                  |
|--|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|------------------|
| <b>Rangos</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN  | 15.20             | 17.5              | 56500                  | 308.52                   | 110.18%          |
| VALOR MAX  | 15.27             | 17.9              | 58000                  | 317.54                   | 113.41%          |
| <b>VALOR PROM</b>  | <b>15.24</b>      | <b>17.72</b>      | <b>57400</b>           | <b>314.67</b>            | <b>112.38%</b>   |

De la **Tabla 36**, se comprueba que el diseño está bien realizado y que además los especímenes a **7 días** de edad alcanzaron una resistencia promedio de **226.98 Kg/cm<sup>2</sup>**, que es equivalente al **81.06%** de la resistencia a la cual fue diseñada; a **14 días** de edad alcanzaron una resistencia promedio de **268.28 Kg/cm<sup>2</sup>**, que es equivalente al **95.81%** de la resistencia a la cual fue diseñada y los especímenes a **28 días** de edad alcanzaron una resistencia promedio de **314.67 Kg/cm<sup>2</sup>**, que es equivalente al **112.38%** de la resistencia a la cual fue diseñada.

**Tabla 37** Análisis estadístico de resultados de diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y secadas a dos tiempos 2 y 7 horas (GE1) y (GE2)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados 2 hora +- 10min luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto (GE1)</b>  |                   |                   |                        |                          |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|------------------|
| <b>Rangos</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN   | 15.32             | 38.6              | 31000                  | 167.95                   | 59.98%           |
| VALOR MAX   | 15.36             | 39.2              | 33500                  | 181.02                   | 64.65%           |
| <b>VALOR PROM</b>   | <b>15.34</b>      | <b>38.84</b>      | <b>32300</b>           | <b>174.75</b>            | <b>62.41%</b>    |
| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados de 7 horas a más luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto (GE2)</b> |                   |                   |                        |                          |                  |
| <b>Rangos</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN   | 15.22             | 17.2              | 35000                  | 191.12                   | 68.26%           |
| VALOR MAX   | 15.29             | 18.0              | 38000                  | 208.86                   | 74.59%           |
| <b>VALOR PROM</b>   | <b>15.27</b>      | <b>17.53</b>      | <b>37041.67</b>        | <b>202.33</b>            | <b>72.26%</b>    |

De la **Tabla 37**, podemos observar que los especímenes han sido curados por **3 horas y media**, para el **GE1** el tiempo de enfriado fue 2 horas +- 10 minutos, alcanzando una resistencia promedio de **174,75 kg/cm<sup>2</sup>**, equivalente al **62.41%** de la resistencia diseñada; mientras que el **GE2** el tiempo enfriado fue de 7 horas a más, alcanzando una resistencia promedio de **202.33 kg/cm<sup>2</sup>**, equivalente al **72.26%** de la resistencia diseñada.

**Tabla 38.** Análisis estadístico de resultados de diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y secadas a dos tiempos 2 y 7 horas. (GE1) y (GE2)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto (GE1)</b> |                   |                   |                        |                                     |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------|
| <b>Rangos</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN   | 15.31             | 38.4              | 41000                  | 221.26                              | 79.02%           |
| VALOR MAX   | 15.37             | 39.1              | 42500                  | 229.66                              | 82.02%           |
| <b>VALOR PROM</b>   | <b>15.34</b>      | <b>38.68</b>      | <b>41750</b>           | <b>225.81</b>                       | <b>80.65%</b>    |
| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados de 7 horas a más luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto (GE2)</b> |                   |                   |                        |                                     |                  |
| <b>Rangos</b>   | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN   | 15.23             | 17.2              | 45000                  | 245.08                              | 87.53%           |
| VALOR MAX   | 15.29             | 18.0              | 47500                  | 260.05                              | 92.88%           |
| <b>VALOR PROM</b>   | <b>15.26</b>      | <b>17.47</b>      | <b>46650</b>           | <b>255.00</b>                       | <b>91.07%</b>    |

De la **Tabla 38**, podemos observar que los especímenes han sido curados por **7 horas**, para el **GE1** el tiempo de enfriado fue 2 horas +- 10 minutos, alcanzando una resistencia promedio de **225.81 kg/cm<sup>2</sup>**, equivalente al **80.65 %** de la resistencia diseñada; mientras que el **GE2** el tiempo enfriado fue de 7 horas a más, alcanzando una resistencia promedio de **255 kg/cm<sup>2</sup>**, equivalente al **91.07%** de la resistencia diseñada.

**Tabla 39** Análisis estadístico de resultados de diámetro, temperatura y resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y secadas a dos tiempos 2 y 7 horas. (GE1) y (GE2)

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto (GE1)</b> |                   |                   |                        |                          |                  |
|--|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|------------------|
| <b>Rangos</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN  | 15.34             | 38.6              | 51500                  | 278.29                   | 99.39%           |
| VALOR MAX  | 15.38             | 39.1              | 53000                  | 102.42                   | 102.42%          |
| <b>VALOR PROM</b>  | <b>15.36</b>      | <b>38.82</b>      | <b>52350</b>           | <b>282.63</b>            | <b>100.94%</b>   |
| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados de 7 horas a más luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto (GE2)</b> |                   |                   |                        |                          |                  |
| <b>Rangos</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm2)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| VALOR MIN  | 15.24             | 17.4              | 55000                  | 299.93                   | 107.12%          |
| VALOR MAX  | 15.29             | 17.8              | 58000                  | 315.81                   | 112.81%          |
| <b>VALOR PROM</b>  | <b>15.28</b>      | <b>17.58</b>      | <b>56880</b>           | <b>310.22</b>            | <b>110.79%</b>   |

De la **Tabla 39**, podemos observar que los especímenes han sido curados por **12 horas**, para el **GE1** el tiempo de enfriado fue 2 horas +- 10 minutos, alcanzando una resistencia promedio de **282.63 kg/cm<sup>2</sup>**, equivalente al **100.94 %** de la resistencia diseñada; mientras que el **GE2** el tiempo enfriado fue de 7 horas a más, alcanzando una resistencia promedio de **310.22 kg/cm<sup>2</sup>**, equivalente al **110.79 %** de la resistencia diseñada.

**Tabla 40.** Resistencia a la compresión promedio de los grupos de control (GC) y experimentales (GE1 y GE2)

| DESCRIPCIÓN   | Resumen de resistencia a la compresión promedio de los grupos de control (GC) y experimentales (GE1 y GE2) |                  |                  |                  |                  |                  |
|---------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|               | 3.5 hrs.   | 7hrs.            | 12 hrs.          | 7 días           | 14 días          | 28 días          |
| GC            | -  | -                | -                | 226.98<br>kg/cm2 | 268.28<br>kg/cm2 | 314.67<br>kg/cm2 |
| GE1(2h±10min) | 175.01<br>kg/cm2   | 225.75<br>kg/cm2 | 281.93<br>kg/cm2 | -                | -                | -                |
| GE2(7h a más) | 202.33<br>kg/cm2   | 253.63<br>kg/cm2 | 311.18<br>kg/cm2 | -                | -                | -                |

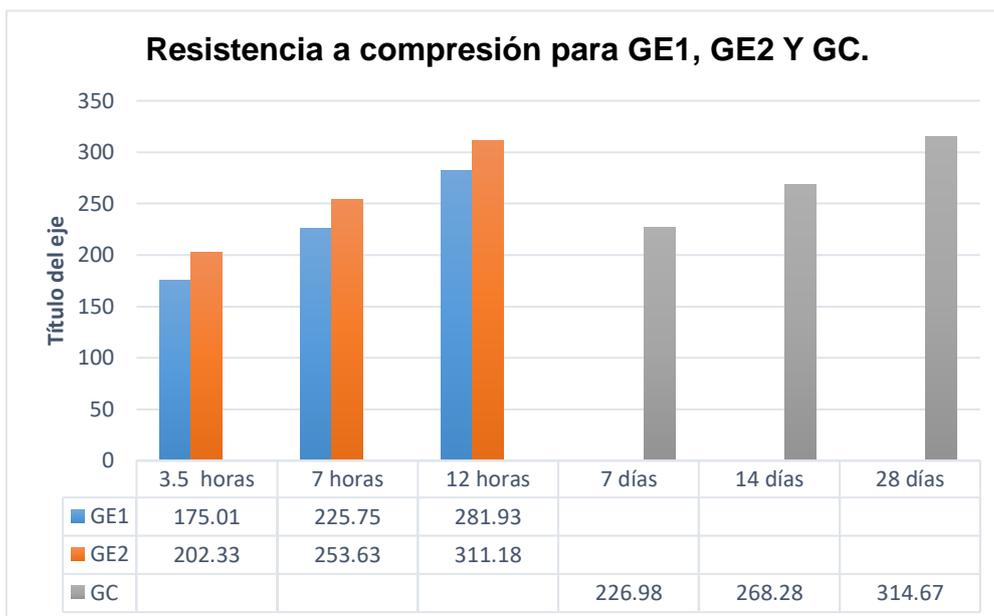
De la **Tabla 40**, se observa que la resistencia a compresión obtenida por el método estándar a los **7 días es equivalente** a la obtenida por el GE1 curado durante **7 horas y enfriado durante 2 horas +- 10 minutos**; la resistencia a compresión obtenida por el método estándar a **los 14 días es equivalente** a la obtenida por el GE2 curado durante **7 horas y enfriado durante 7 horas a más**; la resistencia a compresión obtenida por el método estándar a los **28 días es equivalente** a la obtenida por el GE2 curado durante **12 horas y enfriado durante 7 horas a más**.

**Tabla 41** Resistencia a la compresión en porcentaje promedio de los grupos de control (GC) y experimentales (GE1 y GE2)

| DESCRIPCIÓN   | Resumen de resistencia a la compresión en porcentaje promedio de los grupos de control (GC) y experimentales (GE1 y GE2) |        |         |        |         |         |
|---------------|--|--------|---------|--------|---------|---------|
|               | 3.5 hrs.   | 7hrs.  | 12 hrs. | 7 días | 14 días | 28 días |
| GC            | -  | -      | -       | 81.06% | 95.81%  | 112.38% |
| GE1(2h±10min) | 62.50%   | 80.62% | 100.69% | -      | -       | -       |
| GE2(7h a más) | 72.26%   | 90.58% | 111.14% | -      | -       | -       |

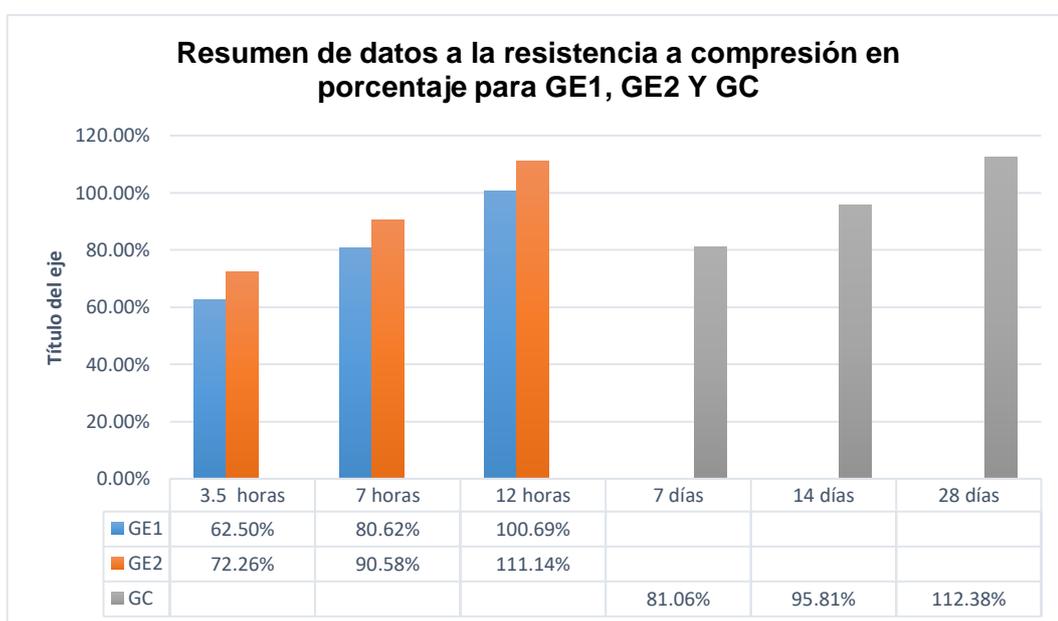
De la **Tabla 41**, se observa que los especímenes enfriados durante 7 horas a más, son superiores en **aproximadamente en 10%** en la resistencia a compresión, comparados con los especímenes enfriados durante 2 horas +- 10 minutos.

**Figura 7.** Resumen de datos a la resistencia a compresión para GE1, GE2 Y GC.



En la **Figura 7**, se puede observar que la resistencia alcanzada por los especímenes GE2 curados durante 12 horas y enfriados durante 7 horas son equivalentes a las resistencias alcanzadas por el GC curado 28 días por el método estándar.

**Figura 8** Resistencia a compresión en porcentaje para GE1, GE2 Y GC



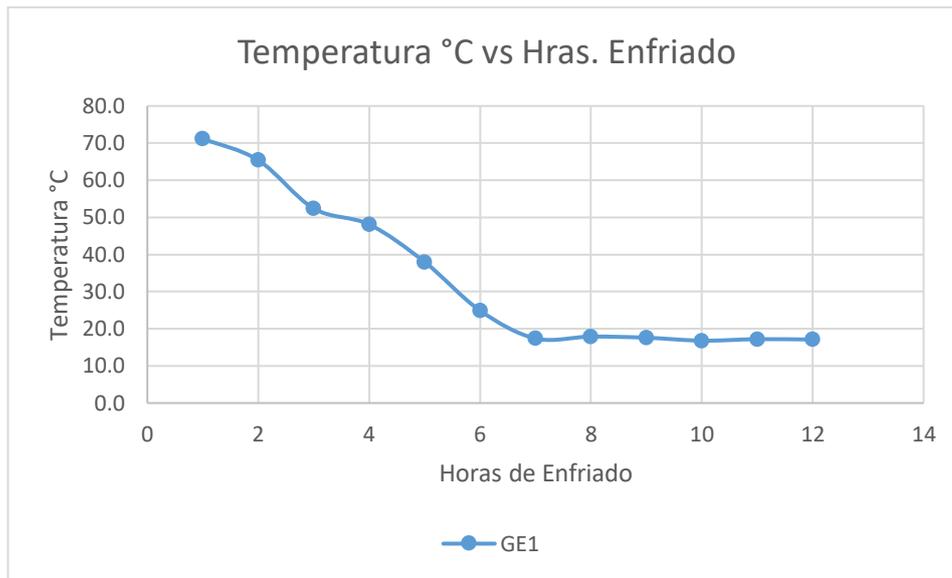
En la **Figura 8**, se puede observar que los especímenes del GE2 son mayores en la resistencia a la compresión en un porcentaje de 10% aproximadamente con respecto a las resistencias alcanzadas por los especímenes del GE1.

**Tabla 42** Resistencia a la compresión de los especímenes a diferentes periodos de enfriamiento.

| <b>Resistencia a compresión de especímenes curados durante 3.5 horas a distintos periodos de enfriamiento</b> |                   |                   |                        |                                     |                  |
|---|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------|
| <b>Horas de enfriado</b>  | <b>Diám. (cm)</b> | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Carga Max. (Kg)</b> | <b>Esfuerzo (Kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>% Del f'c</b> |
| <b>1</b>  | 15.23             | 71.2              | 31000                  | 170.17                              | 60.77%           |
| <b>2</b>  | 15.20             | 65.4              | 32500                  | 179.10                              | 63.97%           |
| <b>3</b>  | 15.21             | 52.4              | 33500                  | 184.37                              | 65.85%           |
| <b>4</b>  | 15.26             | 48.1              | 34000                  | 185.90                              | 66.39%           |
| <b>5</b>  | 15.21             | 38.0              | 34000                  | 187.12                              | 66.83%           |
| <b>6</b>  | 15.23             | 24.9              | 36500                  | 200.36                              | 71.56%           |
| <b>7</b>  | 15.23             | 17.4              | 38000                  | 208.59                              | 74.50%           |
| <b>8</b>  | 15.24             | 17.9              | 37500                  | 205.58                              | 73.42%           |
| <b>9</b>  | 15.24             | 17.6              | 38500                  | 211.06                              | 75.38%           |
| <b>10</b>   | 15.25             | 16.8              | 38000                  | 208.04                              | 74.30%           |
| <b>11</b>   | 15.23             | 17.2              | 37500                  | 205.85                              | 73.52%           |
| <b>12</b>   | 15.20             | 17.1              | 38000                  | 209.41                              | 74.79%           |

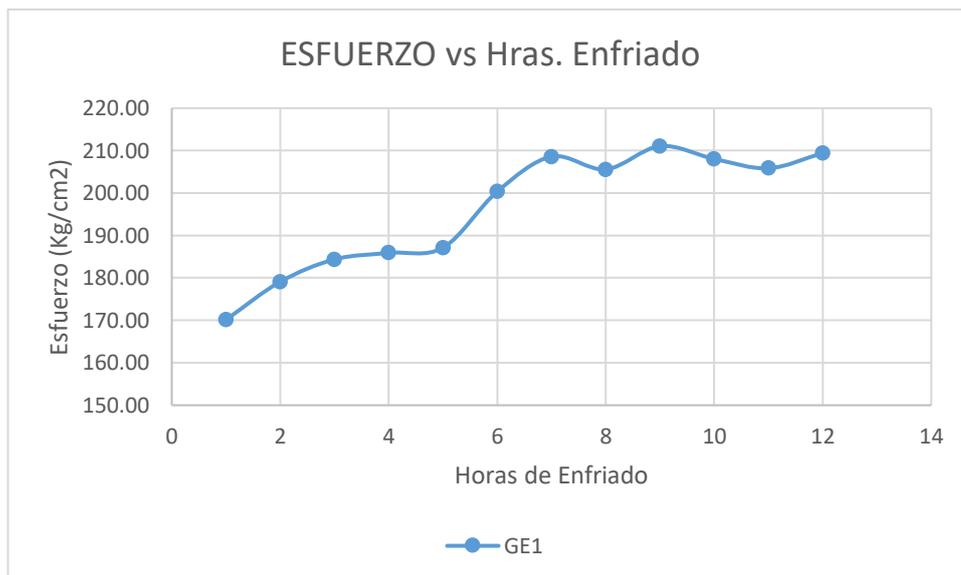
En la **Tabla 42**, se observa que a más horas de enfriado en los especímenes la resistencia a compresión aumenta, hasta que llega a las 7 horas de enfriado, a partir de ese tiempo la resistencia compresión no varia puesto que los especímenes alcanzan una temperatura de aproximadamente 17 °C y ya no se enfría más.

**Figura 9** Temperatura °C vs Horas de enfriado



En la **Figura 9**, se observa que la temperatura disminuye a mayor tiempo de enfriado, hasta alcanzar las 7 horas a partir de ese tiempo la temperatura se mantiene en aproximadamente 17°C.

**Figura 10** Esfuerzo vs Horas de enfriado



En la **Figura 10**, podemos observar que la resistencia de los especímenes varia hasta que se enfrié por 7 horas, luego la resistencia se vuelve constante y no varía considerablemente, es por ello que podemos afirmar que para los GE1 y GE2 el tiempo máximo de enfriado es de 7 horas.

#### **4.6. ANÁLISIS DEL TIPO Y MODO DE FALLA DE LOS ESPECÍMENES A COMPRESIÓN.**

Se observó que el tipo de falla no fue típica, el tipo de fractura que tuvo mayor predominancia fue el tipo 5, que es una fractura que se produce en los lados tanto inferior como superior, también se distinguió el tipo 3, que son fisuras verticales columnadas a través de ambos extremos del espécimen.

#### **4.7. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO.**

**Tabla 43** Modulo de elasticidad promedio para GC y GE2

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| <b>Módulo de elasticidad GC</b>  | 221,703.95 Kg/m <sup>2</sup> |
| <b>Módulo de elasticidad GE2</b> | 223,622.58 Kg/m <sup>2</sup> |

#### **4.8. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Los especímenes de concreto, curados por el método de curado acelerado de la NTP 339.213 (Método B, del agua hirviendo), obtuvieron una resistencia igual o superior a los especímenes de concreto curado por el método estándar.

La resistencia que se logró fue igual, no superior, para la resistencia máxima obtenida por el método curado estándar (GC), durante 28 días; se consiguió curando por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y con un tiempo de enfriamiento del espécimen de 7 horas a más, que es donde alcanza la temperatura ambiente, hipótesis válida.

# CAPITULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES.

- a) Los especímenes curados en laboratorio por el método acelerado durante **12 horas** y enfriados **7 horas**, alcanzaron la resistencia a compresión **equivalente** a los especímenes curados durante **28 días** por lo que se debe emplear con satisfacción para realizar control de calidad.
  
- b) Las características físicas y mecánicas de los agregados, cumplen con lo requerido por la Norma Técnica Peruana.
  
- c) La resistencia a compresión de los especímenes curados con el **método estándar**, a los **7, 14 y 28 días**, alcanzaron el **81.06%, 95.81% y 112.38%** de la resistencia diseñada.
  
- d) La resistencia a compresión de los especímenes curados con el **método acelerado**, durante **3.5 horas** alcanzan resistencias menores que el **75%**; durante **7 horas** y enfriados durante 2 horas, alcanzan una resistencia de **80.62% equivalente** a la resistencia alcanzada a los **7 días** por el método estándar; curados durante **12 horas** y enfriados durante 2 horas y 7 horas alcanzan una resistencia de **100.69% y 111.14% equivalentes** a la resistencia alcanzada a los **14 y 28 días** por el método **estándar**.

## **5.2.RECOMENDACIÓN.**

Realizar investigaciones con métodos de curado acelerado de la Norma Técnica Peruana 339.213 que son los siguientes: el método A – método de agua caliente, C – Método de curado autógeno y D – Método de alta presión y temperatura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI 308R-01: “Guía para el curado del hormigón” y la ACI 308.1-98: “Especificaciones estándar para el curado del hormigón”.
- [2] CASTILLO LINTON, Carlos, “Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adicción de nanopartículas de sílice”, Universidad Autónoma de Nuevo León. 2015.
- [3] FERNÁNDEZ LUCO, Luis, “Importancia del curado en la calidad del hormigón de recubrimiento”, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. 2009.
- [4] Figueroa Fagandini, María., “Uso de un sistema de curado Intermedio en Hormigo Fresco”. Universidad de Chile, Santiago de Chile. 2007
- [5] KOSMATKA, STEVEN H.; KERKHOFF, BEATRIX; PANARESE, WILLAN C.; Y TANESI, JUSSARA. *Diseño y Control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU, 2004.
- [6] LEZAMA LEIVA, J.L. *Tecnología del Concreto*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca – Perú, 1996.
- [7] Mayta, J, H. (2014). Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- [8] Neville, A. (1996), "Properties of Concrete" 4ª Edición (Final), Pearson Educational Ltd., ISBN 0-582-23070-5.
- [9] Norma Técnica Peruana NTP 339.213:2007 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto, 1ª Edición, se encuentra incluida en el Plan de revisión y actualización de Normas Técnicas Peruanas que cumplieron 8 años de vigencia.
- [10] Norma Técnica Peruana NTP 339.035. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. 1ra edición, Lima, Perú. 2011.
- [11] Norma Técnica Peruana NTP 400.017. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. 2011.

[12] Norma Técnica Peruana NTP 339.185. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado, 2013.

[13] Norma Técnica Peruana NTP 400.012. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, 2013.

[14] Norma Técnica Peruana NTP 400.018. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N°200) por lavado en agregados, 2013.

[15] Norma Técnica Peruana NTP 400.019. 1ra edición, Lima, Perú: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles, 3013.

[16] Norma Técnica Peruana NTP 400.021. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 1ra edición Lima, Perú. 2011.

[17] Norma Técnica Peruana NTP 400.022. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. Lima, Perú. 2011.

[18] Norma Técnica Peruana NTP 400.037. AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú. 2014.

[19] Norma Técnica Peruana NTP 339.088. 1ra Edición, Lima, Perú: CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos, 2014.

[20] Norma Técnica Peruana NTP 334.009. 1ra edición, Lima, Perú: CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos, 2016.

[21]) Norma Técnica Peruana NTP 339.034. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 1ra edición. Lima, Perú. 2013.

[22] OTTAZZI PASINO, G. "Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado." Tesis de Postgrado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú. 2004.

[23] Pasquel E.C (2011) Nuevas tendencias en edificaciones urbanas e industriales; comportamiento de los materiales y sus posibilidades estructurales, UPC Escuela de Postgrado.

[24] POWER, T.C., "A discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete", Proceedings, Highway Research Board, V.27, 1948.

[25] RUÍZ ENERO, Patricia A., "Influencia de los métodos comunes de curado en los especímenes de concreto de alto desempeño", Lima-Perú. 2006.

# ANEXOS

## ANEXO 1: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

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

### 1.1. Peso específico y absorción.

#### a) Para el Agregado fino (ASTM C127 / MTC E 205-2000)

**Tabla 44.** Peso específico y absorción del agregado fino.

| DATOS                                     | 1°     | 2°     | 3°     |
|---|--------|--------|--------|
| $W_{\text{agregado SSS}}$ (gr)            | 500.00 | 500.00 | 500.00 |
| $W_{\text{fiola}}$ (gr)                   | 161.20 | 161.20 | 161.20 |
| $W_{\text{agregado + fiola}}$ (gr)        | 659.70 | 659.70 | 659.70 |
| $W_{\text{fiola + agregado + agua}}$ (gr) | 972.22 | 972.36 | 971.75 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 45.** Peso específico y absorción del agregado fino.

| ENSAYO  | 1°     | 2°     | 3°     | PROMEDIO |
|---|--------|--------|--------|----------|
| $W_0$ =Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)                     | 494.10 | 494.08 | 494.00 | 494.06   |
| $V$ =Volumen del frasco (cm <sup>3</sup> )                                    | 500.00 | 500.00 | 500.00 | 500.00   |
| $V_a$ =Peso en gr o volumen del agua añadida al frasco (gr)                   | 311.02 | 311.16 | 310.55 | 310.91   |
| a. Peso específico de masa $P_{em}=W_0/(V-V_a)$                               | 2.615  | 2.616  | 2.608  | 2.613    |
| b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{ess}=500/(V-V_a)$ | 2.646  | 2.648  | 2.639  | 2.644    |
| c. Peso específico aparente $P_{ea}=W_0/((V-V_a)-(500-W_0))$                  | 2.699  | 2.701  | 2.693  | 2.698    |
| d. Absorsion $Abs=((500-W_0)/W_0)*100$  | 1.194  | 1.198  | 1.215  | 1.202    |

**b) Para el Agregado grueso (ASTM C128 / MTC E 206-2000)**

**Tabla 46.** Peso específico y absorción del agregado grueso.

| DATOS                                     | 1°             | 2°             | 3°             |
|---|----------------|----------------|----------------|
| $W_{\text{Malla + grava sumergida (gr)}}$ | <b>4085.00</b> | <b>4088.00</b> | <b>4087.00</b> |
| $W_{\text{Malla Sumergida (g)}}$          | 2220.00        | 2220.00        | 2220.00        |

**Tabla 47.** Peso específico y absorción del agregado grueso.

| ENSAYO  | 1°      | 2°      | 3°      | Promedio     |
|---|---------|---------|---------|--------------|
| A=Peso en el aire de la muestra seca al horno (gr)                        | 2969.00 | 2970.00 | 2968.00 | .....        |
| B=Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gr)         | 3000.00 | 3000.00 | 3000.00 | .....        |
| C=Peso en el agua de la muestra saturada (gr)                             | 1865.00 | 1868.00 | 1867.00 | .....        |
| a. Peso específico de masa $P_{e}=A/(B-C)$                                | 2.616   | 2.624   | 2.620   | <b>2.620</b> |
| b. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{ess}=B/(B-C)$ | 2.643   | 2.650   | 2.648   | <b>2.647</b> |
| c. Peso específico aparente $P_{ea}=A/(A-C)$                              | 2.689   | 2.695   | 2.696   | <b>2.693</b> |
| d. Absorción $Abs=((B-A)/A)*100$  | 1.044   | 1.010   | 1.078   | <b>1.044</b> |

**1.2. Peso unitario.**

**a) Para el Agregado fino (ASTM C128 / MTC E 206-2000)**

**Tabla 48.** Peso unitario suelto del agregado fino.

| DATOS                                       |         |
|---|---------|
| <b>Calculo del peso específico del agua</b> |         |
| Peso de fiola+agua (gr)                     | 659.70  |
| Peso de fiola (gr)                          | 161.20  |
| Peso de agua (gr)                           | 498.50  |
| Volumen fiola (cm3)                         | 500.00  |
| Peso específico=W/V (gr/cm3)                | 0.9970  |
| P.e en (kg/m3)                              | 997.00  |
| <b>Calculo del factor f</b>                 |         |
| Peso específico del agua (kg/m3)            | 997.00  |
| Peso del Cilindro+vidrio (kg)               | 3.881   |
| Peso del Cilindro+vidrio+Agua (kg)          | 6.850   |
| Peso Agua (Pagua)=                          | 2.969   |
| >>> f (1/m3) =                              | 335.803 |

**Tabla 49.** Peso unitario suelto del agregado fino.

| ENSAYO                                | 1°             | 2°      | 3°      |
|---------------------------------------|----------------|---------|---------|
| Peso del recipiente (kg)              | 3.385          | 3.385   | 3.385   |
| Peso del recipiente + muestra (kg)    | 8.055          | 8.050   | 8.258   |
| Peso de muestra (kg)                  | 4.670          | 4.665   | 4.644   |
| f                                     | 335.80         | 335.80  | 335.80  |
| PUSS (kg/cm3)                         | 1568.20        | 1566.52 | 1559.57 |
| Peso Unitario Suelto promedio (Kg/m3) | <b>1564.77</b> |         |         |

**Tabla 50.** Peso unitario compactado del agregado fino.

| ENSAYO                                    | 1°             | 2°      | 3°      |
|---|----------------|---------|---------|
| Peso del recipiente (kg)                  | 3.385          | 3.385   | 3.385   |
| Peso del recipiente+muestra (kg)          | 8.377          | 8.355   | 8.322   |
| Peso de muestra (kg)                      | 4.992          | 4.970   | 4.937   |
| f   | 335.80         | 335.80  | 335.80  |
| PUC kg/cm3                                | 1676.33        | 1668.94 | 1657.86 |
| Peso Unitario Compactado promedio (Kg/m3) | <b>1667.71</b> |         |         |

**b) Para el Agregado grueso (ASTM C 29, NTP 400.017)**

**Tabla 51.** Peso unitario del agregado grueso.

| DATOS                              |         |
|------------------------------------|---------|
| Peso de fiola + agua (gr)          | 659.70  |
| Peso de fiola (gr)                 | 161.20  |
| Peso de agua (gr)                  | 498.50  |
| Volumen fiola (cm3)                | 500.00  |
| Peso específico=W/V (gr/cm3)       | 0.9970  |
| P.e en (kg/m3)                     | 997.00  |
| Calculo del factor f               |         |
| Peso específico del agua (kg/m3)   | 997.00  |
| Peso del Cilindro (kg)             | 4.205   |
| Peso del Cilindro+vidrio+Agua (kg) | 13.942  |
| Peso Agua (Pagua)=                 | 9.737   |
| >>> f (1/m3) =                     | 102.393 |

**Tabla 52.** Peso unitario suelto del agregado grueso.

| ENSAYO                           | 1°      | 2°      | 3°      |
|----------------------------------|---------|---------|---------|
| Peso del recipiente (kg)         | 4.202   | 4.202   | 4.202   |
| Peso del recipiente+muestra (kg) | 20.098  | 20.110  | 20.122  |
| Peso de muestra (kg)             | 15.896  | 15.908  | 15.920  |
| F                                | 102.39  | 102.39  | 102.39  |
| PUS kg/cm <sup>2</sup>           | 1627.64 | 1628.87 | 1630.10 |
| Peso Unitario Suelto promedio    | 1628.87 |         |         |

**Tabla 53.** Peso unitario compactado del agregado grueso.

| ENSAYO                            | 1°      | 2°      | 3°      |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|
| Peso del recipiente (kg)          | 4.202   | 4.202   | 4.202   |
| Peso del recipiente+muestra (kg)  | 21.421  | 21.435  | 21.428  |
| Peso de muestra (kg)              | 17.219  | 17.233  | 17.226  |
| F                                 | 102.39  | 102.39  | 102.39  |
| PUC kg/cm <sup>2</sup>            | 1763.10 | 1764.54 | 1763.82 |
| Peso Unitario Compactado promedio | 1763.82 |         |         |

### 1.3. Contenido de humedad.

#### a) Para el agregado fino (ASTM C71 / MTC E 203-2000)

**Tabla 54.** Contenido de humedad del agregado fino.

| DATOS                         | 1°          | 2°          | 3°          |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso de tara                  | 348.00      | 367.00      | 375.00      |
| Peso de tara + muestra húmeda | 3512.00     | 3758.00     | 5624.00     |
| Peso de tara + muestra seca   | 3407.00     | 3644.00     | 5450.00     |
| <b>Contenido de humedad</b>   | <b>3.43</b> | <b>3.48</b> | <b>3.43</b> |
| <b>PROMEDIO W%</b>            | <b>3.45</b> |             |             |

Fuente: Elaboración propia.

#### b) Para el Agregado grueso (ASTM C71 / MTC E 203-2000)

**Tabla 55.** Contenido de humedad del agregado grueso.

| DATOS                         | 1°          | 2°          | 3°          |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Peso de tara                  | 101.00      | 104.00      | 105.00      |
| Peso de tara + muestra húmeda | 2854.00     | 2344.00     | 2355.00     |
| Peso de tara + muestra seca   | 2846.00     | 2337.00     | 2348.00     |
| <b>Contenido de humedad</b>   | <b>0.29</b> | <b>0.31</b> | <b>0.31</b> |
| <b>PROMEDIO W%</b>            | <b>0.31</b> |             |             |

#### 1.4. Análisis granulométrico.

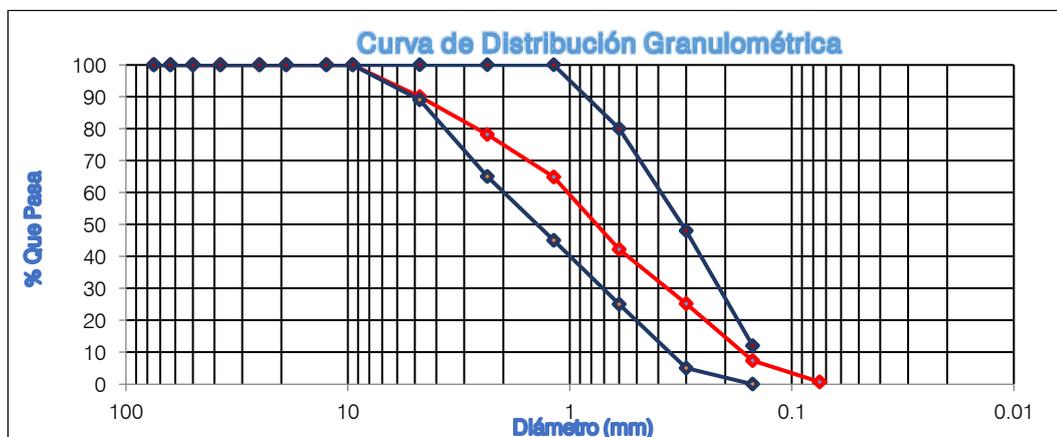
##### a) Para el Agregado fino (A.S.T.M. C 136 / NTP 400.012)

De la Tabla N° 31, 32 y 33, y las figuras N° 6, 7 y 8 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 **2.924**

**Tabla 56.** Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado fino

| PESO SECO INICIAL =                            |                      | 1500.00 gr.           |                     | MÓDULO DE FINURA | 2.909               |
|--|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) = |                      | 12.00 gr.             |                     |                  |                     |
| TAMIZ N°                                       | ABERTURA TAMIZ (mm.) | PESO RETENIDO PARCIAL | PORCENTAJE RETENIDO |                  | PORCENTAJE QUE PASA |
|  |                      |                       | PARCIAL             | ACUMULADO        |                     |
| 3/8"   | 9.50                 | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| N° 4   | 4.75                 | 146.00                | 9.73                | 9.73             | 90.27               |
| N° 8   | 2.36                 | 180.00                | 12.00               | 21.73            | 78.27               |
| N° 16  | 1.18                 | 200.00                | 13.33               | 35.07            | 64.93               |
| N° 30  | 0.60                 | 335.00                | 22.33               | 57.40            | 42.60               |
| N° 50  | 0.30                 | 258.00                | 17.20               | 74.60            | 25.40               |
| N° 100   | 0.15                 | 267.00                | 17.80               | 92.40            | 7.60                |
| N° 200   | 0.075                | 102.00                | 6.80                | 99.20            | 0.80                |
| CAZOLETA                                       | --                   | 12.00                 | 0.80                | 100.00           | 0.00                |
| TOTAL  | 1500.00              |                       |                     |                  |                     |

**FIGURA 11.** Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado fino



**Cc:** 1.06

**Cu:** 6.19

### Observación:

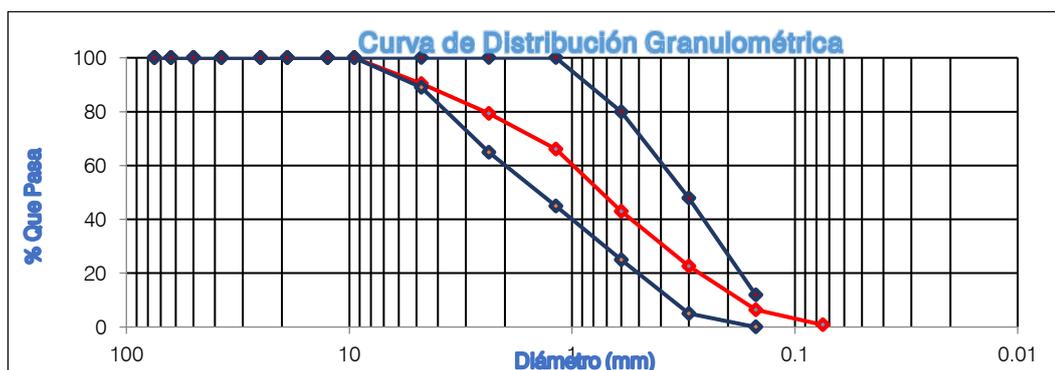
La curva granulométrica del agregado fino cumple con el huso granulométrico "M" de la Norma N.T.P. 400.037

El módulo de finura del agregado estudiado para este ensayo es de **2.909**

**Tabla 57.** Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado fino

| PESO SECO INICIAL =                            |                      | 1600.00 gr.           |                     | MÓDULO DE FINURA | 2.799               |
|--|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) = |                      | 11.00 gr.             |                     |                  |                     |
| TAMIZ N°                                       | ABERTURA TAMIZ (mm.) | PESO RETENIDO PARCIAL | PORCENTAJE RETENIDO |                  | PORCENTAJE QUE PASA |
|  |                      |                       | PARCIAL             | ACUMULADO        |                     |
| 3/8"   | 9.50                 | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| N° 4   | 4.75                 | 143.00                | 8.94                | 8.94             | 91.06               |
| N° 8   | 2.36                 | 168.00                | 10.50               | 19.44            | 80.56               |
| N° 16  | 1.18                 | 201.00                | 12.56               | 32.00            | 68.00               |
| N° 30  | 0.60                 | 343.00                | 21.44               | 53.44            | 46.56               |
| N° 50  | 0.30                 | 300.00                | 18.75               | 72.19            | 27.81               |
| N° 100   | 0.15                 | 348.00                | 21.75               | 93.94            | 6.06                |
| N° 200   | 0.075                | 86.00                 | 5.38                | 99.31            | 0.69                |
| CAZOLETA                                       | --                   | 11.00                 | 0.69                | 100.00           | 0.00                |
| TOTAL  | 1600.00              |                       |                     |                  |                     |

**FIGURA 12.** Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado fino



**Cc:** 1.13      **Cu:** 5.56

### Observación:

La curva granulométrica del agregado fino cumple con el huso granulométrico "M" de la Norma N.T.P. 400.037

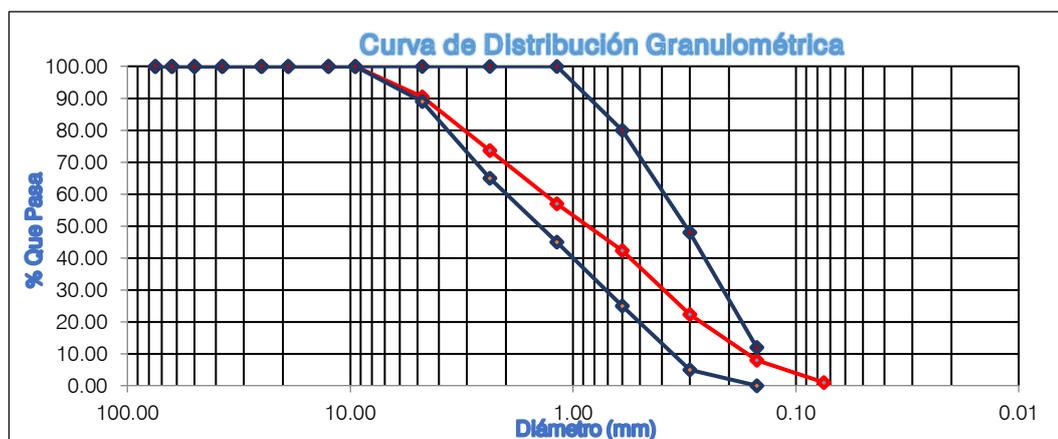
El módulo de finura del agregado estudiado para este ensayo es de **2.799**

**Tabla 58.** Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado fino

| TAMIZ N° | ABERTURA TAMIZ (mm.) | PESO RETENIDO PARCIAL | PORCENTAJE RETENIDO |           | PORCENTAJE QUE PASA |
|----------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------|---------------------|
|          |                      |                       | PARCIAL             | ACUMULADO |                     |
| 3/8"     | 9.50                 | 0.00                  | 0.00                | 0.00      | 100.00              |
| N° 4     | 4.75                 | 143.00                | 9.53                | 9.53      | 90.47               |
| N° 8     | 2.36                 | 252.00                | 16.80               | 26.33     | 73.67               |
| N° 16    | 1.18                 | 250.00                | 16.67               | 43.00     | 57.00               |
| N° 30    | 0.60                 | 221.00                | 14.73               | 57.73     | 42.27               |
| N° 50    | 0.30                 | 300.00                | 20.00               | 77.73     | 22.27               |
| N° 100   | 0.15                 | 214.00                | 14.27               | 92.00     | 8.00                |
| N° 200   | 0.075                | 105.00                | 7.00                | 99.00     | 1.00                |
| CAZOLETA | --                   | 15.00                 | 1.00                | 100.00    | 0.00                |
| TOTAL    | 1500.00              |                       |                     |           |                     |

Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 13.** Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado fino



Fuente: Elaboración propia.

**Cc:** 1.01      **Cu:** 7.29

**Observación:**

La curva granulométrica del agregado fino cumple con el huso granulométrico "M" de la Norma N.T.P. 400.037

El módulo de finura del agregado estudiado para este ensayo es de **3.063**

**b) Para el Agregado grueso (A.S.T.M. C 136 / NTP 400.012)**

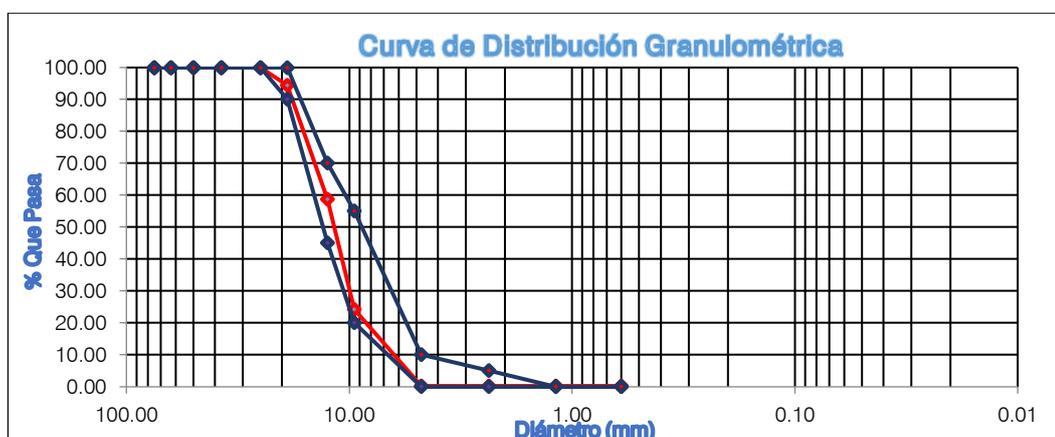
**Cc:** coeficiente de curvatura; **Cu:** coeficiente de uniformidad

De la Tabla N° 34, 35 y 36, y las Figuras N° 9, 10 y 11 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, siendo el promedio granulométrico de los 3 ensayos 6.791

**Tabla 59.** Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado grueso

| PESO SECO INICIAL =                            |                      | 8000.00 gr.           |                     | MÓDULO DE FINURA | 6.797               |
|--|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) = |                      | 21.00 gr.             |                     |                  |                     |
| TAMIZ N°                                       | ABERTURA TAMIZ (mm.) | PESO RETENIDO PARCIAL | PORCENTAJE RETENIDO |                  | PORCENTAJE QUE PASA |
|  |                      |                       | PARCIAL             | ACUMULADO        |                     |
| 3"   | 75.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 2 1/2"   | 63.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 2"   | 50.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 1 1/2"   | 37.50                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 1"   | 25.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 3/4"   | 19.00                | 444.00                | 5.55                | 5.55             | 94.45               |
| 1/2"   | 12.50                | 2855.00               | 35.69               | 41.24            | 58.76               |
| 3/8"   | 9.50                 | 2755.00               | 34.44               | 75.68            | 24.33               |
| N° 4   | 4.75                 | 1925.00               | 24.06               | 99.74            | 0.26                |
| CAZOLETA                                       | --                   | 21.00                 | 0.26                | 100.00           | 0.00                |
| TOTAL  | 8000.00              |                       |                     |                  |                     |

**FIGURA 14.** Ensayo N° 01: Análisis granulométrico del agregado grueso



Cc: 1.06      Cu: 2.11

**Observación:**

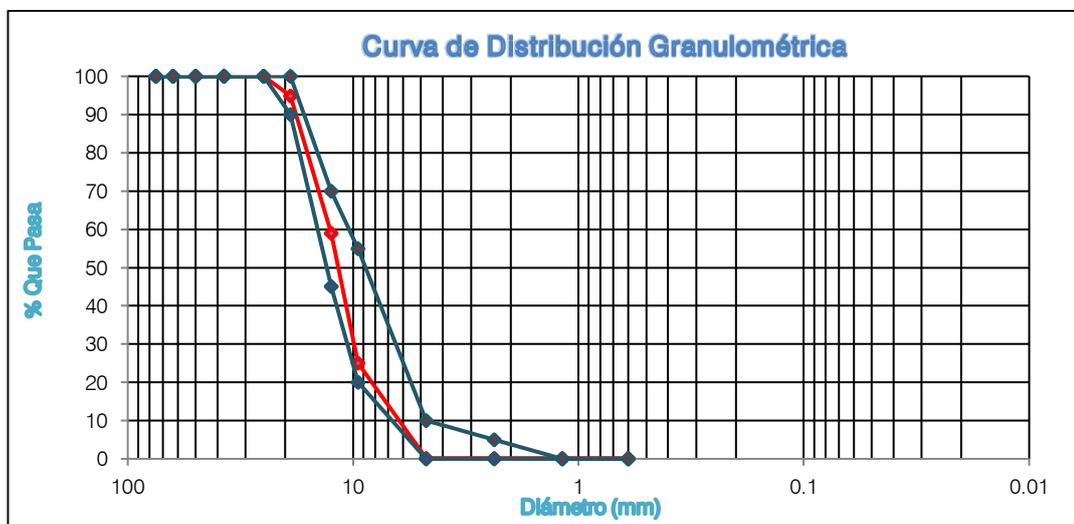
La curva granulométrica del agregado grueso simple con huso granulométrico N° 67 de la Norma A.S.T.M. – 11

El módulo de finura del agregado estudiado para este ensayo es de **6.797**

**Tabla 60.** Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado grueso

| PESO SECO INICIAL =                            |                      | 8000.00 gr.           |                     | MÓDULO DE FINURA | 6.790               |
|--|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) = |                      | 15.00 gr.             |                     |                  |                     |
| TAMIZ N°                                       | ABERTURA TAMIZ (mm.) | PESO RETENIDO PARCIAL | PORCENTAJE RETENIDO |                  | PORCENTAJE QUE PASA |
|  |                      |                       | PARCIAL             | ACUMULADO        |                     |
| 3"   | 75.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 2 1/2"   | 63.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 2"   | 50.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 1 1/2"   | 37.50                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 1"   | 25.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 3/4"   | 19.00                | 409.00                | 5.11                | 5.11             | 94.89               |
| 1/2"   | 12.50                | 2877.00               | 35.96               | 41.08            | 58.93               |
| 3/8"   | 9.50                 | 2711.00               | 33.89               | 74.96            | 25.04               |
| N° 4   | 4.75                 | 1988.00               | 24.85               | 99.81            | 0.19                |
| CAZOLETA                                       | --                   | 15.00                 | 0.19                | 100.00           | 0.00                |
| <b>TOTAL</b>                                   | <b>8000.00</b>       |                       |                     |                  |                     |

**FIGURA 15.** Ensayo N° 02: Análisis granulométrico del agregado grueso



Cc: 1.15      Cu: 2.26

**Observación:**

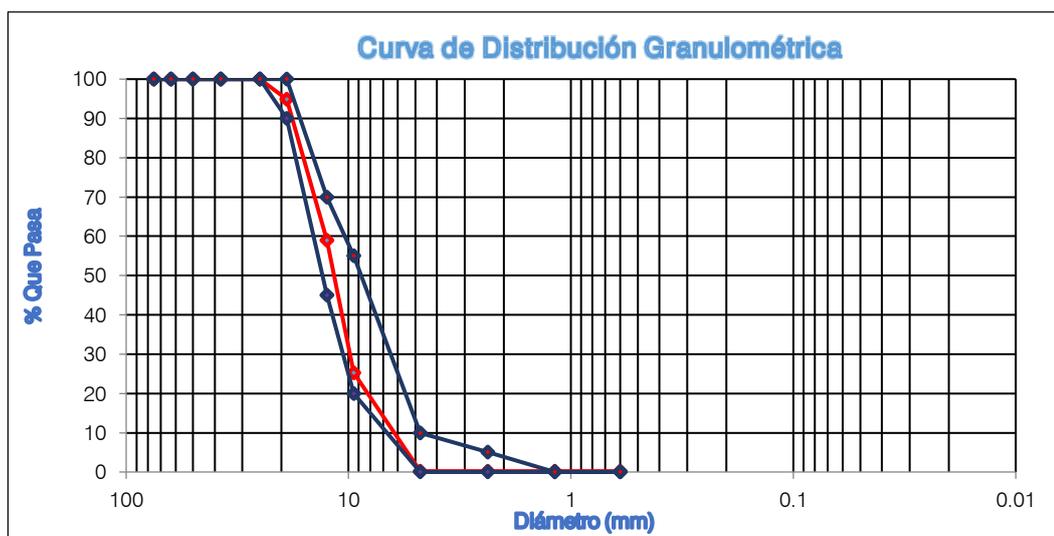
La curva granulométrica del agregado grueso simple con huso granulométrico N° 67 de la Norma A.S.T.M. – 11

El módulo de finura del agregado estudiado para este ensayo es de **6.790**

**Tabla 61.** Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado grueso

| PESO SECO INICIAL =                            |                      | 8000.00 gr.           |                     | MÓDULO DE FINURA | 6.786               |
|--|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) = |                      | 17.00 gr.             |                     |                  |                     |
| TAMIZ N°                                       | ABERTURA TAMIZ (mm.) | PESO RETENIDO PARCIAL | PORCENTAJE RETENIDO |                  | PORCENTAJE QUE PASA |
|  |                      |                       | PARCIAL             | ACUMULADO        |                     |
| 3"   | 75.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 2 1/2"   | 63.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 2"   | 50.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 1 1/2"   | 37.50                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 1"   | 25.00                | 0.00                  | 0.00                | 0.00             | 100.00              |
| 3/4"   | 19.00                | 411.00                | 5.14                | 5.14             | 94.86               |
| 1/2"   | 12.50                | 2869.00               | 35.86               | 41.00            | 59.00               |
| 3/8"   | 9.50                 | 2699.00               | 33.74               | 74.74            | 25.26               |
| N° 4   | 4.75                 | 2004.00               | 25.05               | 99.79            | 0.21                |
| CAZOLETA                                       | --                   | 17.00                 | 0.21                | 100.00           | 0.00                |
| TOTAL  | 8000.00              |                       |                     |                  |                     |

**FIGURA 16.** Ensayo N° 03: Análisis granulométrico del agregado grueso



**Cc:** 1.15

**Cu:** 2.18

**Observación:**

La curva granulométrica del agregado grueso simple con huso granulométrico N° 67 de la Norma A.S.T.M. – 11

El módulo de finura del agregado estudiado para este ensayo es de **6.786**

**1.5. Material más fino que el tamiz N°200.****a) Para el agregado fino (A.S.T.M. C 117 / NTP 400.018)****Tabla 62.** Ensayo: Material más fino que el tamiz N°200

| ENSAYO  | 1°           | 2°     | 3°     |
|---|--------------|--------|--------|
| Peso seco de la muestra original (gr.)          | 500.00       | 500.00 | 500.00 |
| Peso seco de la muestra lavada (gr.)            | 485.00       | 486.00 | 486.00 |
| Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (gr.) | 15.00        | 14.00  | 14.00  |
| % de material que pasa el tamiz N° 200          | 3.00%        | 2.80%  | 2.80%  |
| <b>PROMEDIO</b>                                 | <b>2.87%</b> |        |        |

**b) Para el agregado grueso (A.S.T.M. C 117 / NTP 400.018)****Tabla 63.** Ensayo: Material más fino que el tamiz N°200

| ENSAYO  | 1°           | 2°      | 3°      |
|---|--------------|---------|---------|
| Peso seco de la muestra original (gr.)          | 3000.00      | 3000.00 | 3000.00 |
| Peso seco de la muestra lavada (gr.)            | 2988.00      | 2987.00 | 2988.00 |
| Peso de material que pasa el tamiz N° 200 (gr.) | 12.00        | 13.00   | 12.00   |
| % de material que pasa el tamiz N° 200          | 0.40%        | 0.43%   | 0.40%   |
| <b>PROMEDIO</b>                                 | <b>0.41%</b> |         |         |

**1.6. Desgaste o resistencia a la abrasión (Norma Técnica peruana 400.019)****Tabla 64.** Desgaste o resistencia a la abrasión.

| ENSAYO                                    | 1°           | 2°      | 3°      |
|---|--------------|---------|---------|
| Peso de muestra Seca (gr)                 | 5003.00      | 5002.00 | 5000.00 |
| Wo=Peso de muestra Seca + recipiente (gr) | 4462.00      | 4347.00 | 4348.00 |
| Recipiente (gr)                           | 755.00       | 635.00  | 641.00  |
| Wf=Peso de muestra seca final (gr)        | 3707.00      | 3712.00 | 3707.00 |
| ABRASIÓN (%) = $(W_o - W_f) / W_o * 100$  | 25.90        | 25.79   | 25.86   |
| <b>PROMEDIO</b>                           | <b>25.85</b> |         |         |

## ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO



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

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 03

### Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150  
Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

| COMPOSICIÓN QUÍMICA  |   | CPSAA | Requisito<br>NTP 334.009 / ASTM C150 |
|----------------------|---|-------|--------------------------------------|
| MgO                  | % | 2.3   | Máximo 6.0                           |
| SO <sub>3</sub>      | % | 2.8   | Máximo 3.0                           |
| Pérdida por Ignición | % | 3.1   | Máximo 3.5                           |
| Residuo Insoluble    | % | 0.66  | Máximo 1.5                           |

| PROPIEDADES FÍSICAS    |                    | CPSAA | Requisito<br>NTP 334.009 / ASTM C150 |
|------------------------|--------------------|-------|--------------------------------------|
| Contenido de Aire      | %                  | 8     | Máximo 12                            |
| Expansión en Autoclave | %                  | 0.09  | Máximo 0.80                          |
| Superficie Especifica  | cm <sup>2</sup> /g | 3650  | Mínimo 2800                          |
| Densidad               | g/mL               | 3.08  | NO ESPECIFICA                        |

**Resistencia Compresión :**

|                                     |                              |               |                             |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| Resistencia Compresión a 3días      | MPa<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 26.5<br>(271) | Mínimo 12.0<br>(Mínimo 122) |
| Resistencia Compresión a 7días      | MPa<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 34.3<br>(350) | Mínimo 19.0<br>(Mínimo 194) |
| Resistencia Compresión a 28días (*) | MPa<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | 39.8<br>(406) | Mínimo 28.0<br>(Mínimo 286) |

**Tiempo de Fraguado Vicat :**

|                  |     |     |            |
|------------------|-----|-----|------------|
| Fraguado Inicial | min | 138 | Mínimo 45  |
| Fraguado Final   | min | 261 | Máximo 375 |

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.  
(\*) Requisito opcional.

**ANEXO 3: DISEÑO DE MEZCLA PARA GRUPO DE CONTROL (GC) Y  
GRUPO EXPERIMENTAL (GE1 Y GE2)**

**3.1. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO**

**Tabla 65.** Diseño de mezclas para concreto de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

|   |                           |                                 |                   |
|---|---------------------------|---------------------------------|-------------------|
| <b>CEMENTO:</b>                                 | PACASMAYO PORTLAND TIPO I | <b>PESO ESPECIFICO =</b>        | <b>3.12 g/cm3</b> |
| <b>PROCEDENCIA DE AGREGADOS:</b>                |                           | $F'c =$                         | 280 Kg/cm2        |
| <b>AGREG. FINO:</b>                             | CANTERA CHILETE           | $F'cr =$                        | 336.0 Kg/cm2      |
| <b>AGREG. GRUESO:</b>                           | CANTERA CHILETE           |                                 |                   |
| <b>CARACTERISTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS</b> |                           |                                 |                   |
|   | <b>AGREGADO FINO</b>      | <b>AGREGADO GRUESO</b>          |                   |
| <b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>                    | -                         | 3/4"                            |                   |
| <b>PESO ESPECIFICO DE MASA</b>                  | 2.613 g/cm3               | 2.620 g/cm3                     |                   |
| <b>PESO UNITARIO SUELTO SECO</b>                | 1565 kg/m3                | 1629 kg/m3                      |                   |
| <b>PESO UNITARIO SUELTO SECO COMPACTADO</b>     | 1668 kg/m3                | 1763 kg/m3                      |                   |
| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>                 | 3.450                     | 0.31                            |                   |
| <b>ABSORCION (%)</b>                            | 1.202                     | 1.044                           |                   |
| <b>MODULO DE FINURA</b>                         | 2.924                     | 6.791                           |                   |
| <b>ABRASION (%)</b>                             |                           | 25.85                           |                   |
| <b>PORCENTAJE QUE PASA MALLA N° 200</b>         | 2.87                      | 0.41                            |                   |
| <b>ASENTAMIENTO</b>                             | 3"- 4"                    |                                 |                   |
| <b>CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO =</b>           | 185 Lt/m3                 |                                 |                   |
| <b>AIRE TOTAL (%) =</b>                         | 2.0                       |                                 |                   |
| <b>RELACION A/Mc =</b>                          | 0.561                     |                                 |                   |
| <b>CEMENTO =</b>                                | 330.00 Kg/m3              | 7.765 bolsas/m3                 |                   |
| <b>METODO VOLUMENES ABSOLUTOS:</b>              |                           |                                 |                   |
| CEMENTO =                                       | 0.105769 m3               | MODULO DE COMBINACION:          | 5.138             |
| AGUA DE MEZCLADO =                              | 0.185 m3                  | % AGREGADO FINO =               | 42.75             |
| AIRE (%) =                                      | 0.02 m3                   | % AGREGADO GRUESO =             | 57.25             |
| SUMA =  | 0.310769 m3               |                                 |                   |
| <b>VOLUMEN DE AGREGADOS =</b>                   | 0.689231 m3               | <b>APORTE HUMEDAD AGREGADOS</b> |                   |
|   |                           | APORTE AF =                     | 17.31             |
| AGREGADO FINO SECO =                            | 791.00 Kg/m3              | APORTE AG =                     | -7.59             |
| AGREGADO GRUESO SECO =                          | 1013.00 Kg/m3             | TOTAL =                         | 9.72              |
|   |                           |                                 |                   |

| MATERIALES DE DISEÑO      |                    | MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD |                    |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|
| CEMENTO                   | 330.00 Kg          | CEMENTO                           | 330.00 Kg          |
| AGUA DE DISEÑO            | 185.00 Lt          | AGUA EFECTIVA                     | 174.65 Lt          |
| AGREGADO FINO SECO        | 770.00 Kg          | AGREGADO FINO HUMEDO              | 818.00 Kg          |
| AGREGADO GRUESO SECO      | 1034.00 Kg         | AGREGADO GRUESO HUMEDO            | 1016.00 Kg         |
| AIRE TOTAL                | 2.00 %             | AIRE TOTAL                        | 2.00 %             |
| <b>PROPORCION EN PESO</b> |                    | <b>PROPORCION EN VOLUMEN</b>      |                    |
| CEMENTO =                 | 1                  | CEMENTO =                         | 1                  |
| A. FINO =                 | 2.42               | A. FINO =                         | 2.25               |
| A. GRUESO =               | 3.14               | A. GRUESO =                       | 2.9                |
| AGUA =                    | 22.57 (Lt / Bolsa) | AGUA =                            | 22.57 (Lt / Bolsa) |

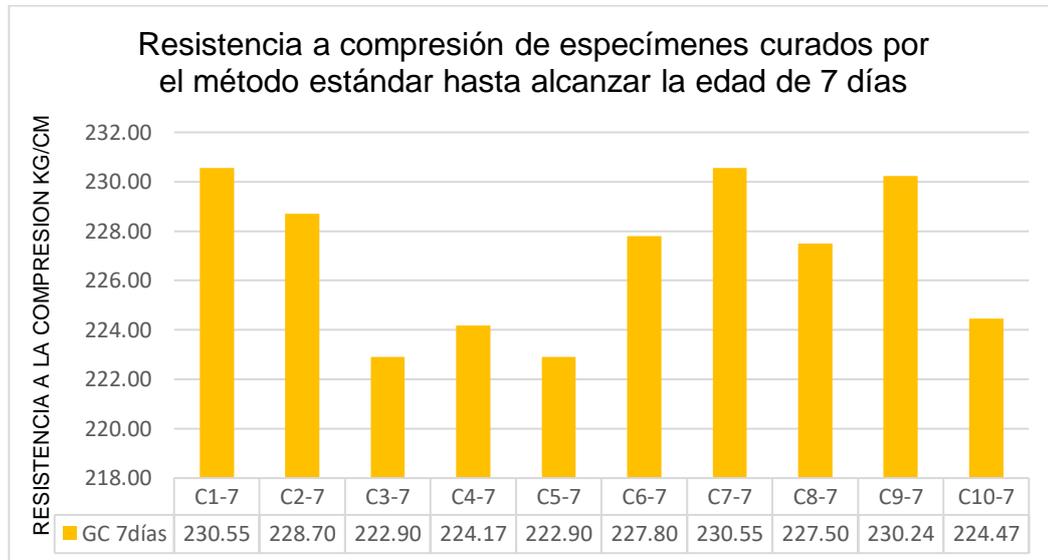
### 3.2. PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

Tabla 66. Peso unitario del concreto

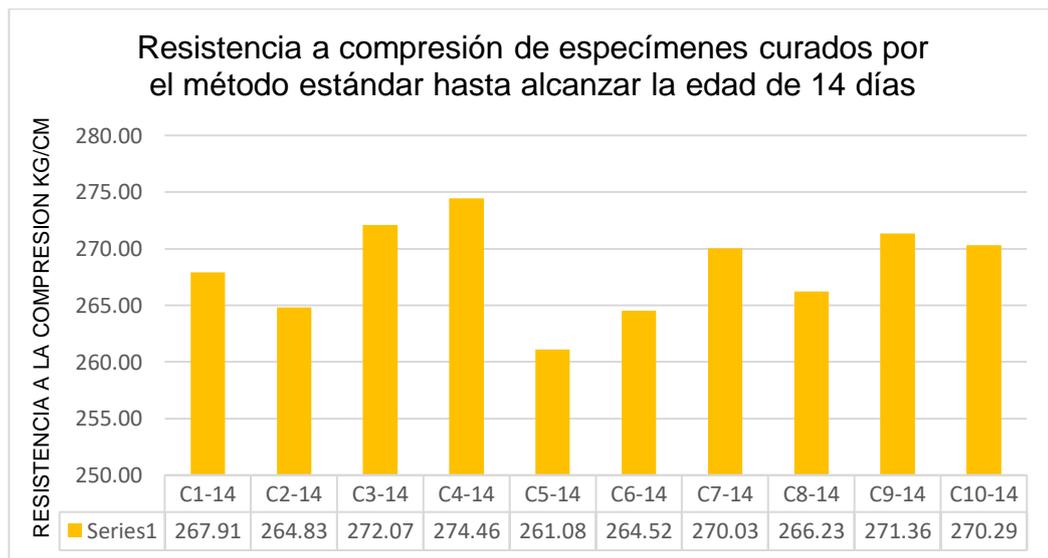
| Molde N°                                  | Peso del molde (Kg) | Peso del molde más concreto fresco (Kg) | volumen del molde (m <sup>3</sup> ) | Peso unitario del concreto fresco (Kg/m <sup>3</sup> ) |
|---|---------------------|---|-------------------------------------|--|
| C1-7                                      | 8.625               | 20.925                                  | 0.005301                            | 2320   |
| C2-7                                      | 8.570               | 20.875                                  | 0.005301                            | 2321   |
| C3-7                                      | 8.605               | 20.935                                  | 0.005301                            | 2326   |
| C4-7                                      | 8.600               | 20.870                                  | 0.005301                            | 2314   |
| C5-7                                      | 8.580               | 20.890                                  | 0.005301                            | 2322   |
| <b>Promedio (Kg/m<sup>3</sup>) : 2322</b> |                     |   |                                     |  |

## ANEXO 4: GRÁFICAS QUE MUESTRAN LA RESISTENCIA A COMPRESION.

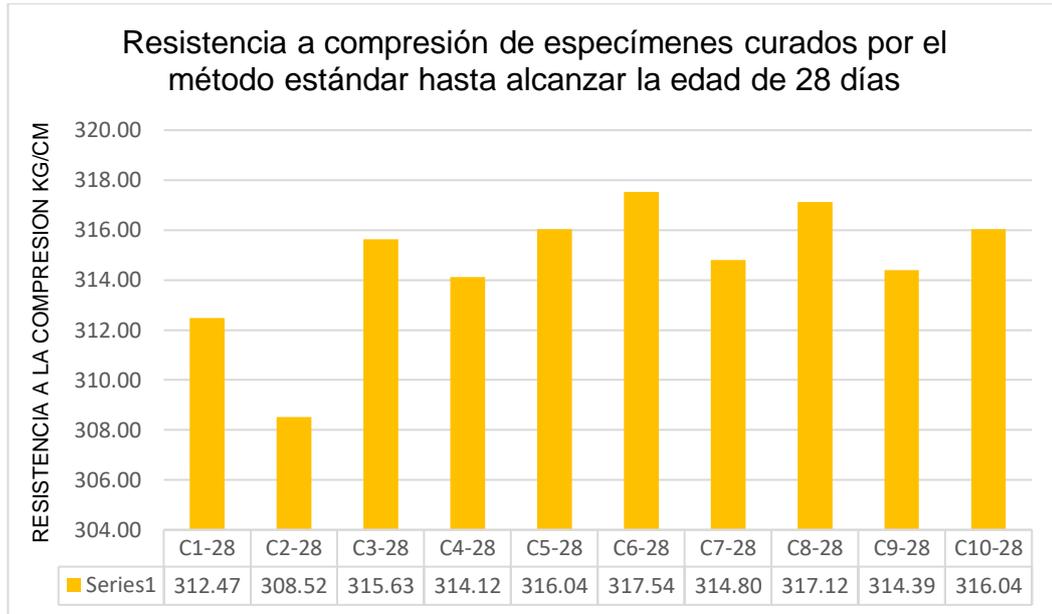
**Figura 17:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 7 días



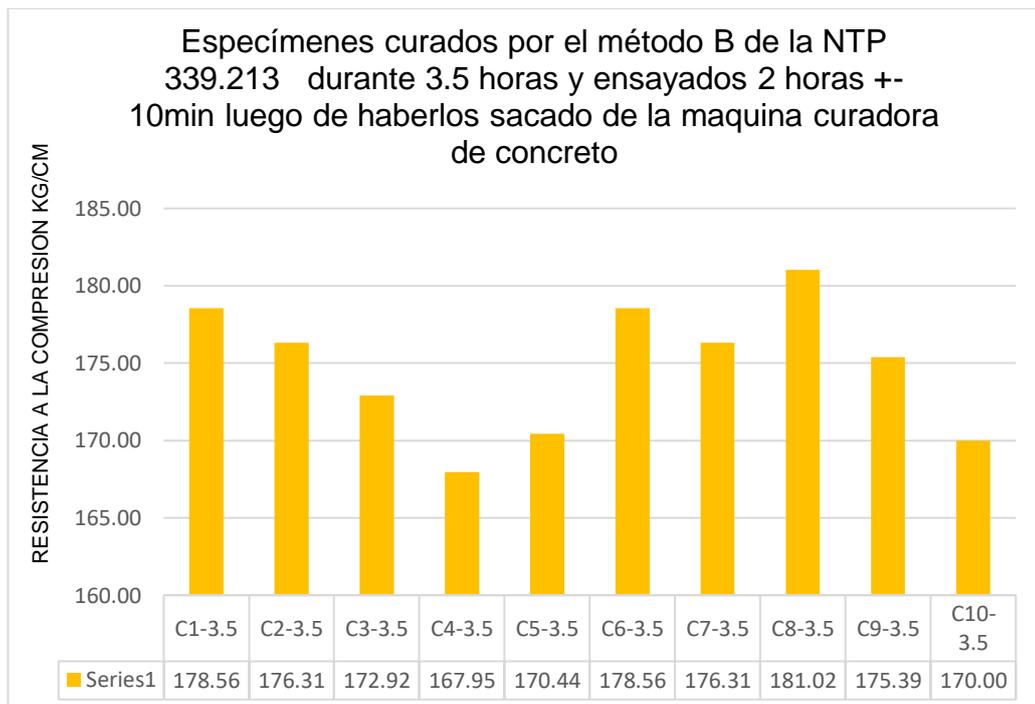
**Figura 18:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 14 días



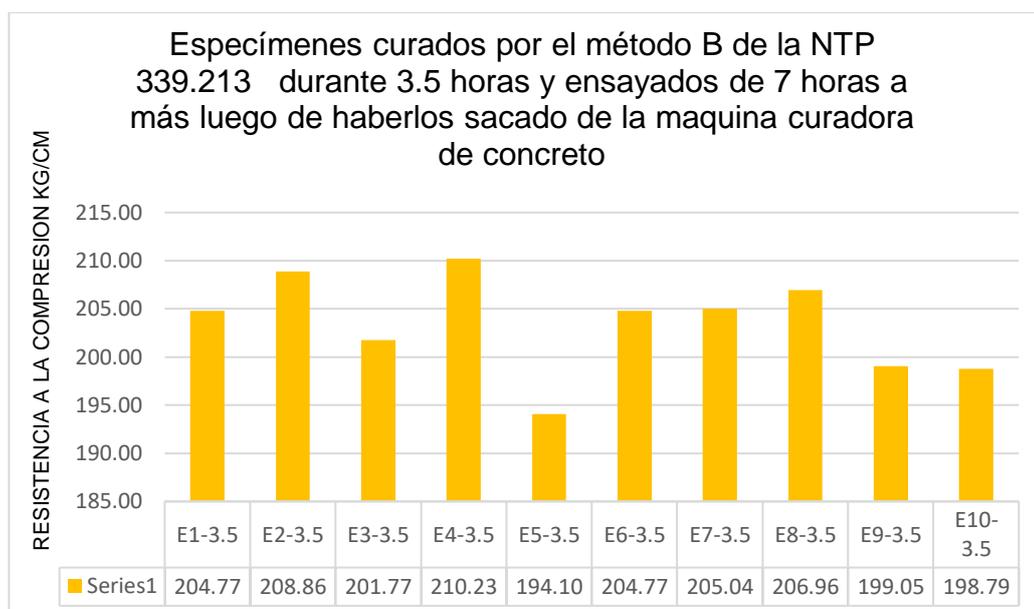
**Figura 19:** Resistencia a compresión de especímenes curados por el método estándar hasta alcanzar la edad de 28 días



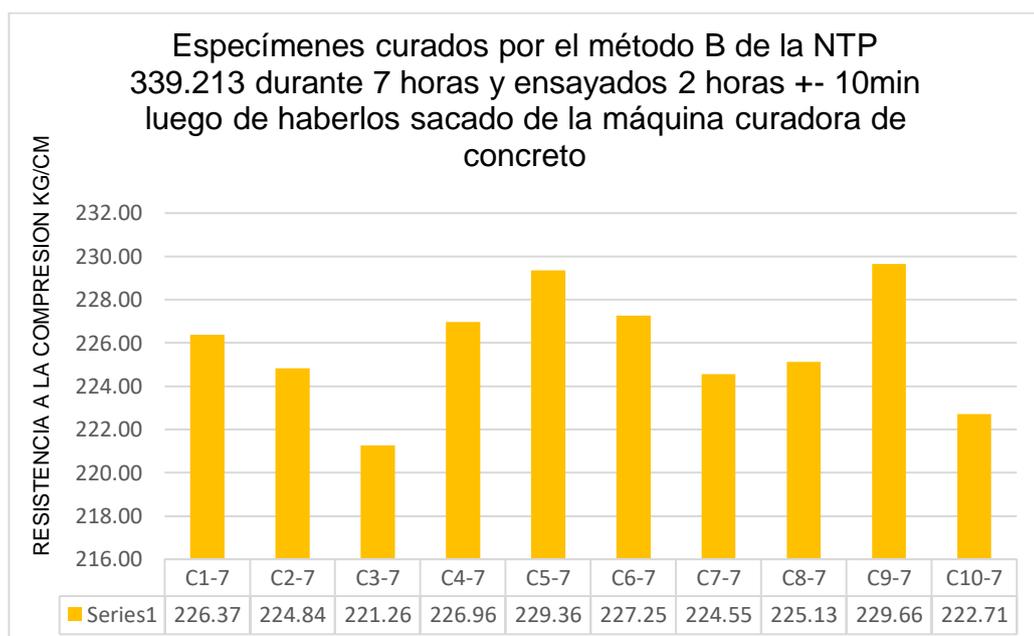
**Figura 20:** Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados 2 horas +/- 10min luego de haberlos sacado de la maquina curadora de concreto



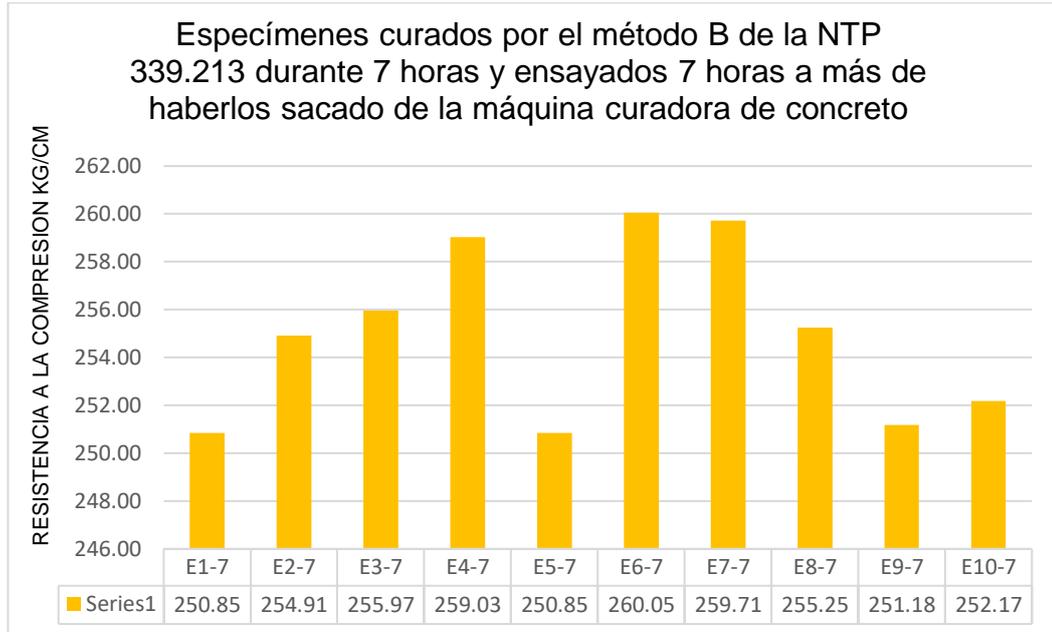
**Figura 21:** Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 3.5 horas y ensayados de 7 horas a más luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto



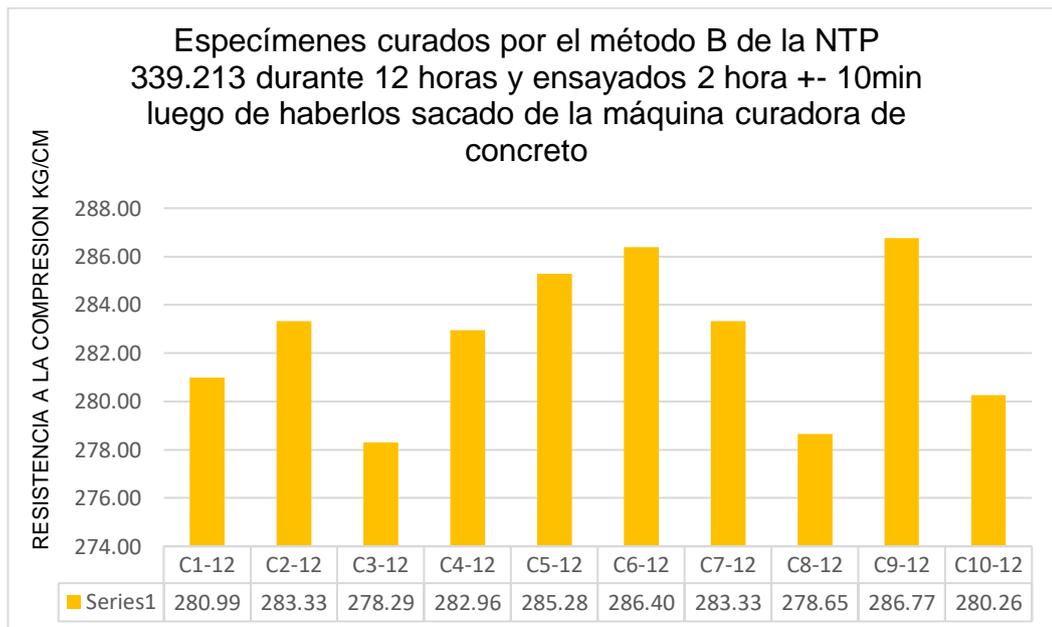
**Figura 22:** Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados 2 horas +- 10min luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto



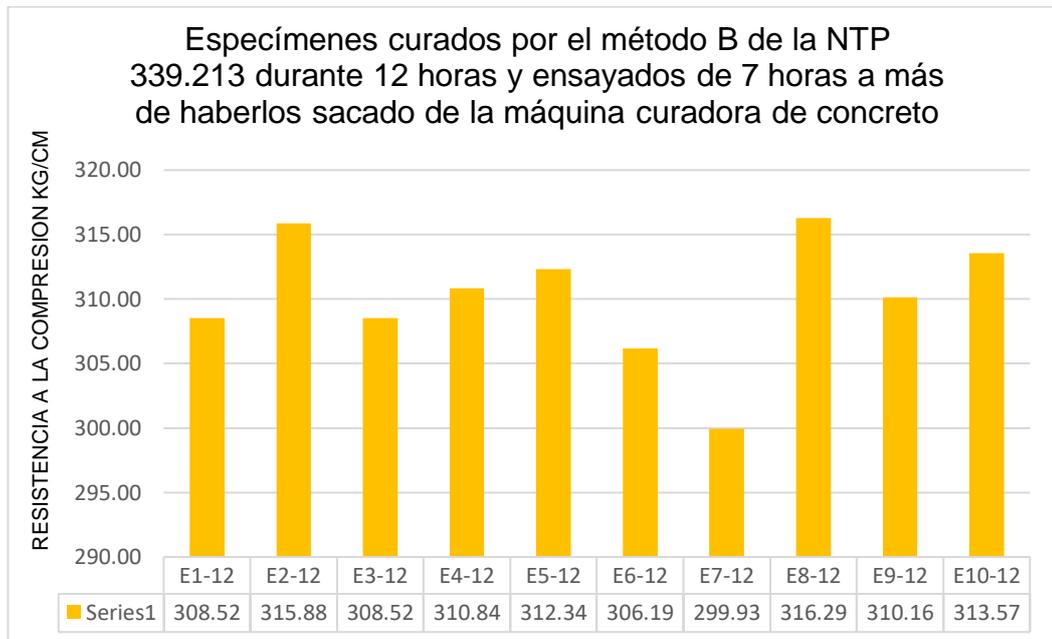
**Figura 23:** Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 7 horas y ensayados 7 horas a más de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto



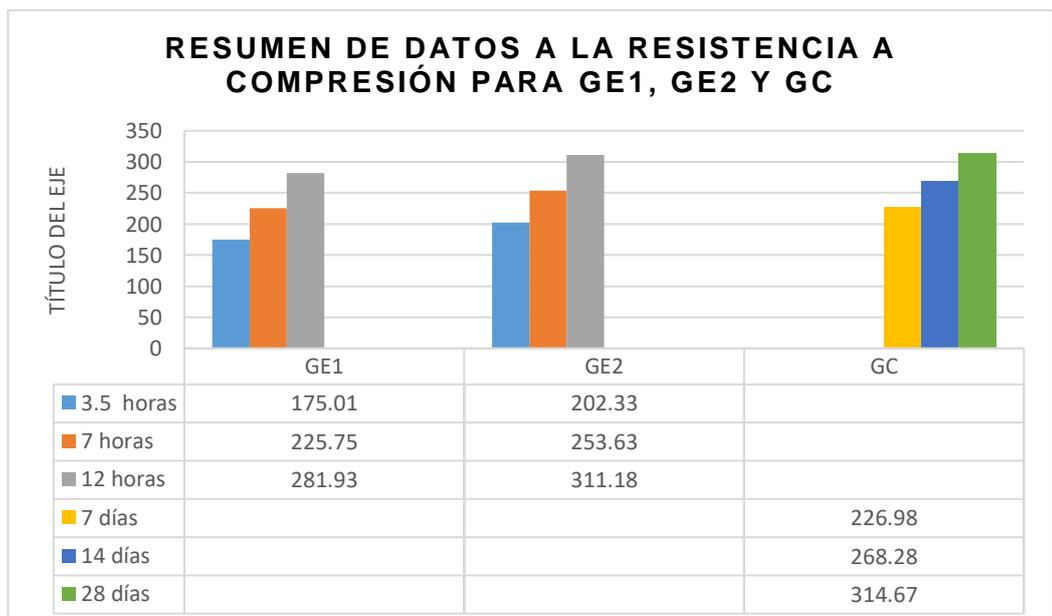
**Figura 24:** Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados 2 hora +- 10min luego de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto



**Figura 25:** Resistencia a compresión de Especímenes curados por el método B de la NTP 339.213 durante 12 horas y ensayados de 7 horas a más de haberlos sacado de la máquina curadora de concreto

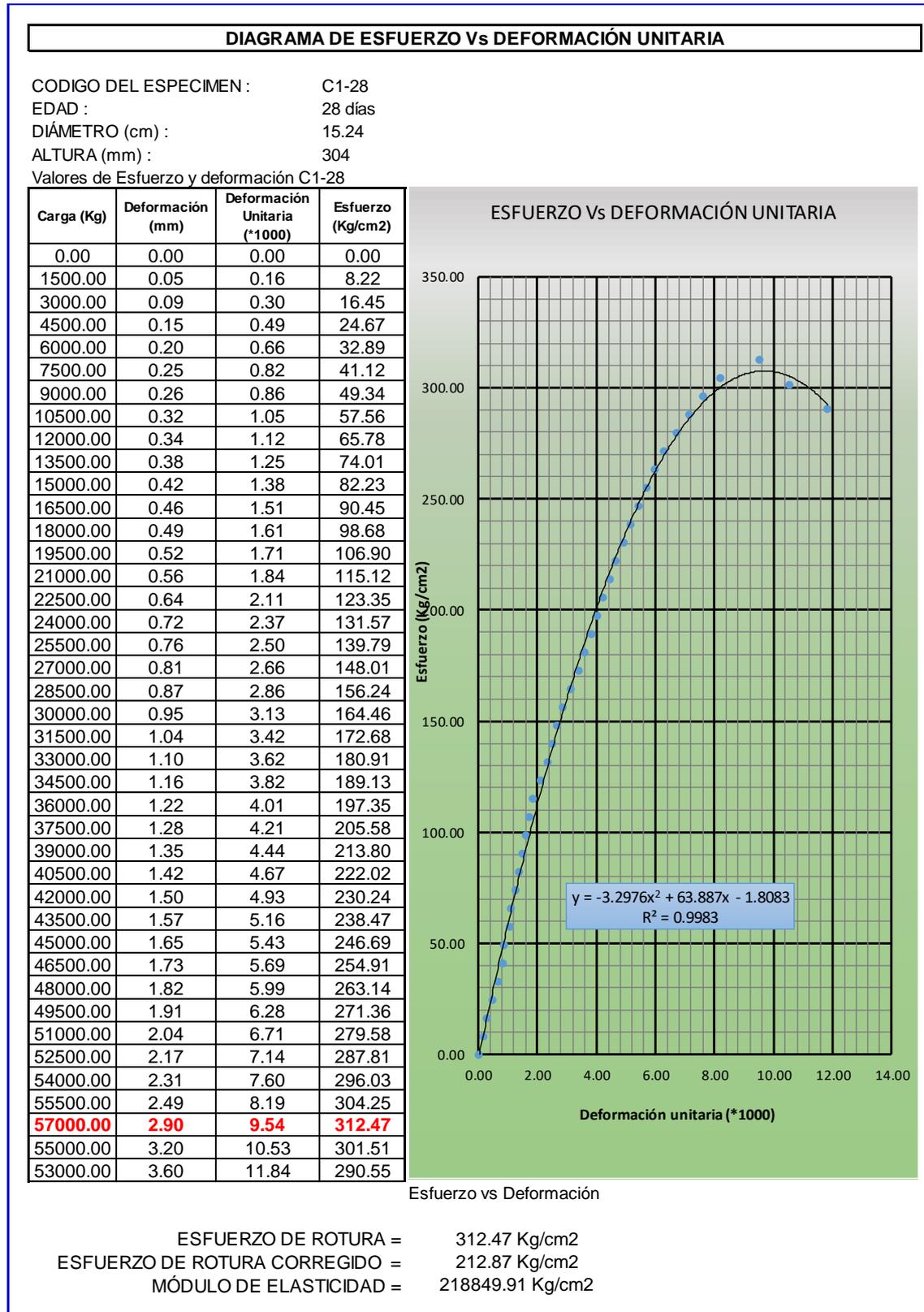


**Figura 26:** Resumen de datos a la resistencia a compresión para GE1, GE2 Y GC



## ANEXO 5: DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN UNITARIA

Tabla 67. Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen C1-28



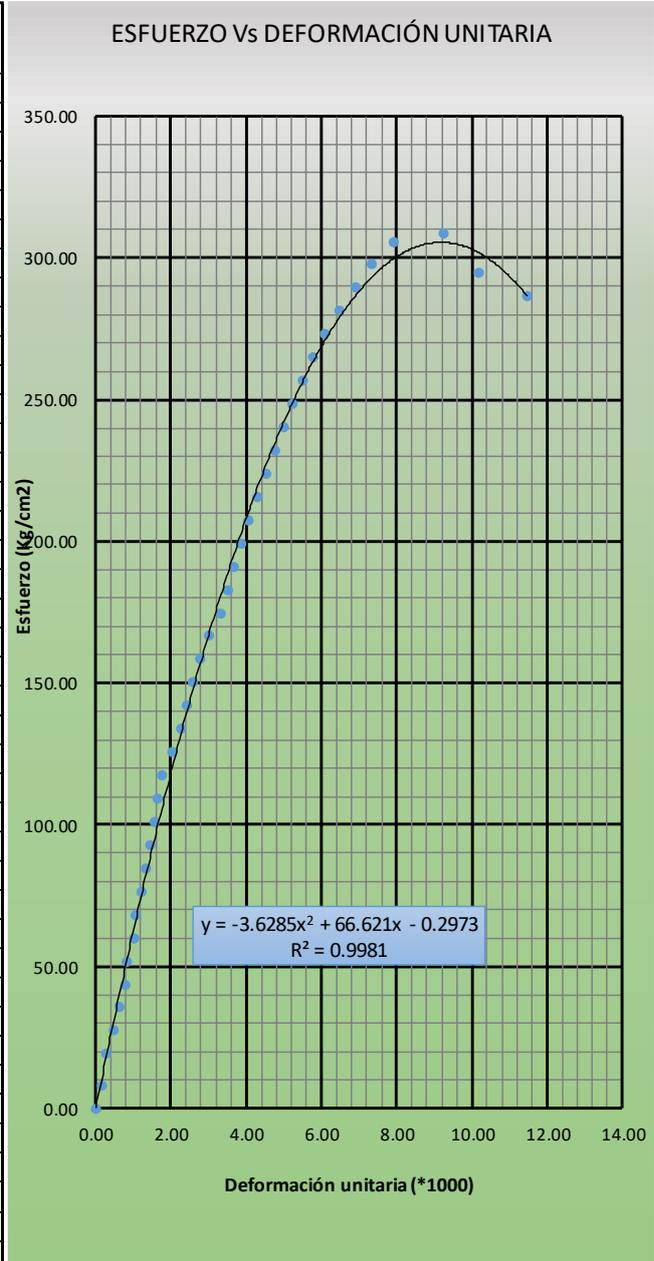
**Tabla 68.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen C2-28

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : C2-28  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.27  
 ALTURA (mm) : 304.5

Valores de Esfuerzo y deformación C2-28

| Carga (Kg)      | Deformación (mm) | Deformación Unitaria (*1000) | Esfuerzo (Kg/cm2) |
|-----------------|------------------|------------------------------|-------------------|
| 0.00            | 0.00             | 0.00                         | 0.00              |
| 1500.00         | 0.05             | 0.16                         | 8.19              |
| 3500.00         | 0.09             | 0.29                         | 19.11             |
| 5000.00         | 0.15             | 0.48                         | 27.30             |
| 6500.00         | 0.19             | 0.64                         | 35.49             |
| 8000.00         | 0.24             | 0.80                         | 43.68             |
| 9500.00         | 0.25             | 0.83                         | 51.87             |
| 11000.00        | 0.31             | 1.02                         | 60.07             |
| 12500.00        | 0.33             | 1.08                         | 68.26             |
| 14000.00        | 0.37             | 1.21                         | 76.45             |
| 15500.00        | 0.41             | 1.34                         | 84.64             |
| 17000.00        | 0.45             | 1.47                         | 92.83             |
| 18500.00        | 0.48             | 1.56                         | 101.02            |
| 20000.00        | 0.50             | 1.66                         | 109.21            |
| 21500.00        | 0.54             | 1.78                         | 117.40            |
| 23000.00        | 0.62             | 2.04                         | 125.59            |
| 24500.00        | 0.70             | 2.29                         | 133.78            |
| 26000.00        | 0.74             | 2.42                         | 141.97            |
| 27500.00        | 0.79             | 2.58                         | 150.16            |
| 29000.00        | 0.84             | 2.77                         | 158.35            |
| 30500.00        | 0.92             | 3.03                         | 166.55            |
| 32000.00        | 1.01             | 3.31                         | 174.74            |
| 33500.00        | 1.07             | 3.50                         | 182.93            |
| 35000.00        | 1.13             | 3.70                         | 191.12            |
| 36500.00        | 1.18             | 3.89                         | 199.31            |
| 38000.00        | 1.24             | 4.08                         | 207.50            |
| 39500.00        | 1.31             | 4.30                         | 215.69            |
| 41000.00        | 1.38             | 4.52                         | 223.88            |
| 42500.00        | 1.46             | 4.78                         | 232.07            |
| 44000.00        | 1.52             | 5.00                         | 240.26            |
| 45500.00        | 1.60             | 5.26                         | 248.45            |
| 47000.00        | 1.68             | 5.51                         | 256.64            |
| 48500.00        | 1.77             | 5.80                         | 264.83            |
| 50000.00        | 1.85             | 6.08                         | 273.02            |
| 51500.00        | 1.98             | 6.50                         | 281.22            |
| 53000.00        | 2.10             | 6.91                         | 289.41            |
| 54500.00        | 2.24             | 7.36                         | 297.60            |
| 56000.00        | 2.42             | 7.93                         | 305.79            |
| <b>56500.00</b> | <b>2.81</b>      | <b>9.24</b>                  | <b>308.52</b>     |
| 54000.00        | 3.10             | 10.19                        | 294.87            |
| 52500.00        | 3.49             | 11.47                        | 286.68            |



Esfuerzo vs Deformación

ESFUERZO DE ROTURA = 308.52 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 217.94 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 221443.93 Kg/cm2

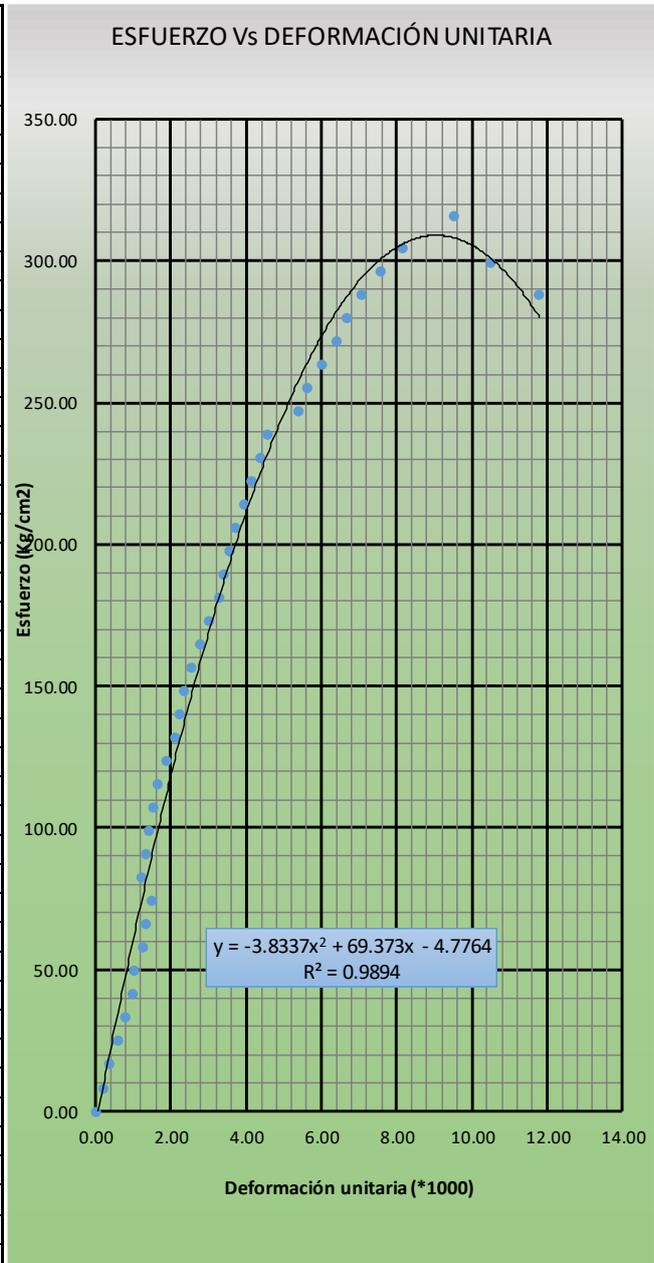
**Tabla 69.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen C3-28

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : C3-28  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.23  
 ALTURA (mm) : 305

Valores de Esfuerzo y deformación C3-28

| Carga (Kg)      | Deformación (mm) | Deformación Unitaria (*1000) | Esfuerzo (Kg/cm2) |
|-----------------|------------------|------------------------------|-------------------|
| 0.00            | 0.00             | 0.00                         | 0.00              |
| 1500.00         | 0.06             | 0.20                         | 8.23              |
| 3000.00         | 0.11             | 0.35                         | 16.47             |
| 4500.00         | 0.18             | 0.59                         | 24.70             |
| 6000.00         | 0.24             | 0.79                         | 32.94             |
| 7500.00         | 0.30             | 0.98                         | 41.17             |
| 9000.00         | 0.31             | 1.02                         | 49.40             |
| 10500.00        | 0.38             | 1.26                         | 57.64             |
| 12000.00        | 0.41             | 1.34                         | 65.87             |
| 13500.00        | 0.46             | 1.50                         | 74.10             |
| 15000.00        | 0.37             | 1.23                         | 82.34             |
| 16500.00        | 0.41             | 1.34                         | 90.57             |
| 18000.00        | 0.44             | 1.43                         | 98.81             |
| 19500.00        | 0.46             | 1.52                         | 107.04            |
| 21000.00        | 0.50             | 1.63                         | 115.27            |
| 22500.00        | 0.57             | 1.87                         | 123.51            |
| 24000.00        | 0.64             | 2.10                         | 131.74            |
| 25500.00        | 0.68             | 2.22                         | 139.98            |
| 27000.00        | 0.72             | 2.36                         | 148.21            |
| 28500.00        | 0.77             | 2.54                         | 156.44            |
| 30000.00        | 0.85             | 2.77                         | 164.68            |
| 31500.00        | 0.93             | 3.03                         | 172.91            |
| 33000.00        | 1.00             | 3.28                         | 181.14            |
| 34500.00        | 1.04             | 3.41                         | 189.38            |
| 36000.00        | 1.09             | 3.56                         | 197.61            |
| 37500.00        | 1.14             | 3.74                         | 205.85            |
| 39000.00        | 1.20             | 3.94                         | 214.08            |
| 40500.00        | 1.26             | 4.14                         | 222.31            |
| 42000.00        | 1.34             | 4.38                         | 230.55            |
| 43500.00        | 1.40             | 4.58                         | 238.78            |
| 45000.00        | 1.65             | 5.41                         | 247.01            |
| 46500.00        | 1.72             | 5.64                         | 255.25            |
| 48000.00        | 1.84             | 6.03                         | 263.48            |
| 49500.00        | 1.96             | 6.43                         | 271.72            |
| 51000.00        | 2.04             | 6.69                         | 279.95            |
| 52500.00        | 2.16             | 7.08                         | 288.18            |
| 54000.00        | 2.31             | 7.57                         | 296.42            |
| 55500.00        | 2.49             | 8.16                         | 304.65            |
| <b>57500.00</b> | <b>2.90</b>      | <b>9.51</b>                  | <b>315.63</b>     |
| 54500.00        | 3.20             | 10.49                        | 299.16            |
| 52500.00        | 3.60             | 11.80                        | 288.18            |



Esfuerzo vs Deformación

ESFUERZO DE ROTURA = 315.63 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 213.43 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 219138.93 Kg/cm2

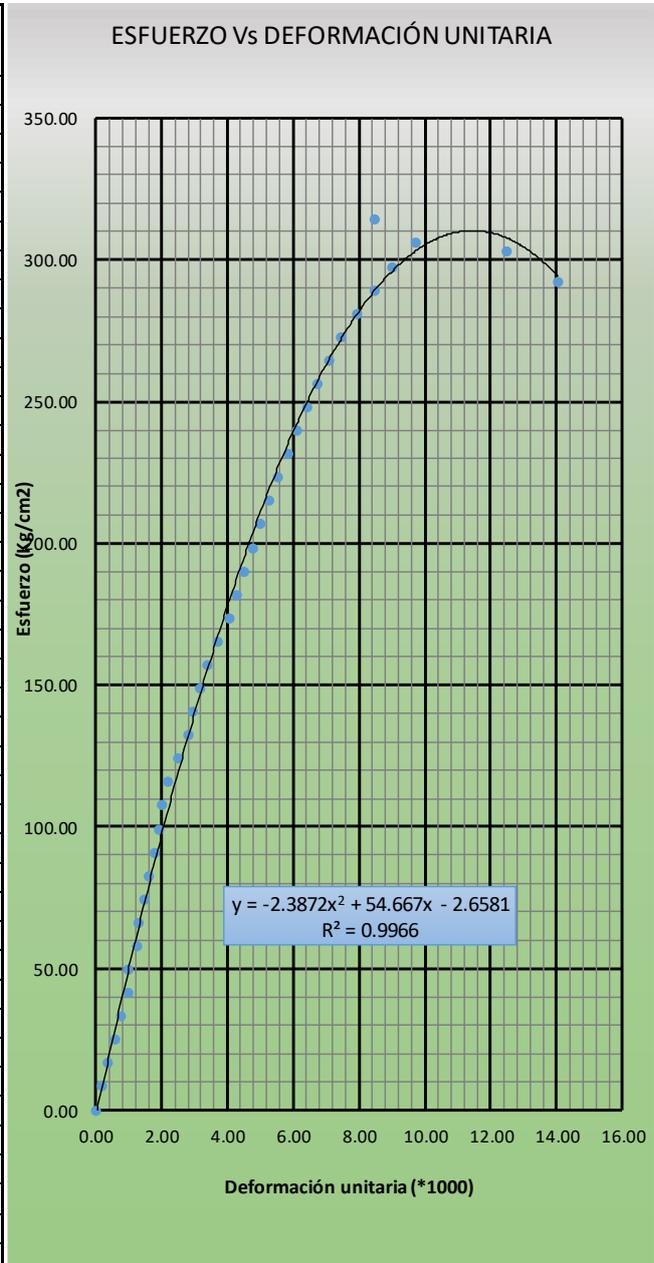
**Tabla 70.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen C4-28

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : C4-28  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.2  
 ALTURA (mm) : 307.5

Valores de Esfuerzo y deformación C4-28

| 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              |
| 3000.00         | 0.11             | 0.35                         | 16.53             |
| 4500.00         | 0.18             | 0.59                         | 24.80             |
| 6000.00         | 0.24             | 0.78                         | 33.07             |
| 7500.00         | 0.30             | 0.98                         | 41.33             |
| 9000.00         | 0.31             | 1.01                         | 49.60             |
| 10500.00        | 0.38             | 1.25                         | 57.86             |
| 12000.00        | 0.41             | 1.33                         | 66.13             |
| 13500.00        | 0.46             | 1.48                         | 74.40             |
| 15000.00        | 0.50             | 1.64                         | 82.66             |
| 16500.00        | 0.55             | 1.80                         | 90.93             |
| 18000.00        | 0.59             | 1.91                         | 99.20             |
| 19500.00        | 0.62             | 2.03                         | 107.46            |
| 21000.00        | 0.67             | 2.19                         | 115.73            |
| 22500.00        | 0.77             | 2.50                         | 124.00            |
| 24000.00        | 0.86             | 2.81                         | 132.26            |
| 25500.00        | 0.91             | 2.97                         | 140.53            |
| 27000.00        | 0.97             | 3.16                         | 148.79            |
| 28500.00        | 1.04             | 3.40                         | 157.06            |
| 30000.00        | 1.14             | 3.71                         | 165.33            |
| 31500.00        | 1.25             | 4.06                         | 173.59            |
| 33000.00        | 1.32             | 4.29                         | 181.86            |
| 34500.00        | 1.39             | 4.53                         | 190.13            |
| 36000.00        | 1.46             | 4.76                         | 198.39            |
| 37500.00        | 1.54             | 5.00                         | 206.66            |
| 39000.00        | 1.62             | 5.27                         | 214.93            |
| 40500.00        | 1.70             | 5.54                         | 223.19            |
| 42000.00        | 1.80             | 5.85                         | 231.46            |
| 43500.00        | 1.88             | 6.13                         | 239.72            |
| 45000.00        | 1.98             | 6.44                         | 247.99            |
| 46500.00        | 2.08             | 6.75                         | 256.26            |
| 48000.00        | 2.18             | 7.10                         | 264.52            |
| 49500.00        | 2.29             | 7.45                         | 272.79            |
| 51000.00        | 2.45             | 7.96                         | 281.06            |
| 52500.00        | 2.60             | 8.47                         | 289.32            |
| 54000.00        | 2.77             | 9.01                         | 297.59            |
| 55500.00        | 2.99             | 9.72                         | 305.86            |
| <b>57000.00</b> | <b>2.61</b>      | <b>8.49</b>                  | <b>314.12</b>     |
| 55000.00        | 3.84             | 12.49                        | 303.10            |
| 53000.00        | 4.32             | 14.05                        | 292.08            |



Esfuerzo vs Deformación

ESFUERZO DE ROTURA = 314.12 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 227.24 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 226115.58 Kg/cm2

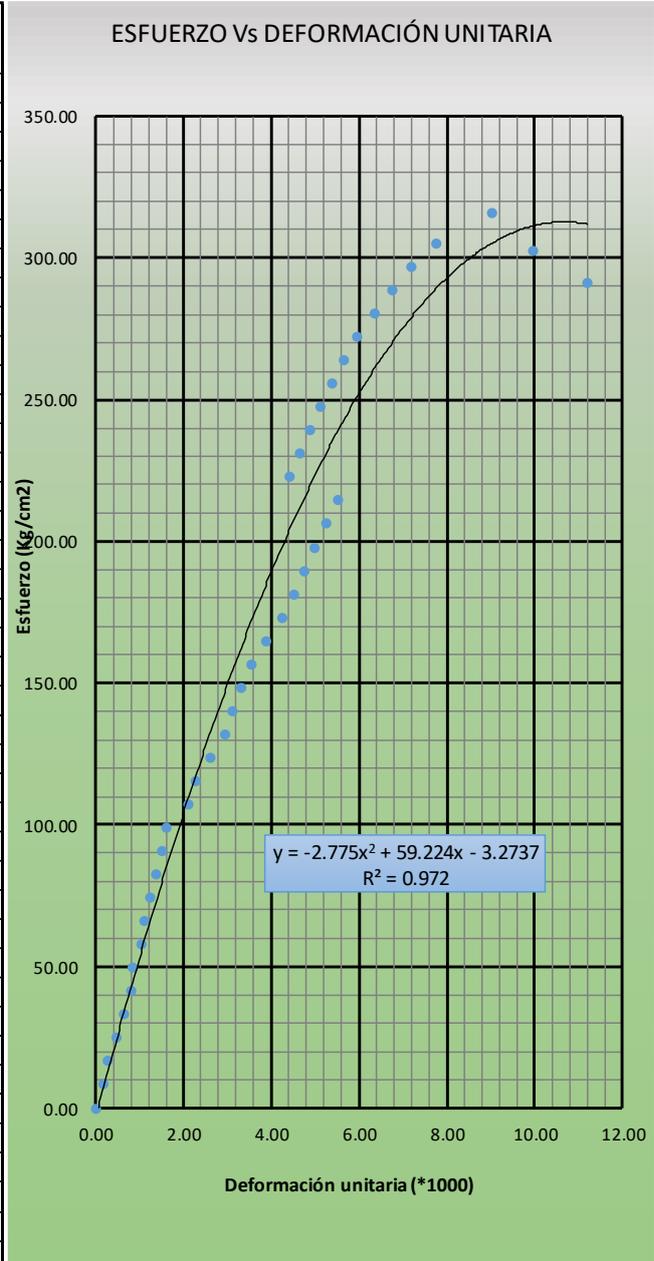
**Tabla 71.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen C5-28

**DIAGRAMA DE ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA**

CODIGO DEL ESPECIMEN : C5-28  
 EDAD : 28 días  
 DIÁMETRO (cm) : 15.22  
 ALTURA (mm) : 305

Valores de Esfuerzo y deformación C5-28

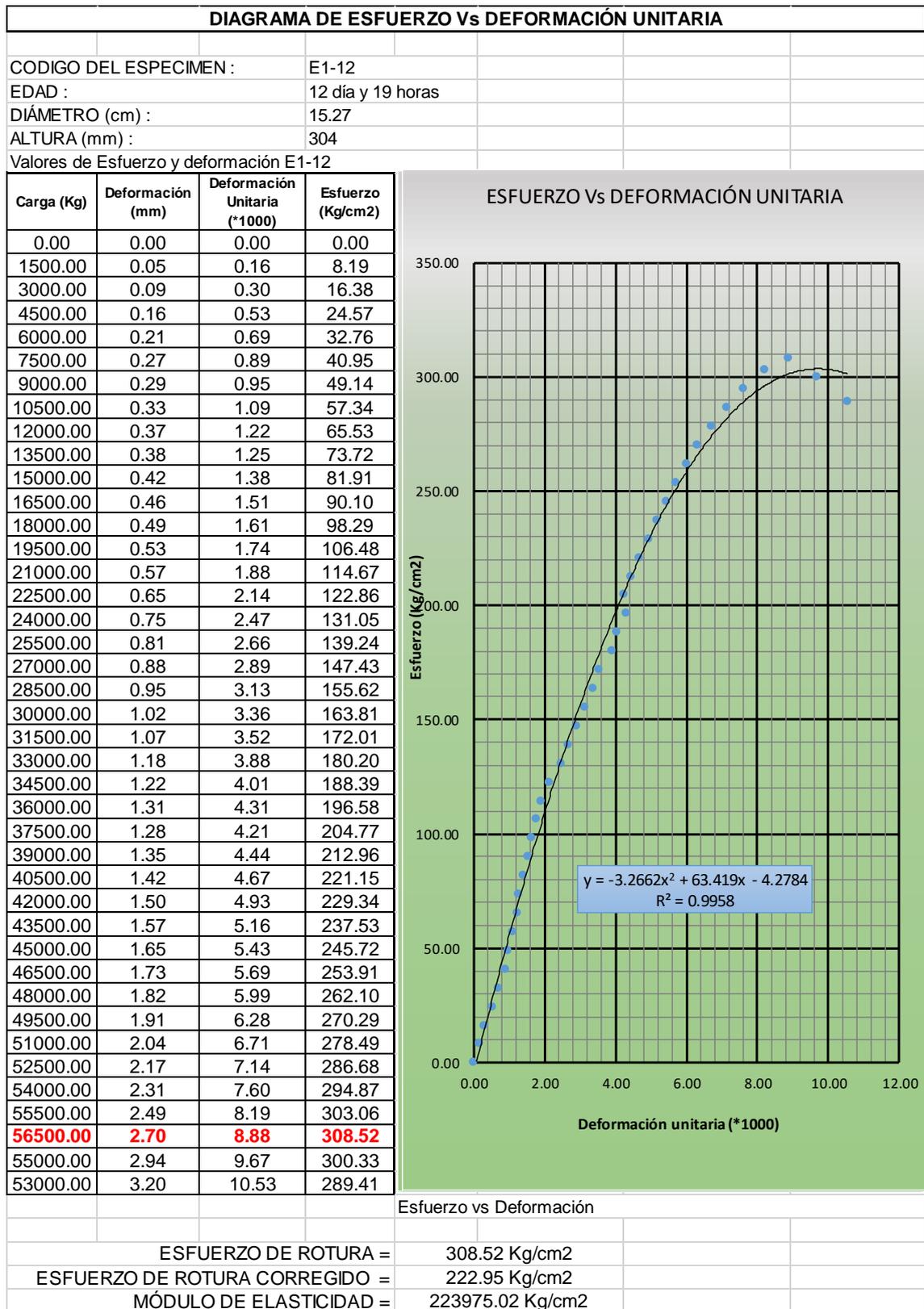
| Carga (Kg)      | Deformación (mm) | Deformación Unitaria (*1000) | Esfuerzo (Kg/cm2) |
|-----------------|------------------|------------------------------|-------------------|
| 0.00            | 0.00             | 0.00                         | 0.00              |
| 1500.00         | 0.05             | 0.16                         | 8.24              |
| 3000.00         | 0.09             | 0.30                         | 16.49             |
| 4500.00         | 0.15             | 0.49                         | 24.73             |
| 6000.00         | 0.20             | 0.66                         | 32.98             |
| 7500.00         | 0.25             | 0.82                         | 41.22             |
| 9000.00         | 0.26             | 0.85                         | 49.47             |
| 10500.00        | 0.32             | 1.05                         | 57.71             |
| 12000.00        | 0.34             | 1.11                         | 65.96             |
| 13500.00        | 0.38             | 1.25                         | 74.20             |
| 15000.00        | 0.42             | 1.38                         | 82.45             |
| 16500.00        | 0.46             | 1.51                         | 90.69             |
| 18000.00        | 0.49             | 1.61                         | 98.94             |
| 19500.00        | 0.65             | 2.13                         | 107.18            |
| 21000.00        | 0.70             | 2.30                         | 115.43            |
| 22500.00        | 0.80             | 2.62                         | 123.67            |
| 24000.00        | 0.90             | 2.95                         | 131.91            |
| 25500.00        | 0.95             | 3.11                         | 140.16            |
| 27000.00        | 1.01             | 3.32                         | 148.40            |
| 28500.00        | 1.09             | 3.57                         | 156.65            |
| 30000.00        | 1.19             | 3.89                         | 164.89            |
| 31500.00        | 1.30             | 4.26                         | 173.14            |
| 33000.00        | 1.38             | 4.51                         | 181.38            |
| 34500.00        | 1.45             | 4.75                         | 189.63            |
| 36000.00        | 1.53             | 5.00                         | 197.87            |
| 37500.00        | 1.60             | 5.25                         | 206.12            |
| 39000.00        | 1.69             | 5.53                         | 214.36            |
| 40500.00        | 1.35             | 4.42                         | 222.61            |
| 42000.00        | 1.43             | 4.67                         | 230.85            |
| 43500.00        | 1.49             | 4.89                         | 239.09            |
| 45000.00        | 1.57             | 5.14                         | 247.34            |
| 46500.00        | 1.64             | 5.39                         | 255.58            |
| 48000.00        | 1.73             | 5.67                         | 263.83            |
| 49500.00        | 1.81             | 5.95                         | 272.07            |
| 51000.00        | 1.94             | 6.35                         | 280.32            |
| 52500.00        | 2.06             | 6.76                         | 288.56            |
| 54000.00        | 2.19             | 7.20                         | 296.81            |
| 55500.00        | 2.37             | 7.76                         | 305.05            |
| <b>57500.00</b> | <b>2.76</b>      | <b>9.03</b>                  | <b>316.04</b>     |
| 55000.00        | 3.04             | 9.97                         | 302.30            |
| 53000.00        | 3.42             | 11.21                        | 291.31            |



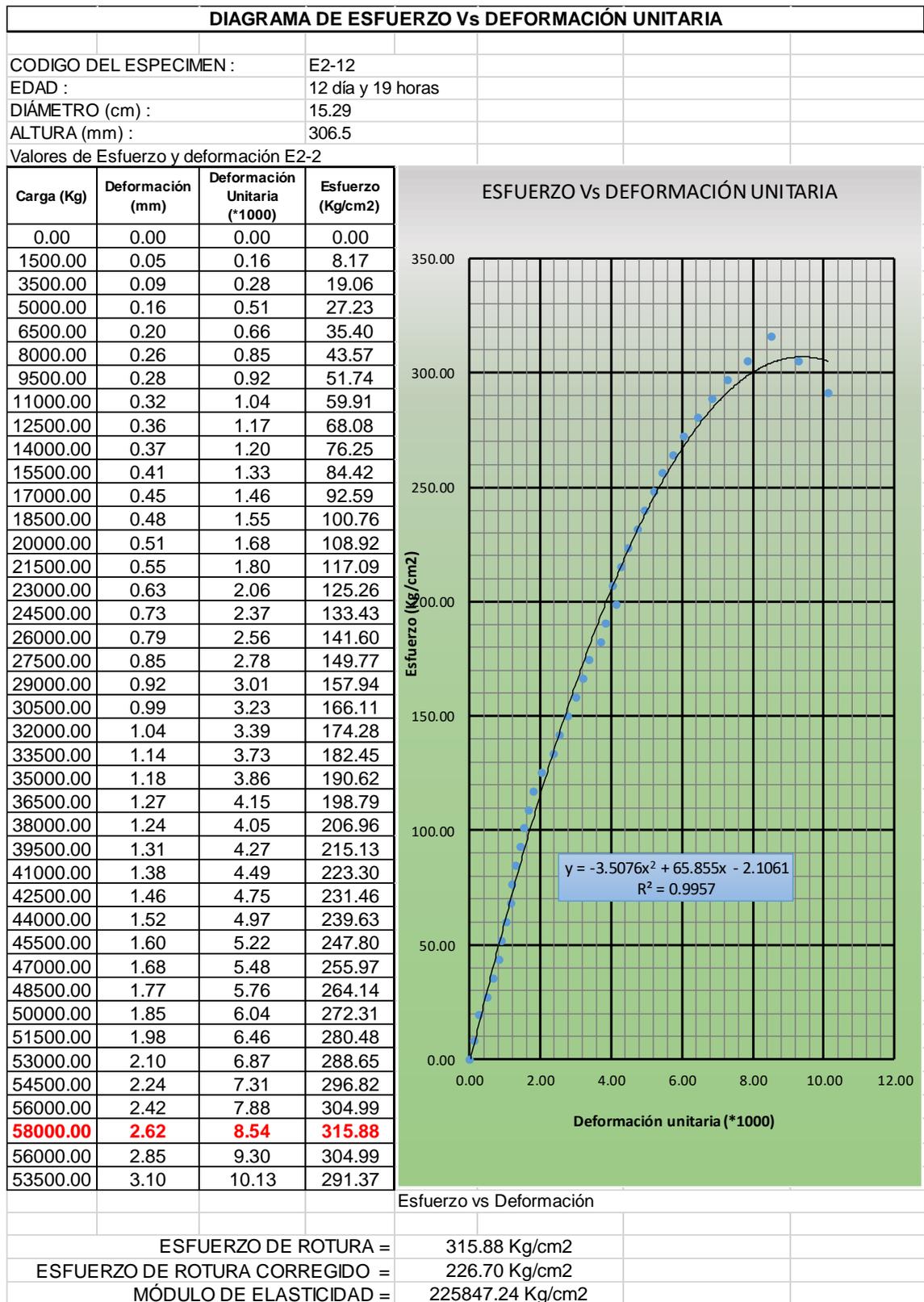
Esfuerzo vs Deformación

ESFUERZO DE ROTURA = 316.04 Kg/cm2  
 ESFUERZO DE ROTURA CORREGIDO = 220.96 Kg/cm2  
 MÓDULO DE ELASTICIDAD = 222971.43 Kg/cm2

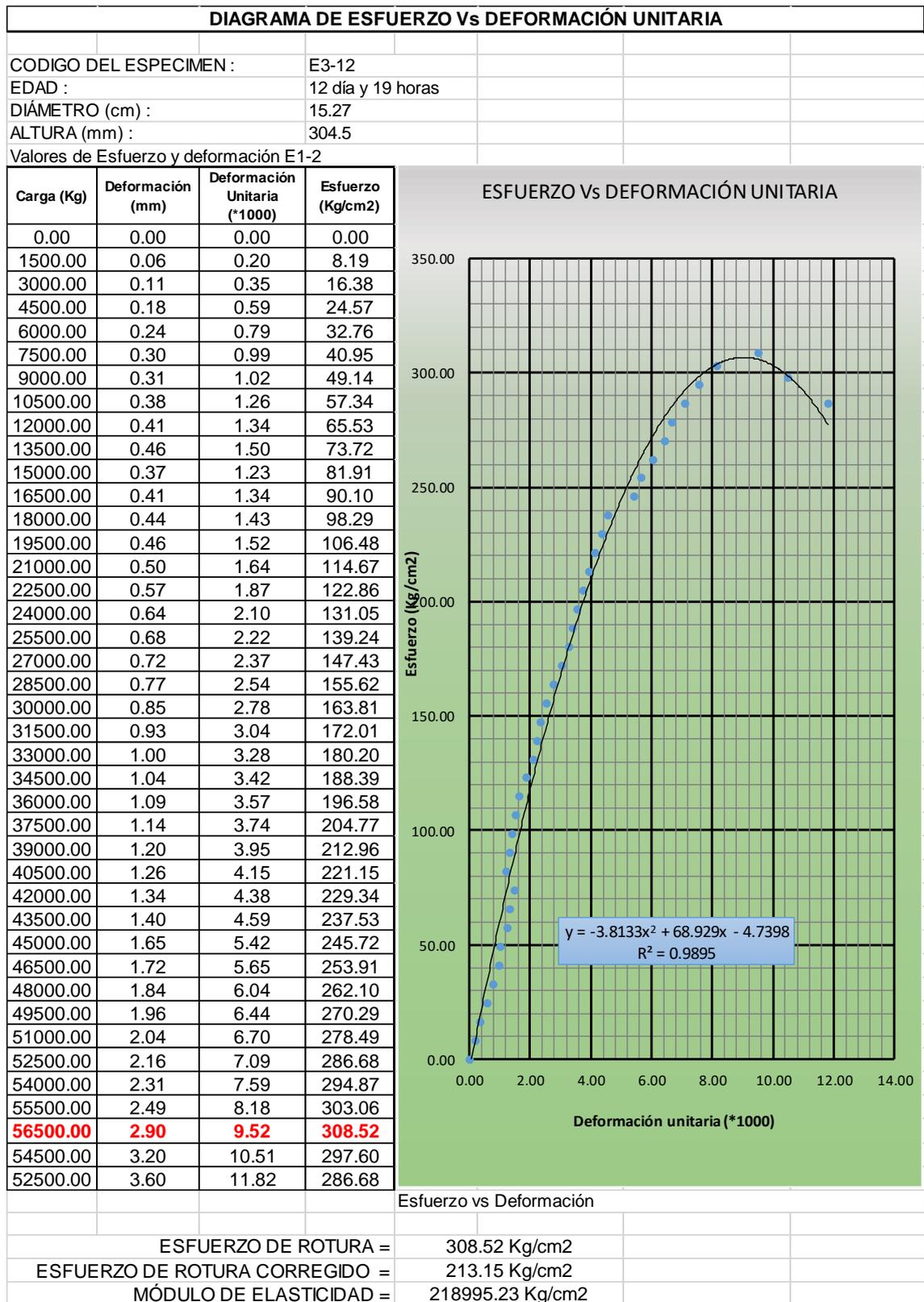
**Tabla 72.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen E1-12



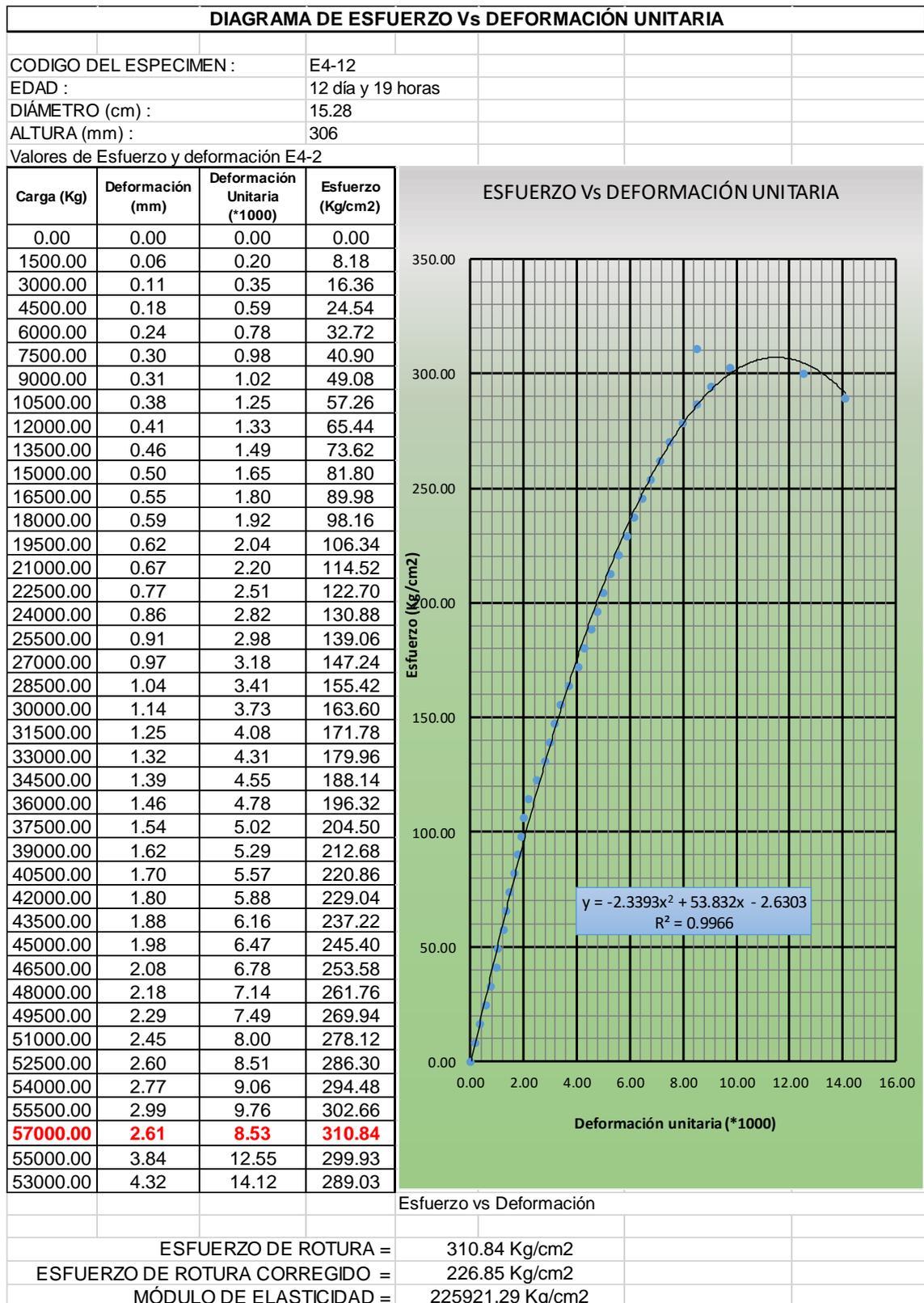
**Tabla 73.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen E2-12



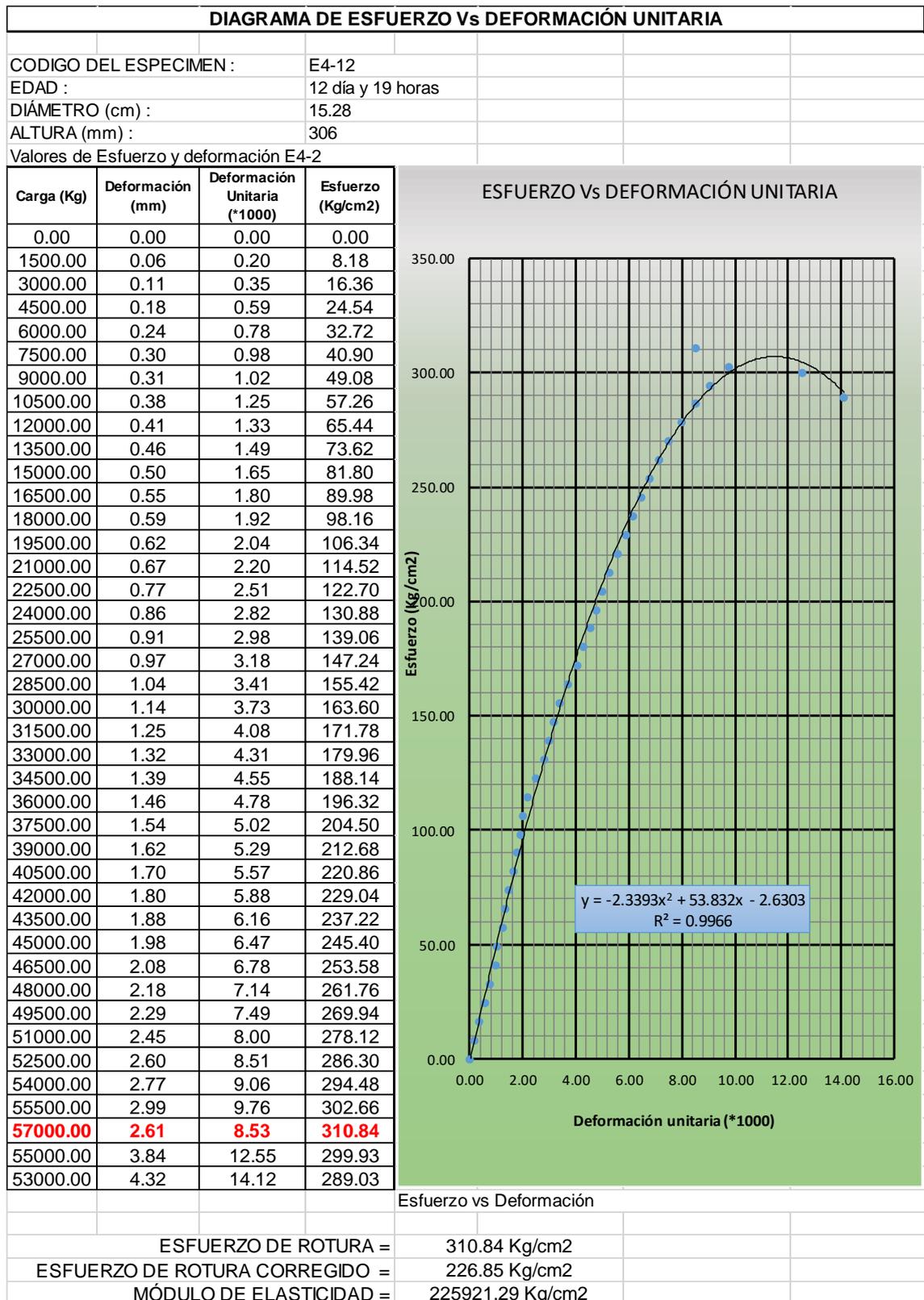
**Tabla 74.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen E3-12



**Tabla 75.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen E4-12



**Tabla 76.** Valores de esfuerzo Vs deformación unitaria del espécimen E5-12



## ANEXO 6: PANEL FOTOGRÁFICO

**Figura 27:** Toma de muestra en el almacén de la cantera Chilete.



**Figura 28:** Almacenado de los agregados en el laboratorio “Carlos Esparza” de la Facultad de Ingeniería de la UNC.



**Figura 29:** Preparación del equipo de tamices y balanza para realizar el ensayo de granulometría del agregado fino y agregado grueso.



**Figura 30:** Ensayo granulométrico del agregado grueso.



**Figura 31:** Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.



**Figura 32:** Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.



**Figura 33:** Ensayo de peso específico del agregado grueso.



**Figura 34:** Fabricación de la máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213.



**Figura 35:** Fabricación de la máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213.



**Figura 36:** Instalación de las resistencias y cables a la máquina de curado acelerado



**Figura 37:** Instalación de la máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213, en el laboratorio Carlos Esparza de la Facultad de Ingeniería.



**Figura 38:** Máquina de curado acelerado, método B de la NTP 339.213, instalada en el laboratorio Carlos Esparza de la Facultad de Ingeniería.



**Figura 39:** Preparación de equipos y materiales para realizar una mezcla de concreto



**Figura 40:** Colocación de los materiales a la mezcladora.



**Figura 41:** Ensayo de Slump de la mezcla de concreto.



**Figura 42:** Ensayo de Slump de la mezcla de concreto.



**Figura 43:** Enrazado de los especímenes de concreto.



**Figura 44:** Sacado de los especímenes del molde.



**Figura 45:** Especímenes que fueron curados por el método estándar en la poza.



**Figura 46:** Especímenes acondicionados con alambre, para ser curados por el método B de la NTP 339.213



**Figura 47:** Instrucción de los especímenes a la máquina de curado acelerado, cuando el agua se encuentra hirviendo.



**Figura 48:** Especímenes sometidos al curado acelerado con agua hirviendo.



**Figura 49:** Con el pirómetro se comprobó la temperatura del agua hirviendo.



**Figura 50:** Mcs. Héctor Pérez, comprobando la temperatura en el ensayo de curado acelerado.



**Figura 51:** Con el pirómetro calculamos la temperatura del espécimen al momento de sacarla de la máquina de curado acelerado.



**Figura 52:** Especímenes luego de haber sido sacados de la máquina de curado acelerado del método B de la NTP 339.213.



**Figura 53:** Rotura de espécimen de concreto, ensayo a compresión axial.



**Figura 54:** Modo de falla del espécimen de concreto.

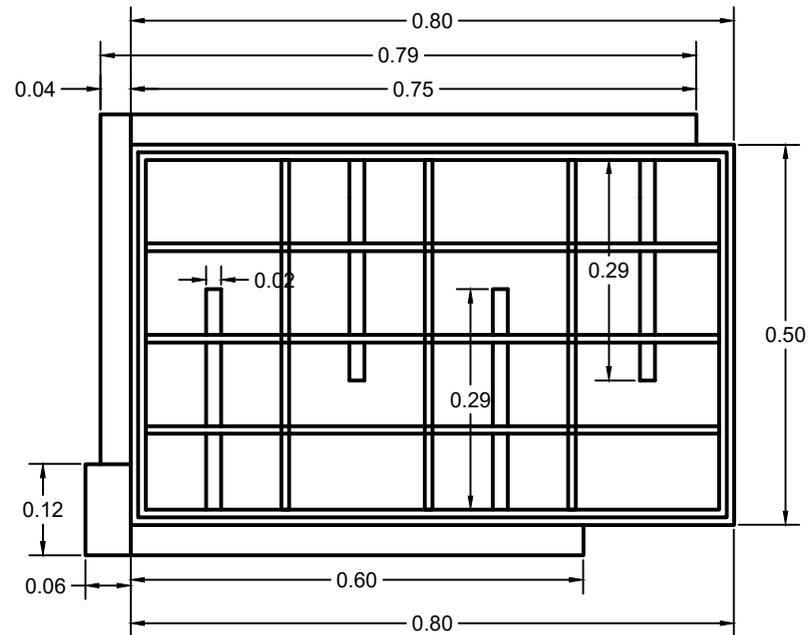


**Figura 55:** Espécimen luego de haber sido ensayado.



# PLANOS

MAQUINA PARA CURADO ACELERADO - NTP 339.213  
PLANO EN PLANTA



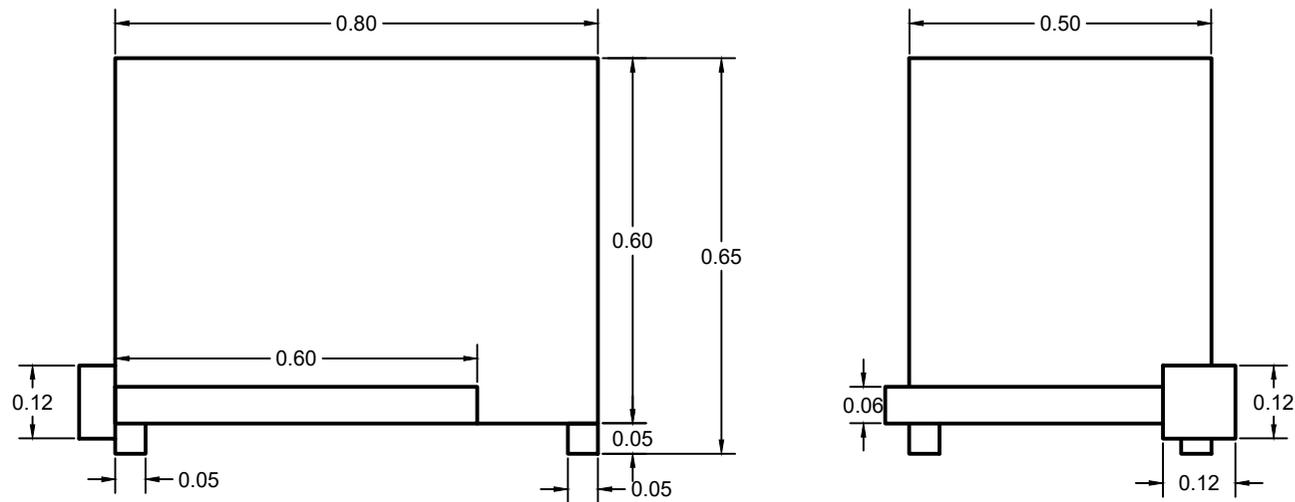
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
Escuela Academico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis: Estudio de la influencia del curado acelerado del  
concreto para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Plano 02: PLANO EN PLANTA

Escala: 1/100

MAQUINA PARA CURADO ACELERADO - NTP 339.213  
PLANO EN PERFIL



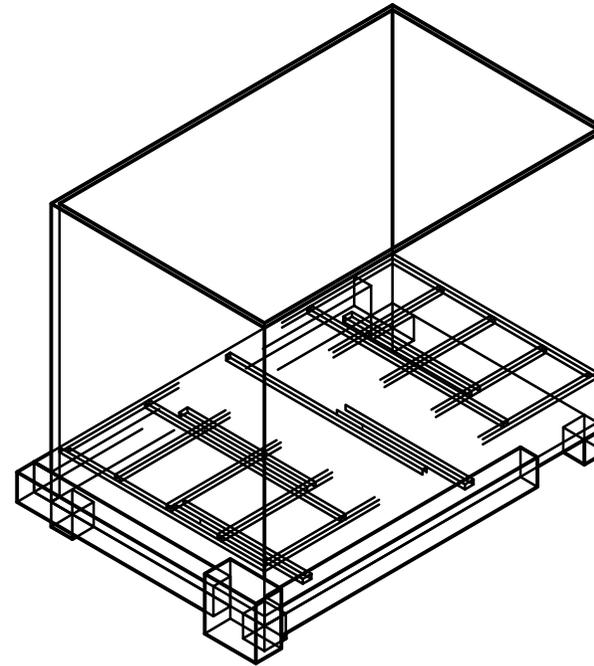
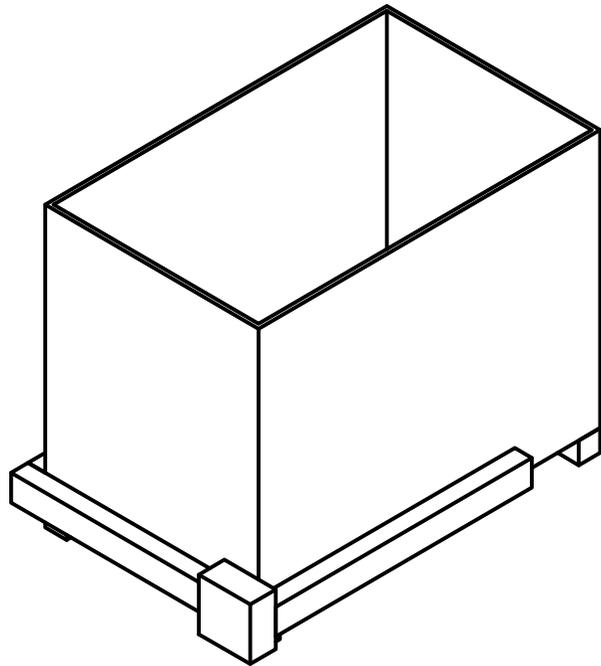
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis: Estudio de la influencia del curado acelerado del  
concreto para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Plano 01: PLANO EN PERFIL

Escala: 1/100

MAQUINA PARA CURADO ACELERADO - NTP 339.213  
PLANO ISOMETRICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
Escuela Academico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis: Estudio de la influencia del curado acelerado del  
concreto para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Plano 03: PLANO ISOMETRICO

Escala: 1/100