

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL NANOSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN
LA DURABILIDAD DEL CONCRETO SOMETIDOS A CICLOS
DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO DE LA CIUDAD DE
PUNO”**

TESIS

PRESENTADO POR:

ELISMAN LÓPEZ AMPUERO
JUAN JOSÉ MAMANI COPARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
“INFLUENCIA DEL NANOSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD
DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO DE
LA CIUDAD DE PUNO”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

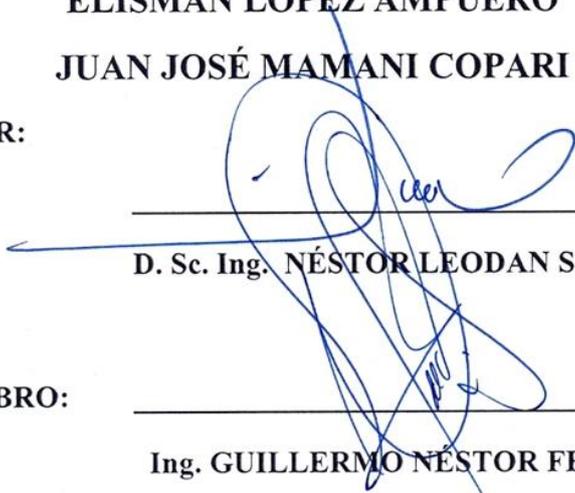
PRESENTADO POR:

ELISMAN LÓPEZ AMPUERO
JUAN JOSÉ MAMANI COPARI

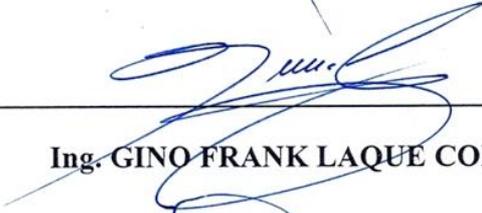


APROBADO POR:

PRESIDENTE:


 D. Sc. Ing. NÉSTOR LEODAN SUCA SUCA

PRIMER MIEMBRO:


 Ing. GUILLERMO NÉSTOR FERNÁNDEZ SILA

SEGUNDO MIEMBRO:


 Ing. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

DIRECTOR DE TESIS:


 M. Sc. Ing. EMILIO CASTILLO ARONI

Área: Construcciones.
 Tema: Tecnología del concreto.
 Línea de investigación: La tecnología de los materiales en la construcción.

DEDICATORIA

A Dios por su gracia y bendiciones.

A mis queridos padres: Esteban por su incondicional apoyo, protección y motivación, y Dominga Lucía por estar siempre pendiente en mí, por sus suplicas y oraciones constantes,

A mis hermanos: Herless Michael, Guido Joseluis quienes con su comprensión, apoyo, consejos, y aliento me ayudaron a seguir adelante y Edith Clinth quien tiene una fé infinita en sus hermanos y nos transmite confianza necesaria para afrontar los grandes retos de la vida, y demostrarnos que la familia es el fundamento de la existencia.

A mi compañero de tesis Juan José y en especial a mis amigos de promoción (083), de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Elisman.

Juan José.

A Dios por derramar sus bendiciones sobre mí y llevarme de su fuerza para poder vencer todos los obstáculos

A mis padres: Sabino y Juana por su apoyo en los momentos más difíciles.

A mi hermano: Rubén Roberto que con su apoyo moral me ayudó a no abandonar la batalla contra la adversidad.

A mis amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por compartir momentos únicos en la universidad.

A todos ellos....., Muchas Gracias por estar siempre cuando uno los necesita.

AGRADECIMIENTO

Esta tesis ha sido fruto del esfuerzo, la participación y la colaboración de varias personas e instituciones, a quienes hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar a nuestro director de este proyecto, M. Sc. Ing. Emilio Castillo Aroni, le agradezco infinitamente por las orientaciones, recomendaciones, la supervisión de este trabajo, y sobre todo por su confianza.

A nuestros jurados, D. Sc. Ing. Néstor Leodan Suca Suca, Ing. Guillermo Néstor Fernández Sila e Ing. Gino Frank Laque Córdova; por sus sabios consejos e inculcación de esfuerzo, respeto y disciplina.

A nuestra institución, Universidad Nacional del Altiplano y en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por habernos dado la oportunidad de conocer este maravilloso mundo de la ingeniería y ejercerla para el desarrollo de nuestro país.

Además agradezco la excelente disposición y aporte técnico al Ing. Jorge Vilca Alfaro de la empresa de aditivos para concretos, APLIKAV S.A.C. en el desarrollo de este trabajo. Y también hago extensiva mi gratitud al departamento técnico de la empresa proveedora de aditivos para concretos, ULMEN S.A. en especial a los ingenieros Sr. Marco Zegarra y Sr. Edgar Cerquin.

Importante también es agradecer de forma muy especial a aquellas personas que estuvieron apoyándonos desde siempre y desinteresadamente, me refiero a nuestros compañeros y amigos de promoción, por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas con nosotros.

A todos muchas gracias.

ÍNDICE

| | | |
|-------------|---------------------------------------------|-----------|
| 1. | INTRODUCCIÓN. | 20 |
| 1.1. | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. | 23 |
| 1.1.1. | Problema general. | 24 |
| 1.1.2. | Problemas específicos. | 24 |
| 1.2. | OBJETIVOS. | 24 |
| 1.2.1. | Objetivo general. | 24 |
| 1.2.2. | Objetivos específicos. | 25 |
| 1.3. | HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN. | 25 |
| 1.3.1. | Hipótesis general. | 25 |
| 1.3.2. | Hipótesis específicos. | 25 |
| 1.4. | JUSTIFICACIÓN. | 25 |
| 1.5. | ANTECEDENTES. | 27 |
| 1.6. | DELIMITACIÓN. | 30 |
| 1.6.1. | Geográficas | 30 |
| 1.6.2. | Temporal | 30 |
| 1.7. | METODOLOGÍA. | 30 |
| 1.7.1. | Tipo de investigación. | 30 |
| 1.7.1. | Nivel de investigación. | 30 |
| 1.7.1. | Diseño de investigación. | 31 |
| 1.8. | POBLACIÓN Y MUESTRAS. | 31 |
| 1.8.1. | Población. | 31 |
| 1.8.1. | Muestra. | 32 |
| 1.9. | MATRIZ DE CONSISTENCIA | 34 |
| 2. | REVISIÓN DE LA LITERATURA. | 35 |
| 2.1. | CONCRETO. | 35 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.1. | Materiales constituyentes del concreto. | 35 |
| 2.1.1.1. | Cemento..... | 35 |
| 2.1.1.2. | Agua | 46 |
| 2.1.1.3. | Agregados | 47 |
| A. | Agregado fino..... | 48 |
| B. | Agregado grueso | 50 |
| 2.1.1.4. | Aditivos | 53 |
| 2.2. | COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN CLIMAS FRIOS..... | 54 |
| 2.2.1. | El clima en la región de Puno. | 54 |
| 2.2.2. | Evaluación de las temperaturas máximas y mínimas en el año 2016 de la ciudad de Puno. | 56 |
| 2.3. | NANOTECNOLOGÍA..... | 57 |
| 2.3.1. | La nanotecnología en la industria de la construcción. | 58 |
| 2.3.2. | Nanoadiciones en el concreto..... | 58 |
| 2.4. | NANOSÍLICE..... | 61 |
| 2.4.1. | Definición. | 61 |
| 2.4.2. | Producción de nanosílice. | 62 |
| 2.4.3. | Características geométricas del nanosílice. | 63 |
| 2.4.4. | Composición química del nanosílice. | 63 |
| 2.4.5. | Comportamiento en la microestructura del concreto con nanosílice. | 64 |
| 2.4.6. | Estudios relacionados al concreto con nanosílice..... | 66 |
| 2.5. | CONCRETO EN ESTADO FRESCO..... | 68 |
| 2.5.1. | Toma de muestras. | 68 |
| 2.5.2. | Trabajabilidad. | 68 |
| 2.5.2.1. | Ensayo de asentamiento..... | 69 |
| 2.6. | CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO..... | 71 |
| 2.6.1. | Resistencia a compresión..... | 71 |
| 2.6.1.1. | Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto | 72 |

| | | |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.6.2. | Porosidad..... | 72 |
| 2.7. | DURABILIDAD DEL CONCRETO..... | 74 |
| 2.7.1. | Factores que afectan la durabilidad del concreto..... | 75 |
| 2.7.1.1. | Carbonatación..... | 77 |
| 2.7.1.2. | Penetración del ion cloruro | 78 |
| 2.7.1.3. | Ataques de sulfato | 79 |
| 2.7.1.4. | Reacción álcali-agregado | 80 |
| 2.7.2. | Ataques por ciclos de congelamiento y deshielo..... | 81 |
| 2.7.3. | Mecanismos de DAÑO POR ciclos de congelamiento y deshielo en el concreto | 81 |
| 2.7.4. | Factores principales que afectan al daño por ciclos de congelamiento y deshielo | 85 |
| 2.7.5. | Normativa de los ensayos de ciclos de congelamiento y deshielo | 87 |
| A. | Norma ASTM C 666 | 88 |
| B. | Norma ASTM C 672 | 89 |
| C. | Norma peruana | 90 |
| D. | Otras normas | 90 |
| 2.7.6. | Resumen de normas | 91 |
| 2.8. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS | 91 |
| 2.8.1. | Análisis estadístico..... | 91 |
| 2.8.1.1. | Definiciones de conceptos estadísticos | 92 |
| 2.8.1.2. | Medidas de variación o dispersión | 94 |
| 2.8.1.3. | Distribución normal | 96 |
| 2.8.1.4. | Medidas de forma de la distribución | 96 |
| 2.8.1.5. | Cálculo de la distribución f..... | 98 |
| 2.8.1.6. | Distribución t de student | 99 |
| 2.8.2. | Prueba de hipótesis..... | 102 |
| 3. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 105 |
| 3.1. | FABRICACIÓN DEL CONCRETO. | 106 |

| | | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1.1. | Materiales a emplear en la investigación. | 106 |
| 3.1.2. | Cemento..... | 106 |
| 3.1.3. | Nanosílice utilizada | 107 |
| 3.1.4. | Agregados | 109 |
| 3.1.4.4. | Agua | 131 |
| 3.2. | DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO | 131 |
| 3.2.1. | Dosificación de mezclas de concreto para diferentes porcentajes de nanosílice..... | 137 |
| 3.3. | ELABORACIÓN DE CONCRETOS..... | 138 |
| 3.3.1. | Probetas de concreto..... | 139 |
| 3.3.2. | Curado del concreto..... | 140 |
| 3.4. | ENSAYOS DE PROPIEDADES DEL CONCRETO..... | 142 |
| 3.4.1. | Ensayos en concreto fresco. | 142 |
| 3.4.1.1. | Ensayos de asentamiento | 142 |
| 3.4.2. | Ensayos en concreto endurecido | 142 |
| 3.4.2.1. | Ensayos de resistencia a compresión..... | 142 |
| 3.4.2.2. | Ensayos de porosidad | 143 |
| 3.4.2.3. | Ensayo del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo | 144 |
| 3.5. | ANÁLISIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS. | 145 |
| 3.5.1. | Análisis estadístico. | 145 |
| 3.5.2. | Prueba de hipótesis..... | 147 |
| 3.5.3. | Correlación..... | 149 |
| 3.5.4. | Coficiente de correlación de pearson. | 149 |
| 3.5.5. | Coficiente de determinación..... | 150 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 158 |
| 4.1. | RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETOS EN ESTADO FRESCO | 158 |
| 4.1.1. | Asentamiento..... | 158 |
| 4.2. | RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO..... | 159 |

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1. | Resistencia a la compresión | 159 |
| 4.2.2. | Resistencia a la compresión de concretos sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo | 160 |
| 4.2.1. | Ensayo de porosidad de concretos sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo. | 161 |
| 4.3. | DISCUSIÓN DE MATERIALES EMPLEADOS PARA LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO..... | 161 |
| 4.4. | DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO..... | 162 |
| 4.4.1. | Asentamiento..... | 162 |
| 4.5. | DISCUSIÓN DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO..... | 163 |
| 4.5.1. | Resistencia a la compresión | 163 |
| 4.5.2. | Resistencia a compresión del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo..... | 166 |
| 4.5.3. | Porosidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo | 169 |
| 4.6. | ANÁLISIS DE COSTO | 170 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 174 |
| 6. | RECOMENDACIONES | 178 |
| 7. | REFERENCIAS. | 180 |
| 8. | ANEXOS..... | 184 |
| ANEXO A: ENSAYOS DE LABORATORIO | | 184 |
| Anexo A-1: | Certificado de laboratorio de construcciones. | 184 |
| Anexo A-2: | Granulometría del agregado fino. | 185 |
| Anexo A-3: | Granulometría del agregado grueso. | 186 |
| Anexo A-4: | Peso específico y absorción de agregados..... | 187 |
| Anexo A-3: | Peso unitario de agregados. | 188 |
| Anexo A-5: | Contenido de humedad de agregados..... | 189 |
| Anexo A-6: | Porosidad del concreto..... | 190 |
| ANEXO B: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO. | | 191 |
| ANEXO C: CONTROLES DE CALIDAD | | 199 |
| Anexo C-1: | Certificado de calidad del cemento. | 199 |
| ANEXO D: ADITIVO NANOSÍLICE | | 200 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| Anexo D-1: Ficha técnica del nanosílice aqua 206. | 200 |
| Anexo D-2: Certificado de calidad del nanosílice aqua 206. | 201 |
| Anexo D-3: Hoja de seguridad del nanosílice aqua 206. | 202 |
| ANEXO E: ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 204 |
| ANEXO E: PRUEBA DE HIPÓTESIS. | 226 |
| ANEXO F: TABLA ESTADÍSTICA Y NIVEL DE SIGNIFICANCIA..... | 243 |
| ANEXO G: GUÍA PARA HALLAR EL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL NANOSÍLICE..... | 244 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1: Esquema de la cantidad de muestras. | 33 |
| Figura 2.1: Estructura microscópica del clinker (Alcaraz, 2012, p.18) | 39 |
| Figura 2.2: Imagen de MEB de la formación de tobermorita (Tobón, 2011, p.44). | 42 |
| Figura 2.3: Imagen de MEB de unos cristales hexagonales de portlandita (Tobón, 2011, p.45)..... | 43 |
| Figura 2.4: Imagen de MEB de una formación de estringita dentro de un poro (Tobón, 2011, p.46) | 43 |
| Figura 2.5: Curvas envolventes para el agregado fino, según norma NTP 400.037 (Fuente: Elaboración propia) | 50 |
| Figura 2.6: Frecuencia de heladas periodo promedio 1964-2009 mes-Junio (SENAMHI)..... | 55 |
| Figura 2.7: Variación de la temperatura anual en la ciudad de Puno, año 2016 (SENAMHI)..... | 56 |
| Figura 2.8: Distribución de las temperaturas máx. Y mín. mes de Junio (SENAMHI, 2016)..... | 57 |
| Figura 2.9: Micrografía de partículas de nanosílice en Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) (tobón, 2011, p.106) | 61 |
| Figura 2.10: Escalas de los diferentes componentes del concreto (Sobolev y Ferrada, 2005, p.140) | 62 |
| Figura 2.11: Esquema de hidratación de los diferentes tipos de concreto (Singh et al, 2011) | 65 |
| Figura 2.12: Imágenes de SEM, A. pasta de cemento portland normal, B. pasta de cemento modificada con NS (Jo et al, 2007) | 66 |
| Figura 2.13: Dimensiones de equipo para prueba de asentamiento (NTP 339.035). | 69 |
| Figura 2.14: Tipos de asentamiento | 70 |
| Figura 2.15: Prueba de consistencia..... | 71 |
| Figura 2.16: Distribución de poros en el concreto (Sanchez, 2003). | 73 |
| Figura 2.17: Mecanismo físico y químicos del deterioro del concreto (Basheer et al, 1996)..... | 76 |
| Figura 2.18: La carbonatación en el concreto armado se produce avanzando desde el exterior (http://victoryepes.blogs.upv.es/2013/05/01/durabilidad-del-hormigon/) | 77 |
| Figura 2.19: Mecanismos de corrosión en concretos expuestos a cloruros y humedad. (http://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-concreto/) | 79 |
| Figura 2.20: Acción de los sulfatos. (Bernal, 2009)..... | 80 |
| Figura 2.21: Fase de desarrollo de la reacción Alkali-agregado. (Pasquel, 2009) | 80 |
| Figura 2.22: Principio de la presión hidráulica (Rostam, 1989)..... | 82 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 2.23: Principio de la presión osmótica (Pigeon, 1995) | 83 |
| Figura 2.24: Rotura del concreto debido al congelamiento del agregado (Becker, 2010) | 84 |
| Figura 2.25: Formas típicas de distribuciones de datos | 96 |
| Figura 2.26: Formas típicas de distribuciones de datos. | 97 |
| Figura 2.27: Formas típicas del coeficiente de curtosis. | 98 |
| Figura 2.28: Curva de Distribución para hipótesis de dos colas $H1: \mu_{XCV} \neq \mu_{XC} \rightarrow H0: \mu_{XCV} = \mu_{XC}$ | 100 |
| Figura 2.29: Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la derecha $H1: \mu_{XCV} > \mu_{XC} \rightarrow H0: \mu_{XCV} \leq \mu_{XC}$ | 101 |
| Figura 2.30: Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la izquierda $H1: \mu_{XCV} < \mu_{XC} \rightarrow H0: \mu_{XCV} \geq \mu_{XC}$ | 101 |
| <i>Figura 3.1: Materiales usados para la fabricación del concreto.</i> | 106 |
| Figura 3.2: Compra del aditivo Aqua 206 en la Industria Ulmen S.A. | 108 |
| Figura 3.3: Aditivo nanosílice Aqua 206. | 108 |
| Figura 3.4: Cantera Viluyo. | 109 |
| Figura 3.5: Se observa el agregado fino al momento de realizar el cuarteo. | 110 |
| Figura 3.6: Se observa el tamizado del agregado fino. | 111 |
| Figura 3.7: Después del tamizado del agregado fino | 111 |
| Figura 3.8: Curva granulométrica del agregado fino | 111 |
| Figura 3.9: Contenido de humedad del agregado fino. | 113 |
| Figura 3.10: Arena superficialmente seca después del apisonado. | 116 |
| Figura 3.11: Control de temperatura del agua. | 117 |
| Figura 3.12: Enrasado y pesado del recipiente con la muestra para el cálculo del Peso Unitario Suelto. | 119 |
| Figura 3.13: Curva granulométrica del agregado grueso | 122 |
| Figura 3.14: Tamizado del agregado grueso..... | 123 |
| Figura 3.15: Se observa el tamizado del agregado grueso..... | 123 |
| Figura 3.16: Escurrimiento del agua y esparcido del agregado grueso sobre la franela. | 127 |
| Figura 3.17: Control de temperatura del agua. | 128 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 3.18: Pesado de agregado grueso para el cálculo del peso unitario..... | 130 |
| Figura 3.19: Mezclado del concreto | 138 |
| Figura 3.20: Comprobación del asentamiento. | 139 |
| Figura 3.21: Llenado de moldes y apisonado de mezcla de concreto en tres capas iguales. | 140 |
| Figura 3.22: Moldes vaciados de un grupo de concreto. | 140 |
| Figura 3.23: Probetas..... | 141 |
| Figura 3.24: Colocado de las primeras muestras a la poza. | 141 |
| Figura 3.25: Ensayo de asentamiento cono de Abrams..... | 142 |
| Figura 3.26: Ensayo de resistencia a compresión. | 143 |
| Figura 3.27: Ensayo de porosidad. | 144 |
| Figura 3.28: Calibración del termostato y probetas en la cámara climática. | 145 |
| Figura 4.1: Resistencia a Compresión obtenidos para diferentes nanosílice. | 159 |
| Figura 4.2: Resistencia a compresión obtenidos para diferentes porcentajes de nanosílice..... | 160 |
| Figura 4.3: Variación de la cantidad de agua en la mezcla del concreto. | 163 |
| Figura 4.4: Evolución de la Resistencia a Compresión para diferentes porcentajes de nanosílice. | 165 |
| Figura 4.5: Comparación del concreto patrón sometido y sin someter a congelamiento y deshielo. . | 166 |
| Figura 4.6: Comparación del concreto con 0.5% de nanosílice sometido y sin someter a congelamiento y deshielo..... | 167 |
| Figura 4.7: Comparación del concreto con 1.0% de nanosílice sometido y sin someter a congelamiento y deshielo..... | 168 |
| Figura 4.8: Comparación del concreto con 1.5% de nanosílice sometido y sin someter a congelamiento y deshielo..... | 169 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1.1: Resumen de cantidad de muestras..... | 33 |
| Tabla 1.2: Matriz de consistencia..... | 34 |
| Tabla 2.1: Principales componente del cemento portland. | 37 |
| Tabla 2.2: Cuadro de resumen de los principales componentes del Clinker | 39 |
| Tabla 2.3: Límites aproximados de la composición del cemento portland. | 40 |
| Tabla 2.4: Requisitos para el agua de mezcla (NTP 339.088)..... | 46 |
| Tabla 2.5: Requisitos granulométricos para el agregado fino (NTP 400.037)..... | 49 |
| Tabla 2.6: Límites granulométricos para el agregado grueso (NTP 400.037 y ASTM C 33) | 52 |
| Tabla 2.7: Característica del nanosílice. | 63 |
| Tabla 2.8: Clases de mezclas según su asentamiento..... | 69 |
| Tabla 2.9: Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días | 72 |
| Tabla 2.10: Contenido de aire..... | 90 |
| Tabla 2.11: Relación de agua-cemento según exposición. | 90 |
| Tabla 2.12: Cuadro de resumen | 91 |
| Tabla 2.13: Norma para el control del concreto con relación a la variación total | 95 |
| Tabla 2.14: Norma para el control del concreto con relación a la variación dentro de la prueba | 95 |
| Tabla 3.1: Propiedades químicas, físicas y mecánicas del cemento..... | 107 |
| Tabla 3.2: Propiedades químicas y físicas del nanosílice. | 107 |
| Tabla 3.3: Cálculo del contenido de humedad del agregado fino. | 113 |
| Tabla 3.4: Datos obtenidos para el cálculo del peso específico y absorción del agregado fino..... | 117 |
| Tabla 3.5: Resultados del Peso Unitario Compactado del agregado fino..... | 117 |
| Tabla 3.6: Resultados del peso unitario suelto del agregado fino. | 119 |
| Tabla 3.7: Resultados del peso unitario compactado del agregado fino. | 119 |
| Tabla 3.8: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso..... | 121 |
| Tabla 3.9: Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso. | 124 |
| Tabla 3.10: Datos para el cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso. | 128 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 3.11: Resultados del peso específico (gr/cc) y % de absorción del agregado grueso. | 128 |
| Tabla 3.12: Resultados del peso unitario suelto del agregado grueso. | 130 |
| Tabla 3.13: Resultados del peso unitario compactado del agregado grueso. | 130 |
| Tabla 3.14: Características físicas de los materiales para el diseño. | 131 |
| Tabla 3.15: Resistencia a la compresión promedio. | 132 |
| Tabla 3.16: Volumen unitario de agua. | 133 |
| Tabla 3.17: Contenido de aire atrapado..... | 133 |
| Tabla 3.18: Relación agua-cemento por resistencia. | 134 |
| Tabla 3.19: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto..... | 134 |
| Tabla 3.20: Dosificación de concretos, contenido por m ³ de mezcla. | 137 |
| Tabla 3.21: Resumen del análisis estadístico del concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 7 días..... | 146 |
| Tabla 3.22: Resumen del análisis estadístico del concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 28 días..... | 146 |
| Tabla 3.23: Resumen del análisis estadístico del concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 56 días..... | 147 |
| Tabla 3.24: Decisión de la hipótesis H_0 con el Z_0 para el concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 7 días..... | 148 |
| Tabla 3.25: Decisión de la hipótesis H_0 con el Z_0 para el concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 28 días..... | 148 |
| Tabla 3.26: Decisión de la hipótesis H_0 con el Z_0 para el concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 56 días..... | 149 |
| Tabla 3.27: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 0.5% de nanosílice. | 151 |
| Tabla 3.28: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.0% de nanosílice. | 152 |
| Tabla 3.29: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.5% de nanosílice. | 153 |
| Tabla 3.30: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo..... | 154 |
| Tabla 3.31: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 0.5% de nanosílice sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo. | 155 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tabla 3.32: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.0% de nanosílice sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo. | 156 |
| Tabla 3.33: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.5% de nanosílice sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo. | 157 |
| Tabla 4.1: Medida de asentamientos tomados en un mismo día. | 158 |
| Tabla 4.2: Resistencia promedio a la compresión del concreto..... | 159 |
| Tabla 4.3: Resistencia promedio a la compresión del concreto – SCD..... | 160 |
| Tabla 4.4: Porosidad del concreto – SCD..... | 161 |
| Tabla 4.5: Resistencia a la compresión promedio obtenido. | 163 |
| Tabla 4. 6: Costo del concreto patrón. | 171 |
| Tabla 4. 7: Costo del concreto patrón + 0.5% de nanosílice. | 171 |
| Tabla 4. 8: Costo del concreto patrón + 1.0% de nanosílice. | 171 |
| Tabla 4. 9: Costo del concreto patrón + 1.5% de nanosílice. | 171 |
| Tabla 4. 10: Costo del concreto de 280 kg/cm². | 172 |
| Tabla 4. 11: Costo del concreto de 420 kg/cm². | 172 |
| Tabla 4. 12: Costo del concreto de 490 kg/cm². | 172 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASTM | : Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales. |
| a/c | : Relación agua/cemento para diseño de mezclas. |
| C° | : Definición conocida al Concreto. |
| g | : Gramos. |
| IP | : Cemento Puzolánico. |
| kg | : Kilogramos. |
| MEB | : Microscopía electrónica de barrido. |
| NTP | : Norma Técnica Peruana. |
| PES | : Peso específico de los sólidos. |
| PESSS | : Peso específico de solidos saturados con superficie seca. |
| PH | : Medida de acides o alcalinidad de una sustancia. |
| PUC | : Peso unitario compactado. |
| PUS | : Peso unitario suelto. |
| RNE | : Reglamento Nacional de Edificaciones. |
| S-C-H | : Silicato de calcio hidratado. |
| F'c | : Resistencia de diseño a la compresión. |
| F'cr | : Resistencia promedio de diseño a la compresión. |
| W% | : Contenido de humedad. |
| °C | : Grados centígrados. |
| u | : Media aritmética. |
| n | : Número de pruebas realizadas. |
| σ | : Desviación estándar. |
| σ^2 | : Varianza. |
| Zo | : Estadístico de prueba. |
| Ho | : Hipótesis nula. |
| Ha | : Hipótesis alternativa. |
| TMN | : Tamaño máximo nominal |

RESUMEN

En el mundo el concreto es el material más ampliamente utilizado en la industria de la construcción debido a su versatilidad para adoptar prácticamente cualquier forma, bajo condiciones normales, pero no se le presta suficiente atención a la durabilidad del material, el congelamiento y deshielo en zonas altoandinas del país es el causante de problemas en infraestructuras, que no cumplen su vida útil. Es necesario enfocar el diseño de concreto no solo desde el punto de vista resistente, sino también desde el punto de vista durable.

Una de las últimas tecnologías desarrolladas con muchas aplicaciones en la construcción es la nanotecnología, en el marco de esta tecnología se desarrolla la presente investigación que estudia la influencia del nanosílice y superplastificante en la durabilidad del concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo, preparados con nanosílice que ya contienen superplastificante (AQUA 206), usando cemento portland puzolánico tipo IP, relación agua-cemento menores a 0.56. El diseño se basa por la guía ACI 211.1 para concretos normal, pesado y masivo. La resistencia más alta obtenida a la compresión en 28 días es 490.72 kg/cm² y en 56 días es 516.62 kg/cm² para concretos con 1.5% de nanosílice (1.5NS). La resistencia más alta obtenida a la compresión sometido a ciclos de congelamiento y deshielo en 28 días es 487.54 kg/cm² y en 56 días 512.23 kg/cm² para concretos con 1.5NS. Finalmente el concreto con adición de nanosílice presenta menos porosidad a la edad de 28 días es 1.73% y en 56 días es 1.85% para concretos con 1.0% de nanosílice (1.0NS).

Se desarrolla un concreto patrón (CP) que en su composición no posee ninguna adición, relación agua-cemento igual 0.56, manteniendo el asentamiento de 6 a 7 pulgadas y se comparará sus propiedades con cada una de las mezclas diseñadas con adición. A la mezcla patrón se le adiciona 0.5, 1.0 y 1.5% de nanosílice en relación al peso del cemento 0.5NS, 1.0NS y 1.5NS respectivamente. Se presenta también el diseño de diferentes tipos de mezcla y la determinación de sus propiedades al estado fresco y endurecido, que fueron sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo; simulando los ciclos en dos ambientes: primero el ambiente artificial de congelamiento durante 12 horas en la noche (congelador calibrado de -8 a -15°C) y el segundo en un ambiente natural de deshielo durante 12 horas en el día, estos ciclos se sometieron a un periodo de 56 días.

PALABRAS CLAVES: Nanosílice – Concreto – Durabilidad – Congelamiento y Deshielo.

ABSTRACT

In the world, concrete is the most widely used material in the construction industry because of its versatility to take practically any shape under normal conditions but insufficient attention is paid to material durability, freezing and thawing in areas High andes of the country is the cause of problems in infrastructures, that do not fulfill their useful life. It is necessary to focus the concrete design not only from the standpoint of resistance, but also from the point of view durable.

One of the latest technologies developed with many applications in construction is nanotechnology, within the framework of this technology the present research is developed that studies the influence of nanosilicate and superplasticizer on the durability of the concrete subjected to cycles of freezing and thawing, prepared with Nanosilica that already contain superplasticizer (AQUA 206), using portland cement pozzolanic type IP, water-cement ratio less than 0.56. The design is based on the ACI 211.1 guide for normal, heavy and massive concrete. The highest strength obtained at compression in 28 days is 490.72 kg / cm² and in 56 days it is 516.62 kg / cm² for concrete with 1.5% of nanosilica (1.5 NS). The highest strength obtained under compression under freezing and thawing cycles in 28 days is 487.54 kg / cm² and in 56 days 512.23 kg / cm² for concrete with 1.5 NS. Finally the concrete with nanosilica has less porosity at the age of 28 days is 1.73% and in 56 days it is 1.85% for concrete with 1.0% of nanosilica (1.0NS).

A standard concrete (CP) is developed which in its composition does not have any addition, water-cement ratio equal to 0.56, maintaining the settling of 6 to 7 inches and comparing its properties with each of the mixtures designed with addition. 0.5, 1.0 and 1.5% of nanosilica are added to the standard mixture in relation to the weight of the cement 0.5NS, 1.0NS and 1.5NS respectively. It is also presented the design of different types of mixture and the determination of its properties to the fresh and hardened state, which were subjected to freezing and thawing cycles; Simulating the cycles in two environments: first the artificial freezing environment for 12 hours at night (freezer calibrated from -8 to -15 ° C) and the second in a natural de-icing environment for 12 hours in the day, these cycles are Submitted to a period of 56 days..

KEYWORDS: Nanosilica - Concrete - Durability - Freezing and Thawing.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

En el mundo el concreto es el material más ampliamente utilizado en la industria de la construcción, debido a su versatilidad para adoptar prácticamente cualquier forma y también tal vez por la aparente poca necesidad de mantenimiento de las estructuras construidas con él, bajo condiciones normales, pero no se le presta suficiente atención a la durabilidad del material. En los últimos años la palabra durabilidad, ha venido ganando cada vez más importancia por el hecho de que se ha descubierto que entre mayor sea la capacidad del material de resistir los ataques de carbonatación, cloruros, sulfatos, y en especial al congelamiento y deshielo que más afecta a nuestra región de Puno, mayor será el tiempo de servicio del mismo. Esto tiene gran importancia en la economía nacional ya que en países desarrollados y en vía de desarrollo se invierten miles de millones de dólares en mantenimiento y rehabilitación de obras de infraestructura.

El deterioro del concreto por ciclos de congelamiento y deshielo son causas frecuentes de problemas en los pavimentos, revestimiento de canales, superestructura de puentes e infraestructuras en las zonas altoandinas de nuestro país, que no cumplen su vida útil para los que fueron diseñadas y construidas y esto desequilibra el análisis costo beneficio de todo proyecto. Para lograr esta condición y garantizar que las estructuras mantengan sus prestaciones básicas de servicio (funcionalidad, estética y seguridad), es necesario enfocar el diseño de concreto no solo desde el punto de vista resistente, sino también desde el punto de vista durable frente a los agentes medioambientales y agresivos a los que puedan estar sometidas.

El avance en las prestaciones de los materiales, y en particular de los materiales de construcción, en los últimos años se han intensificado las investigaciones, con el objetivo de mejorar su comportamiento mecánico y físico; y economizar su costo de fabricación. Una de las últimas tecnologías desarrolladas con muchas aplicaciones en este campo es la nanotecnología, que como su nombre lo indica, se ocupa del estudio de los materiales de muy pequeñas dimensiones a escalas nanométricas, en que un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro

El nanosílice es una de las aplicaciones de la nanotecnología en la construcción, derivado del humo de sílice (a base de sílica amorfa nanométrica), se emplea igual que la microsílice, pero con la ventaja que no produce contaminación al medio ambiente y la agresión a la salud por inhalación de ésta. En teoría, la nanosílice presenta un carácter puzolánico que contribuye a la densificación en la matriz, llevando a la reducción de la porosidad y el consecuente aumento de la resistencia mecánica y de la durabilidad.

A pesar del aparente efecto positivo, no está clara la real repercusión de ese aditivo en el comportamiento del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

Los daños producidos por los ciclos de congelamiento y deshielo en el concreto pueden ser internos, fundamentalmente la fisuración y/o externos como el descascaramiento (desgaste superficial por la acción ambiental), la aparición de fisuras y el desprendimiento de láminas. Estos pueden también ser debidos por el congelamiento del cemento, agregado y cemento-agregado.

Son todos estos aspectos los que han motivado la realización de este trabajo. Por un lado trabajar con un material, de incorporación relativamente reciente de nanotecnología en el ámbito de la construcción; y la creciente importancia de los aspectos durables en las estructuras.

De forma sintética en este trabajo se estudia la influencia de la incorporación de nanosílice en el concreto frente a un factor que afecta en su durabilidad como son los ciclos de congelamiento y deshielo. Para ellos se han sometido probetas de concreto al ensayo de ciclos de congelamiento y deshielo y se han caracterizado las principales propiedades con ensayos tanto en estado fresco como endurecido, unos para asegurar su trabajabilidad y otros para evaluar el comportamiento del material a lo largo del tiempo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La durabilidad de las estructuras del concreto es un tema complejo en el que interviene un número elevado de variables, asociadas a orígenes distintos: proyectos, ejecución, materiales, uso, mantenimiento y medioambiente en el que se encuentran las estructuras, entre otras. Por ello, y aunque en los últimos años se ha dedicado un esfuerzo importante al estudio de la durabilidad, queda mucho por hacer. Particularmente en el avance de estudios de procesos químicos del deterioro del concreto han sido importantes, pero, lamentablemente este proceso no ha ido debidamente acompañado, hasta ahora, con el estudio de los procesos mecánicos asociados, especialmente al fuerte aumento de volumen que genera algunos de estos procesos y el agrietamiento y pérdida de resistencia que lo acompaña. Muestra de que aún hay mucho trabajo por hacer en la abundante patología que muestran las estructuras de concreto armado y pretensado sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

Los climas extremos en zonas altoandinas del Perú, con temperaturas muy bajas en invierno en especial en los meses de Mayo, Junio y Julio someten al concreto a ciclos de congelamiento y deshielo, fundamentalmente cuando estas estructuras no están protegidas ni impermeabilizadas frente a la penetración de agua.

En el siglo XXI la ciencia se ha visto revolucionada por investigaciones relacionadas con nanociencia y nanotecnología, conceptos que se traducen en un gran desarrollo tecnológico en una variada gama de actividades de gran impacto para la sociedad. Una de ellas es el estudio de materiales relacionados con la ingeniería civil. (Aguilar, 2007, p.1).

La nanosílice es una de las aplicaciones de la nanotecnología en la construcción, en la amplia literatura técnica muestra sus bondades particulares en la mejora de las propiedades de los morteros y concretos en el mundo. Desde el análisis de las mezclas en estado fresco en cuanto a procesos de hidratación y trabajabilidad, hasta razonamientos referente al alcance de resistencia, porosidad y permeabilidad (Jo et al, 2007) han sido relevantes en búsqueda de concretos de mayores resistencias y una durabilidad superior frente a los agentes externos.

Ante las situaciones mostradas en los párrafos anteriores, el fin último de esta investigación, es realizar un concreto adicionado con nanosílice para así determinar su influencia en la durabilidad a ciclos de congelamiento y deshielo.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL.

- ❖ ¿Cómo influye la adición de nanosílice en su durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- ❖ ¿Cómo influye el uso de nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto?
- ❖ ¿Cómo influye el uso de nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo?
- ❖ ¿Cómo influye el uso de nanosílice en la porosidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo?

1.2.OBJETIVOS.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

- ❖ Determinar la influencia del nanosílice en la durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ❖ Determinar la resistencia a compresión del concreto que tienen incorporado el nanosílice.
- ❖ Determinar la resistencia a compresión del concreto que tienen incorporado el nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.
- ❖ Determinar la porosidad de los concretos que están sometidos a congelamiento y deshielo.

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL.

- ❖ La incorporación del nanosílice en el concreto tiene una influencia significativa positiva en su durabilidad sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS.

- ❖ El concreto con adición de nanosílice es más resistente a compresión que el concreto convencional.
- ❖ El concreto con adición de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo es más resistente a compresión que el concreto convencional sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.
- ❖ El concreto con adición de nanosílice tiene menor porosidad que el concreto convencional sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

1.4. JUSTIFICACIÓN.

En el concreto con incorporación de nanosílice en su estructura, hasta el momento se han desarrollado investigaciones en determinar su influencia en la durabilidad a agentes agresivos como los sulfatos y cloruros obteniéndose buenos resultados, debido a que la incorporación del nanosílice en el concreto reduce la permeabilidad del concreto.

Esta investigación se centrará en un tema aún no abordado en las investigaciones realizadas hasta ahora, que es la determinación de la influencia del nanosílice en la durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo, el cual se desarrollará a través de un ensayo en laboratorio donde se desprenderá un análisis físico, con los cuales se estudiará el comportamiento y el mecanismo físico de degradación de las muestras con adición de nanosílice en el concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la región Puno, que en los meses más críticos de Mayo, Junio y Julio del año 2016 registró temperaturas mínimas que no superan el -4.3°C en la ciudad de Puno, teniendo como antecedente estos registros el congelamiento se realizará en un ambiente artificial durante 12 horas en la noche (congelador calibrado de -8 a -15°C); y el deshielo se realizará en un ambiente natural durante 12 horas en el día. Los resultados que se obtendrán de la rotura de briquetas será una aproximación de la realidad debido a que en el ambiente natural intervienen muchas más variables además del congelamiento y deshielo como la acción de los vientos, la humedad atmosférica, los altos gradientes térmicos (variaciones de temperatura).

El concreto, aunque es un material bastante resistente, no es invulnerable a los efectos del medio ambiente en el que se encuentre. El efecto prolongado de deterioro de los diferentes agentes o acciones sobre las estructuras de concreto ocasiona un descenso en los tiempos o períodos de vida útil y de servicio, el concreto de alta resistencia no es ajeno a esto. Por tal motivo lo que buscará esta investigación es asentar las bases de

futuras investigaciones, porque, en nuestra región de Puno en un futuro no muy lejano el uso de concretos de alta resistencia no será muy ajeno ya que su uso de este tipo de concreto se viene masificando desde sus inicios en diversas partes del mundo y existen indicios de su investigación en nuestro país desde el año 2012, y que mejor realizar una investigación para la ciudad de Puno como caso específico de ¿cómo es el comportamiento de este tipo de concreto a nuestro ambiente climático más crítico como los ciclos de congelamiento y deshielo?.

1.5.ANTECEDENTES.

Para la realización de una investigación es necesario apoyarse en otros trabajos anteriormente realizados, los cuales aporten de alguna manera algo para el desarrollo de ésta.

(Comité ACI 201.2R-01, 2001); en su informe de “Guía para la durabilidad del hormigón”; indica que la durabilidad del hormigón de cemento hidráulico se define como su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión, corrosión de metales, reacciones químicas de los agregados, congelamiento y deshielo o cualquier otro proceso de deterioro.

(Seguel, 2006); en su tesis “Hormigones de alta resistencia H70”, Universidad Austral de Chile; realiza una comparación de aditivos de microsílíce y nanosílíce por recomendación de la ISO 14001 porque el primero presentaba desventajas de ser altamente tóxicos (humo de sílice) y que provocaban cáncer a los pulmones en los usuarios. A las conclusiones que llega, que el aditivo nanosílíce tiene mejores ventajas frente al uso de microsílíce en su resistencia, seguridad, medio ambiente y economía.

(Aguilar, 2007); en su tesis “Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad”, Universidad Austral de Chile; determina la influencia de las nanopartículas de sílice en el concreto a dos tipos de relación de agua-cemento (0.55 y 0.65), en presencia de un agente que afecta la durabilidad por agentes agresivos solución de sulfato de sodio, realizando análisis físicos y químicos, superficiales y microestructurales, por medio de experiencias en laboratorio. A las conclusiones que llega, que las muestras con mayor contenido de nanosílice evidenciaron un comportamiento mejor en cuanto se vieron menos afectadas o alteradas física y químicamente por el agente agresivo solución de sulfato de sodio.

(Páez, Leal y Restrepo, 2009): en su artículo “Influencia de los ciclos Hielo-deshielo en la resistencia del concreto (caso Tunja)”; revista de ingeniería de la Universidad de Medellín; explica como el fenómeno afecta al concreto tanto cualitativamente como cuantitativamente en propiedades físicas y mecánicas como porosidad, absorción y resistencia, y en su apariencia física. Pero los diseños de concreto no incluían aditivos. A las conclusiones que llegó, la variación de resistencia fue mayor en relación agua cemento 0.7 con respecto a 0.5 en 17.9% y 13.7% respectivamente.

(León, 2012); en su tesis de “Influencia de la adición de nanosílice en el hormigón autocompactante”, Universidad Politécnica de Madrid; analiza la influencia del nanosílice en el concreto autocompactante, llegando a las conclusiones que aumenta la resistencia a compresión, mejora el comportamiento frente a la penetración de iones

cloruros y su comportamiento es de un hormigón más compacto, con poros más pequeños y por lo tanto menos susceptibles al ataque por agentes externos.

(Gómez, 2013) en su tesis “Impacto económico del uso de aditivos a base de nanosílice en mezclas de concreto con cenizas volantes. Caso: Ahinco S.A.”, Escuela de Ingeniería de Antioquia; concluye que el aditivo nanosílice contribuye de manera significativa a la resistencia a la compresión axial sin afectar la trabajabilidad, color ni el acabado de los mismos y los beneficios económicos son mayores.

(Niño, 2013); En su tesis “Caracterización mecánica y de durabilidad de concretos de alto desempeño”, La Pontificia Universidad Javeriana; analizó la influencia sobre las propiedades en estado fresco, endurecido y de durabilidad de concretos de alto desempeño adicionados con humo de sílice (microsílice) y nanosílice. Concluye que el nanosílice proporciona mejoras en las diferentes propiedades respecto a los microsílice, pero ambos mostraron resultados mejores al ensayo de penetración del ion cloruro y que la inclusión de nanosílice a los concretos mostró ser una alternativa técnica y económicamente más viable.

(Morales, 2015): en su tesis “Estudio de concreto de alta durabilidad”, Universidad Nacional Autónoma de México; elaboró mezclas de concreto con adición de humo de sílice (microsílice) que sean poco permeables al paso de los cloruros y determinó la expansión por ataques de sulfatos durante un periodo de doce meses. A las conclusiones que llegó, la resistencia al ataque de sulfatos mejora al aumentar el porcentaje de humo de sílice (microsílice), redujo la contracción por secado y la permeabilidad al agua, donde los resultados óptimos fueron con relación agua-cemento de 0.4 y 10% de humo de sílice.

1.6.DELIMITACIÓN

1.6.1. GEOGRÁFICAS

Será realizado en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ubicado en la Universidad Nacional del Altiplano en la ciudad de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno.

1.6.2. TEMPORAL

El tiempo estimado de la investigación es de aproximadamente 9 meses, comenzando en Septiembre del año 2016 con culminación de Abril del año 2017. Los ensayos de concretos a ciclos de congelamiento y deshielo se realizaron en los meses de Febrero, Marzo y Abril del año 2017.

1.7.METODOLOGÍA

1.7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

La investigación fue del tipo Correlacional-Sincrónicas-Cuantitativo; la primera porque existe relación entre la incorporación del nanosílice y la durabilidad en el concreto, la segunda porque los experimentos se realizan solo en periodos determinados y la tercera porque la información utilizada es de tipo cuantitativo.

1.7.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

Es posible tener una investigación de nivel exploratorios, descriptivos, o explicativos dependiendo de lo que se esté desarrollando. Para este caso, se realiza una investigación de tipo exploratorio, ya que, luego de dosificar y producir briquetas de concreto, es necesario manipularlos en máquinas especializadas para determinar la resistencia del mismo.

La investigación exploratoria se realiza, “Cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen dudas o no se ha abordado antes.”(Sampieri, Fernandez y Baptista, 2010, p. 79)

1.7.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de una investigación puede de ser de campo, experimental o bibliográfico. Para este caso se utilizará un diseño experimental, ya que, naturalmente es necesario obtener datos bibliográficos de los cuales justifiquen los distintos aspectos de la investigación. Es con estos datos que será posible desarrollar distintas actividades como las cantidades de cada uno de los materiales necesarios para producir el concreto, el cual, luego de una serie de experimentos, nos permitan determinar la resistencia.

“La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo o por que causa se produce una situación o acontecimiento particular” (Tamayo, 2004, p. 47).

1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.8.1. POBLACIÓN.

La población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de la población poseen una característica común, la que estudia y da origen a los datos de esta investigación. Entonces una población es un conjunto de todas las cosas que concuerdan con una serie determinada de especificaciones técnicas.

La población de muestra son dos: el concreto convencional y el concreto con adición de nanosílice.

1.8.1. MUESTRA.

La muestra es un sub grupo de la población, donde reúne todas las características y propiedades de una población y que es representativa; de la cual se obtienen conclusiones semejantes y de relevancia en relación al problema de estudio.

Es así que se practicó un muestreo referencial conforme al diseño de la investigación de acuerdo a las especificaciones de los ensayos y normas, se muestra un análisis:

- ❖ El diseño de mezclas del concreto patrón fue de resistencia a compresión de $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$.
- ❖ En la dosificación del concreto se mantuvo el asentamiento constante de 6-7".
- ❖ Las muestras (briquetas) fueron cilíndricas con dimensiones de 6" (150mm) de diámetro y 12" (300mm) de altura.
- ❖ Los agregados para el estudio serán de la cantera Viluyo del distrito de Puno, cemento portland puzolánico tipo IP, el aditivo nanosílice AQUA 206.
- ❖ Para cumplir con nuestra hipótesis se realizó 4 tipos de grupos y 2 formas de exposición a las probetas, de los cuales la mitad se sometió a ciclos de congelamiento y deshielo y la otra mitad no se sometió a ningún ciclo, de cada forma de exposición se obtienen 3 probetas que en total suman 24 muestras. Para tener una confiabilidad aceptable de la investigación se hará un análisis probabilístico en donde se necesita un mínimo de 6 muestras por cada ensayo de resistencia a compresión axial del concreto y como inicialmente se tenía 24 muestras entonces por el análisis probabilístico se requiere un total de 144 muestras. Finalmente donde todas las probetas fueron sometidos a ensayos a

compresión a edades de 7, 28 y 56 días para sus respectivos análisis y comparaciones.

El esquema general de tipos de grupos, es el siguiente:

- ❖ M-1 (CP), Concreto Patrón Normal de 210 kg/cm².
- ❖ M-2 (CP+0.5NS), Concreto Patrón + 0.5% de Nanosílice.
- ❖ M-3 (CP+1.0NS), Concreto Patrón + 1.0% de Nanosílice.
- ❖ M-4 (CP+1.5NS), Concreto Patrón + 1.5% de Nanosílice.

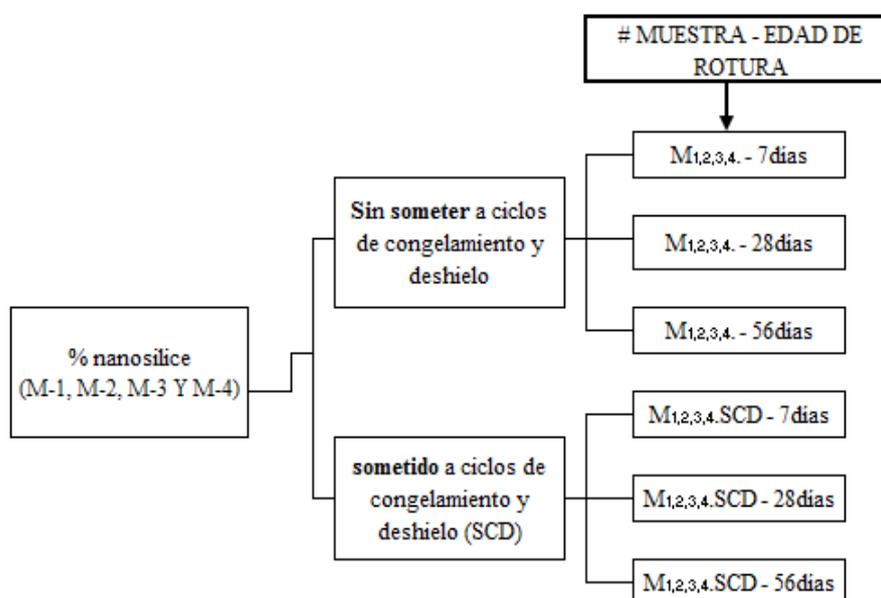


Figura 1.1: Esquema de la cantidad de muestras.

Fuente: Elaboración propia.

En resumen tenemos:

Tabla 1.1: Resumen de cantidad de muestras.

| Tipo de muestra | 7 días | | 28 días | | 56 días | | N° de briquetas |
|------------------------------------|--------|-----|---------|-----|---------|-----|-----------------|
| | Normal | SCD | Normal | SCD | Normal | SCD | |
| Concreto patrón | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 36 |
| 0.5NS | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 36 |
| 1.0NS | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 36 |
| 1.5NS | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 36 |
| Cantidad total de briquetas | | | | | | | 144 |

Fuente: Elaboración propia.

1.9.MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1.2: Matriz de consistencia.

| Problemas | | Objetivos | Hipótesis | Variables | Indicadores | Factor a medir | Escala |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
| ❖ PROBLEMA GENERAL ¿Cómo influye la adición de nanosílice en su durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo? | ❖ OBJETIVO GENERAL Determinar la influencia del nanosílice en la durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo. | ❖ HIPÓTESIS GENERAL La incorporación del nanosílice en el concreto tiene una influencia significativa positiva en su durabilidad sometido a ciclos de congelamiento y deshielo. | Independientes: ❖ Concreto adicionado con nanosílice. Dependientes: ❖ Durabilidad del concreto. | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ Resistencia a compresión. ❖ Porosidad del concreto. | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ $F'c=210$ kg/cm ² . ❖ Pc (%). | ❖ 0.5NS, 1.0NS y 1.5NS. ❖ $F'c(NS) > F'c$. ❖ $Pc(NS) < Pc$. | |
| ❖ PROBLEMAS ESPECÍFICOS ¿Cómo influye el uso de nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto? | ❖ OBJETIVOS ESPECÍFICOS Determinar la resistencia a compresión del concreto que tienen incorporado el nanosílice. | ❖ HIPÓTESIS ESPECÍFICAS El concreto con adición de nanosílice es más resistente a compresión que el concreto convencional. | Independientes: ❖ Concreto adicionado con nanosílice. Dependientes: ❖ Resistencia a compresión del C^o . | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ Resistencia a compresión. | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ $F'c=210$ kg/cm ² . | ❖ 0.5NS, 1.0NS y 1.5NS. ❖ $F'c(NS) > F'c$. | |
| ❖ ¿Cómo influye el uso de nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo? | ❖ Determinar la resistencia a compresión del concreto que tienen incorporado el nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo. | ❖ El concreto con adición de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo es más resistente a compresión que el concreto convencional sometido a ciclos de congelamiento y deshielo. | Independientes: ❖ Concreto adicionado con nanosílice. Dependientes: ❖ Resistencia a compresión del C^o (SCD). | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ Resistencia a compresión (SCD). | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ $F'c=210$ kg/cm ² . | ❖ 0.5NS, 1.0NS y 1.5NS. ❖ $F'c(NS) > F'c$. | |
| ❖ ¿Cómo influye el uso de nanosílice en la porosidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo? | ❖ Determinar la porosidad de los concretos que están sometidos a congelamiento y deshielo. | ❖ El concreto con adición de nanosílice tiene menor porosidad que el concreto convencional sometido a ciclos de congelamiento y deshielo. | Independientes: ❖ Concreto adicionado con nanosílice. Dependientes: ❖ Porosidad del Concreto (SCD). | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ Porosidad del concreto (SCD). | ❖ Porcentaje de nanosílice con respecto al peso del cemento. ❖ Pc (%). | ❖ 0.5NS, 1.0NS y 1.5NS. ❖ $Pc(NS) < Pc$. | |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1.CONCRETO

¿Qué se entiende por concreto?

El concreto en un sentido general, es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento portland y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la resistencia, tiempo de fraguado y ductilidad.

“La pasta, compuesta de cemento portland y agua unen los agregados, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua” (PCA, 2004, p.1).

2.1.1. MATERIALES CONSTITUYENTES DEL CONCRETO.

2.1.1.1.CEMENTO

El cemento cumplirá con los requisitos exigidos por la norma NTP 334.009.

¿Qué se entiende por cemento?

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos (Rivva, 2010, p.30). El más utilizado, es el cemento portland, fue patentado por Joseph Aspdin, un constructor de Leeds.

Se da el nombre de portland a un cemento obtenido por la mezcla de material calcáreo y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alumina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se forme escorias, para posteriormente moler el producto resultante (Neville y Brooks, 1998, p.14). Como materiales calizos que contengan principalmente carbonato cálcico como calizas, margas, etc; como materiales arcillosos que contengan principalmente óxidos de silicio o sílice de aluminio o alúmina, y de hierro.

¿Cómo es el proceso de fabricación del cemento portland?

El proceso consiste principalmente en moler finamente las materias primas, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un horno rotatorio de gran dimensión, a una temperatura de 1300 a 1400 °C, donde el material se funde parcialmente hasta convertirse en escorias (clinker). Después el clinker se deposita en enfriadores donde se muele hasta convertirla en polvo finísimo; a continuación se agrega un poco de yeso CaSO_4 . Este producto resultante se denomina

cemento portland que se usa en todo el mundo. Es importante destacar que el yeso es indispensable para regular el endurecimiento del cemento una vez que entra en contacto con el agua, porque cuando su cantidad es muy baja el endurecimiento puede ocurrir de manera instantánea.

¿Cómo es la composición química del cemento?

Como se mencionó, las materias primas principales para la elaboración del cemento portland son la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos. La composición química del cemento se divide en composiciones principales y menores.

- ❖ Los componentes principales del cemento son cuatro y se presenta en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Principales componentes del cemento portland.

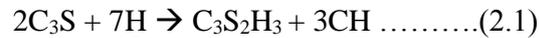
| Nombre | Composición | Abreviatura | Contenido % |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|
| Silicato tricálcico | $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_3S | 45-60 |
| Silicato bicálcico | $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ | C_2S | 5-30 |
| Aluminato tricálcico | $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ | C_3A | 6-25 |
| Alumino ferrito tetracálcico | $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ | C_4AF | 6-8 |

Fuente: Elaboración propia.

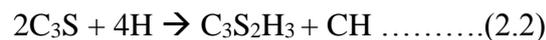
A continuación se describirá como influye estos componentes (Morejon, 2015, p.6-7)

El silicato tricálcico C3S (Alita); es el componente principal del clinker, formando alrededor del 50% de este, tiene la propiedad de aportar las mayores resistencias iniciales al cemento. El calor de hidratación que libera es muy elevado

(120cal/g), reacciona según se muestra a continuación. Los productos de hidratación que se obtienen son el gel de tobermorita (CSH) y la portlandita (CH).



El silicato bicálcico C2S (Belita); este componente aporta pocas resistencias a edades tempranas pero va alcanzando resistencias progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico. Ocupa alrededor del 25% del cemento, su calor de hidratación es bajo (60cal/g) y reacciona según se muestra a continuación, resultando gel de tobermorita (CSH) y portlandita (CH) como producto de hidratación.



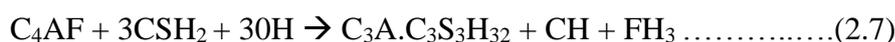
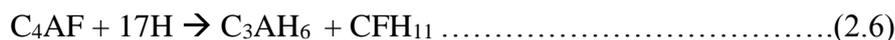
El aluminato tricálcico C3A; este componente por sí solo no contribuye a la resistencia, pero en presencia de silicatos desarrolla unas resistencias iniciales buenas. Actúa como catalizador de la reacción de silicatos. Su hidratación es muy rápida desarrollando un calor de hidratación de 207cal/g, su contenido está alrededor del 10%. Para retrasar su actividad se emplea yeso que actúa como regulador del fraguado. Uno de los inconvenientes, es que provoca hormigones y morteros muy sensibles al ataque de sulfatos y otros agentes agresivos. Reacciona según las siguientes ecuaciones y se obtienen la etringita y el sulfoaluminato de calcio hidratado.



El ferrito aluminato tetracálcico C4AF (Celita); Apenas contribuye a las resistencias del cemento. Su hidratación es rápida pero más lenta que la del aluminato.

Posee un calor de hidratación de 100cal/g. es el fundente en el horno y el responsable del color gris verdoso del cemento. Su contenido en el cemento esta alrededor del 8%.

Reacciona según se muestra en las siguientes ecuaciones.



En la siguiente tabla 2.2 se realiza un cuadro de resumen de los principales componentes de lo anteriormente expuesto.

Tabla 2.2: Cuadro de resumen de los principales componentes del Clinker.

| Compuesto | Contenido | Cinética de actuación | Calor de hidratación | Desarrollo de resistencia | Durabilidad |
|-----------------------------------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|
| C ₃ S Silicato tricálcico | 50% | alta | 120 cal/g | Rápido y prolongado | baja |
| C ₂ S Silicato bicálcico | 25% | alta | 60 cal/g | Lento y muy prolongado | intermedia |
| C ₃ A Aluminato tricálcico | 10% | Muy alta | 207 cal/g | Muy rápido y de corta duración | Muy baja |
| C ₄ FA Ferrito aluminato tetracálcico | 8% | alta | 100 cal/g | Lento y poco significativo | alta |

Fuente: Elaboración propia.

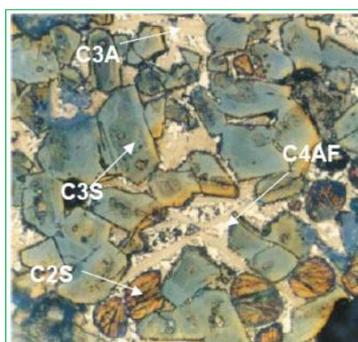


Figura 2.1: Estructura microscópica del clinker (Alcaraz, 2012, p.18)

Los componentes menores como MgO, TiO₂, Mn₂O₃, K₂O y Na₂O; que por lo general no representan más que un pequeño porcentaje de la masa de cemento. De todos los componentes menores, dos son de interés: los óxidos de sodio y potasio Na₂O y K₂O, conocidos como los álcalis. Se sabe que reaccionan con algunos agregados, los productos de la reacción álcali-agregado, lo cual causa la desintegración del concreto. También se ha observado el índice de incremento de la resistencia del cemento. (Neville y Brooks, 1998, p.16).

De la tabla 2.3 puede obtenerse una idea general de la composición del cemento, y los límites de composición de óxidos de los cementos portland.

Tabla 2.3: Límites aproximados de la composición del cemento portland.

| Óxidos | Contenido (%) |
|--------------------------------|---------------|
| CaO | 60-67 |
| SiO ₂ | 17-25 |
| Al ₂ O ₃ | 3-8 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.5-6.0 |
| MgO | 0.1-4.0 |
| Alcalinos | 0.2-1.3 |
| SO ₃ | 1-3 |

Fuente: (Neville y Brooks, p.17).

¿Cómo es la hidratación del cemento?

El endurecimiento y fraguado del concreto son el resultado de procesos químicos y físicos entre el cemento portland y el agua. Dicho proceso recibe el nombre de hidratación del cemento.

Las reacciones químicas de hidratación de los compuestos del cemento condicionan en gran medida las microestructuras. Desde un punto de vista químico, las reacciones son un complejo proceso de disolución-precipitación en el que se disuelven

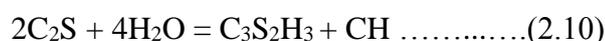
los componentes más solubles del cemento, formando una fase acuosa iónica a partir de la cual y, en función del grado de saturación de dichos iones, precipitaran los hidratos correspondiente en forma de coloides o hidratos cristalinos (Segura, 2008, p.36-37).

La hidratación separada de cada componente del cemento portland ocurre de la siguiente forma (Alizo, 2015, p.37)

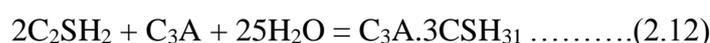
Silicato tricálcico: Reacciona rápidamente con el agua produciéndose $C_3S_2H_3$ (tobermorita) y $Ca(OH)_2$ (portlandita), en forma simplificada CH, según las reacciones:



Silicato bicálcico: Reacciona más lentamente a diferencia del silicato tricálcico, produciendo la misma cantidad de tobermorita pero menos cantidad de portlandita:



Aluminato tricálcico: La hidratación es muy rápida debido al gran poder de disolución que este presenta, produciendo un endurecimiento muy rápido de la pasta. Para disminuir la velocidad del fraguado presente en esta reacción, se añade un reactor de fraguado que generalmente es yeso hidratado ($3CSH_2$) y formando a su vez estringita ($C_3A.3CSH_{31}$).



Ferrito aluminato tetracálcico: Reacciona con el agua dando aluminatos de calcio hidratados cristalizados y ferrito de calcio hidratado amorfo, así como hidróxido de hierro.

Como se ha mostrado anteriormente, los compuestos generados mayoritariamente durante el proceso de hidratación son el gel C-S-H (tobermorita) y la portlandita. Además de estos componentes mayoritariamente otra serie de compuestos, como la estringita, monosulfoaluminatos hidratados y otros compuestos hidratados.

Los silicatos cálcicos hidratados o tobermorita (figura 2.2) es el componente mayoritariamente de la pasta de cemento hidratado, constituyéndose un 50- 60% del volumen total de la pasta de cemento hidratado. La nomenclatura C-S-H representa a un compuesto de estequiometría no definida, pudiendo representar relaciones Ca/Si que varían de 1.7 a 2.0 y contenidos de agua estructural muy diferente. El gel C-S-H es un silicato amorfo que puede sufrir sustituciones isomórficas, admitiendo en su estructura cantidades considerables de otros iones fundamentales Fe y Al. (Segura, 2008, p.37).

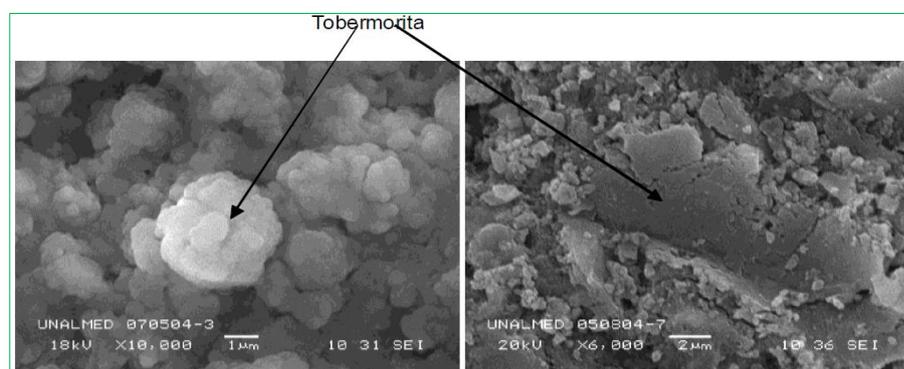


Figura 2.2: Imagen de MEB de la formación de tobermorita (Tobón, 2011, p.44).

El hidróxido cálcico o portlandita (figura 2.3), constituye un 20-25% del volumen de la pasta de cemento hidratado. Al contrario que el gel C-S-H, tiene una estequiometría definida y es un compuesto cristalino que tiende a formar grandes cristales de simetría hexagonal o prismática en función del espacio disponible para su formación, temperatura e impurezas del sistema. Presenta una estructura en capas.

Habitualmente aparece formando módulos heterogéneamente repartidos en la pasta de cemento. En comparación con el gel C-S-H apenas contribuye a crear resistencia, debido a que su carácter enlazante es mínimo, por el mayor tamaño de sus cristales (Segura, 2008, p.39).

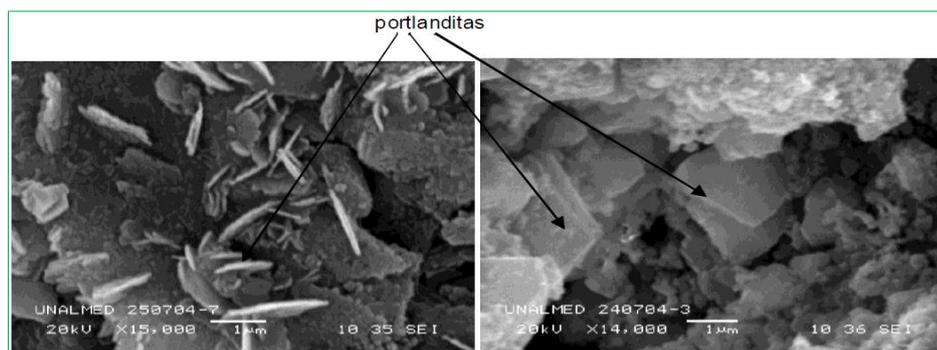


Figura 2.3: Imagen de MEB de unos cristales hexagonales de portlandita (Tobón, 2011, p.45)

El sulfoaluminato cálcico o etringita (figura 2.4) constituyen un 15-20% del volumen de pasta de cemento hidratado y, aunque contribuyen en muy pequeña proporción a las resistencias del producto final, juegan un papel muy importante en cuanto a la durabilidad en medios sulfatados. A edades cortas del proceso de hidratación del aluminato tricálcico más yeso, se forma principalmente la etringita, que a partir de las 24 horas de hidratación comienza a desaparecer dando lugar a los monosulfatos (Henche, 2011, p.15).

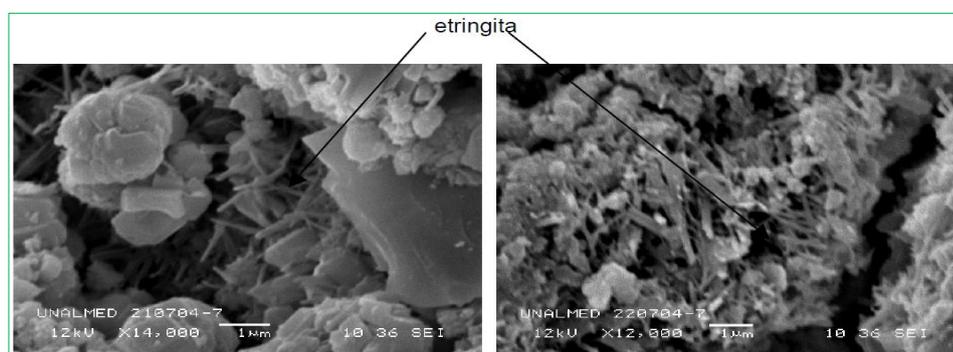


Figura 2.4: Imagen de MEB de una formación de etringita dentro de un poro (Tobón, 2011, p.46)

Clasificación del cemento portland

Hasta ahora se ha considerado al cemento portland como un material genérico, pero que sucede cuando se requiere obtener determinadas propiedades físicas y mecánicas más importantes del concreto endurecido como la resistencia, contracción, permeabilidad y durabilidad. Para asegurar la durabilidad del concreto en diversas condiciones a los que están expuestos, se han desarrollado muchos cementos, que se clasifican según sus propiedades que están normalizado por la Norma Internacional ASTM 150 y la Norma Peruana NTP 334.009. Se describe, a continuación los tipos de cemento.

TIPO I: Conocido como cemento portland común y es sin duda el más empleado en obras de construcción en general, pero, que no estén expuesto a sulfatos presentes en suelo o en agua del subsuelo, para esto existen otros tipos de cemento.

TIPO II: conocido como cemento portland modificado, con un índice mayor de calor desarrollado que la del tipo IV, y un índice de aumento de desarrollo de resistencia similar al de tipo I. el cemento tipo II es recomendado para estructuras que están expuestas a la acción moderada de sulfatos o en las que es deseable un bajo calor de hidratación.

Es el cemento destinado a obras de concreto en general y a obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.

TIPO III: Es el cemento portland de endurecimiento rápido o alta resistencia inicial, es muy similar al de tipo I, la diferencia radica a su mayor contenido de C3S y a su mayor finura. Recomendados para construcciones a bajas temperaturas para evitar daños por congelamiento temprano o donde el encofrado se vaya a mover pronto a fin de reutilizarla.

TIPO IV: Es el cemento portland de bajo calor de hidratación debido, al contenido bajo de C₃S y C₃A, hay un desarrollo de resistencia más lento que el cemento tipo I, aunque la resistencia final no es afectada.

TIPO V: Es el cemento portland resistente a los sulfato debido, al contenido bajo de C₃A para evitar que los sulfatos reaccionen químicamente con éste y se formen los sulfoaluminatos de calcio y el yeso que son los que ocasionan la rotura del concreto las razones se describirán ampliamente más adelante (véase página 62). Recomendados para estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras marinas expuestas a la marea.

En nuestro país no se utilizan los cementos tipo III y IV, porque, aun no se tiene la tecnología necesaria para la elaboración de C₃S más finos o en peor de los casos son muy costosos su producción.

“Los cementos adicionados usan una combinación de cemento portland o clinker y yeso mezclados o molidos juntamente con puzolanas, escorias o cenizas” (PCA, 2004, p.36). La ASTM C 595 establece cinco clases principales de cementos adicionados:

| | |
|------------------|------------------------------------------|
| Tipo IS | Cemento portland alto horno |
| Tipo IP y Tipo P | Cemento portland puzolánico |
| Tipo I (PM) | Cemento portland modificado con puzolana |
| Tipo S | Cemento de escoria o siderúrgico |
| Tipo I (SM) | Cemento portland modificado con escoria |

2.1.1.2. AGUA

El agua es el segundo componente fundamental del concreto donde su calidad debe ser sumamente importante para no producir alteraciones en la hidratación del cemento, evitar manchas en la superficie, retrasos en el fraguado y en su endurecimiento, ni permitir reducciones en su resistencia o afectar su durabilidad, por estas razones se debe evaluar si es convenientes su uso para el mezclado y curado del concreto, cumpliendo con los requisitos de la norma NTP 339.088 y de preferencia potable.

Tabla 2.4: Requisitos para el agua de mezcla.

| Sustancias disueltas | Valor máximo admisible (partes por millón) |
|-----------------------|--------------------------------------------|
| Cloruros | 300 |
| Sulfatos | 300 |
| Sales de Magnesio | 150 |
| Sales Solubles | 150 |
| PH | Mayor a 7 |
| Sólidos en suspensión | 1500 |
| Materia Orgánica | 10 |

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 339.088.

La NTP 339.088 distingue cuatro tipos de agua utilizable para el concreto:

- ❖ Agua combinada, la cual es el resultado de la mezcla de dos o más fuentes combinadas a la vez, antes o durante su introducción en la mezcla.
- ❖ Agua no potable, la cual proviene de fuentes de agua que no son aptos para el consumo humano, o si ésta contiene cantidades de sustancias que la decoloran o hacen que huelga o tenga un sabor objetante.
- ❖ Aguas de las operaciones de producción del concreto, que ha sido recuperada de procesos de producción de concreto de cemento Portland; agua de lluvia colectada en un recipiente en una planta de producción de concreto; o agua que contiene cantidades de los ingredientes del concreto.
- ❖ Agua potable, que es apta para el consumo humano.

2.1.1.3. AGREGADOS

Los agregados, también son llamados áridos, son materiales de forma granular de origen natural o artificial y es de suma importancia ya que constituyen aproximadamente tres cuartas partes entre el 59% y el 76% del volumen del concreto.

En un principio, al agregado se le consideró un material inerte, no costoso, disperso en la pasta de cemento para producir un gran volumen de concreto. En realidad, el agregado no es inerte, pues sus propiedades físicas, térmicas y, en ocasiones, químicas, pueden influir en el desempeño del concreto, por ejemplo, mejorando su durabilidad (Neville & Brooks, 1998, p.38). Por su tamaño, los agregados se clasifican en:

1. Agregados Finos

| | |
|---|----------------|
| { | - Arena fina |
| } | - Arena gruesa |

2. Agregados Gruesos

| | |
|---|----------|
| { | - Grava |
| } | - Piedra |

3. Agregado conocido como Hormigón: corresponde a mezcla natural de grava y arena, este agregado se utiliza para preparar un concreto de baja calidad como el empleado en cimentaciones corridas, falsos pisos, falsas zapatas, calzaduras, etc. Su empleo debe ser con autorización del proyectista y deberán cumplir con el acápite 3.2.12 de la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Los agregados deberán cumplir con los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP 400.037 especificaciones normalizadas para agregados en concreto, que se complementaran con los de las especificaciones de obra.

A. AGREGADO FINO

Se denomina agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 3/8" (9.52mm) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 o, alternativamente con la norma ASTM C33.

Sin embargo el Manual de Ensayo de Materiales (EM 2016) del MTC E 204-2016, El cual está basado según a las normas ASTM C136, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Este Manual indica que para mezclas de agregados grueso y fino: la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz 4.75mm (N°4). Por lo tanto, para la presente investigación, se manejará al tamiz N°4 ya que es la línea divisoria entre el agregados grueso y fino.

El agregado fino debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

A.1. GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico es el proceso de dividir una muestra de agregado en partes de igual tamaño de partículas. Su propósito es determinar la distribución por tamaño del agregado.

Los factores principales que rigen la granulometría de los agregados son tres: Primero el área de la superficie del agregado, que determina la cantidad de agua y pasta de cemento necesaria para cubrir todas las partículas, así que a menor área de superficie del agregado se requerirá menos pasta y, por tanto menos agua; segundo el volumen relativo ocupado por el agregado, es un requerimiento de tipo económico es que el

agregado ocupe un volumen relativo tan grande como sea posible, puesto que es más barato que la pasta de cemento; y tercero la trabajabilidad de la mezcla y su tendencia del concreto a segregarse, que determina si los volúmenes llegan a tener una buena compacidad entre ellas, conociendo que el agregado grueso aporta con su resistencia y su volumen, y el agregado fino actúa como lubricante para la suspensión de los agregados gruesos en la mezcla, aportando en mejorar la consistencia y la trabajabilidad de la mezcla.

Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- ❖ La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores que pasa la malla N°4 (4.75 mm) y retenidos en las mallas N°200 (0.075 mm) tal como especifica la ASTM C33 y NTP 400.037.
- ❖ El agregado no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos cualquiera.
- ❖ En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites.

Tabla 2.5: Requisitos granulométricos para el agregado fino.

| Tamiz estándar | Límites |
|------------------|----------|
| 9.5mm (3/8 pulg) | 100 |
| 4.75mm (N°4) | 95 a 100 |
| 2.36mm (N°8) | 80 a 100 |
| 1.18mm (N°16) | 50 a 85 |
| 600µm (N°30) | 25 a 60 |
| 300µm (N°50) | 05 a 30 |
| 150µm (N°100) | 0 a 10 |

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.

Con los datos de la tabla 2.5, dibujamos la curva envolvente, lo cual se muestra en la siguiente figura:

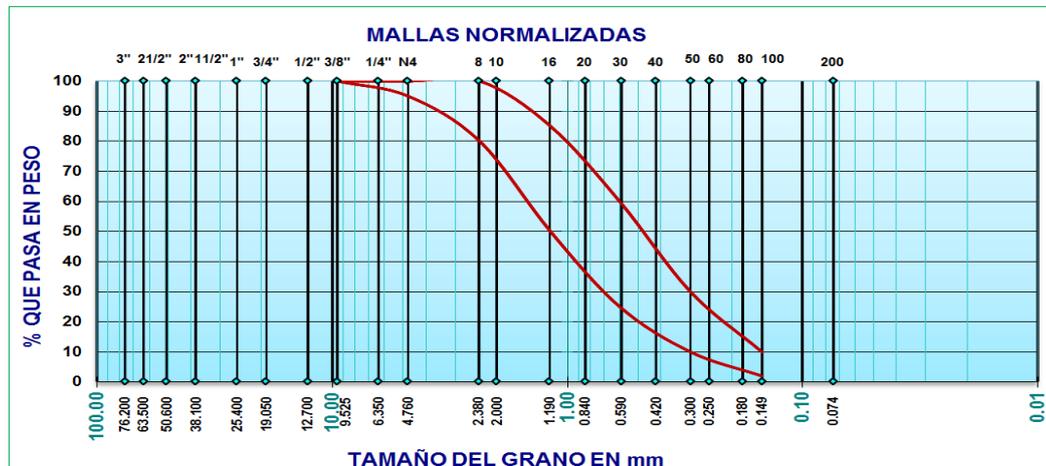


Figura 2.5: Curvas envolventes para el agregado fino, según norma NTP 400.037

Fuente: Elaboración propia

B. AGREGADO GRUESO

Se denomina agregado grueso retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o, alternativamente con la norma ASTM C33.

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

B.1. GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico es el proceso de dividir una muestra de agregado en partes de igual tamaño de partículas. Su propósito es determinar la distribución por tamaño del agregado.

Ya se mencionó ampliamente que a mayor tamaño de las partículas de agregado será menor el área de superficie que se va a humedecer por unidad de masa. Sin

embargo hay un límite al tamaño máximo del agregado, por encima del cual la disminución en la demanda de agua es contrarrestada por los efectos nocivos de una menor área de adherencia y la discontinuidad que introducen las partículas muy grandes. Por lo mismo, el concreto se vuelve exageradamente heterogéneo con la siguiente disminución de la resistencia (Neville y Brooks, 1998, p.57).

Entonces concluimos que la granulometría es de vital importancia, porque, origina un óptimo contenido de agua y de pasta de cemento en la proporción del diseño de concreto.

Tamaño máximo: De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, define al Tamaño Máximo del agregado grueso como aquel que “corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

Tamaño máximo nominal: De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, define al Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso como aquel que “corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

Tabla 2.6: Límites granulométricos para el agregado grueso (NTP 400.037 y ASTM C 33)

| Nº ASTM | TAMAÑO NOMINAL | MÁXIMO | PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------------------------|--------|--------------------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-------|-------|
| | | | 100mm (4 Pulg) | 90mm (3 ½ Pulg) | 75mm (3 Pulg) | 63mm (2 ½ Pulg) | 50mm (2 Pulg) | 37,5mm (1 ½ Pulg) | 25mm (1 Pulg) | 19mm (¾ Pulg) | 12,5mm (½ Pulg) | 9,5mm (3/8 Pulg) | 4,75mm (Nº 4) | 2,36mm (Nº 8) | 1,18mm (Nº 16) | 4.75µm (Nº 50) | | |
| 1 | 90mm a 37.5mm (3½ Pulg a 1½ Pulg) | | 100 | 90 a 100 | 0 | 25 a 60 | 0 | 0 a 15 | 0 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 63mm a 37.5mm (2½ Pulg a 1½ Pulg) | | 0 | 0 | 100 | 9 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | 0 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 50mm a 25mm (2 Pulg a 1 Pulg) | | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 | 0 a 15 | 0 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 357 | 50mm a 4.75mm (2 Pulg a Nº4) | | 0 | 0 | 0 | 100 | 95 a 100 | 0 | 35 a 70 | 0 | 10 a 30 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 37.5mm a 19mm (1½ Pulg a ¾ Pulg) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 467 | 37.5mm a 4.75mm (1½ Pulg a Nº4) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 95 a 100 | 0 | 35 a 70 | 0 | 10 a 30 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 25mm a 12.5mm (1 Pulg a ½ Pulg) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 25mm a 9.5mm (1 Pulg a 3/8 Pulg) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 40 a 85 | 10 a 40 | 0 a 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | 25mm a 4.75mm (1 Pulg a Nº4) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 95 a 100 | 0 | 25 a 60 | 0 a 10 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 19mm a 9.5mm (¾ Pulg a 3/8 Pulg) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | 19mm a 4.75mm (¾ Pulg a Nº4) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 0 | 20 a 55 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 12.5mm a 4.75mm (½ Pulg a Nº4) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 0 a 15 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 9.5mm a 2.36mm (3/8 Pulg a Nº8) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 85 a 100 | 0 a 10 | 0 a 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 89 | 9.5mm a 1.18mm (3/8 Pulg a Nº16) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 90 a 100 | 5 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 | 0 a 5 | 0 a 5 | 0 a 5 |
| 9 | 4.75mm a 1.18mm (Nº4 a Nº16) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 85 a 100 | 10 a 40 | 0 a 10 | 0 a 5 | 0 a 5 | 0 a 5 |

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037 y ASTM C 33

2.1.1.4. ADITIVOS

Un aditivo es el componente que introducido en pequeñas cantidades en el concreto inmediatamente antes o durante el mezclado, con el objeto de modificar alguna o varias de sus propiedades ya sean temporal o permanente durante su estado fresco o endurecido. Deben cumplir con las especificaciones dadas por la norma ASTM, las recomendaciones ACI o la norma NTP 339.086.

El hormigón (concreto) debe ser trabajable, resistente, durable, impermeable y resistentes a los desgaste. Estas cualidades se pueden obtener a menudo más conveniente y económicamente por medio del cálculo apropiado de la mezcla y la selección de materiales adecuados sin recurrir a aditivos, con excepción de los agentes incorporadores de aire cuando sean necesarios. Sin embargo, puede haber casos en que se requieran ciertas propiedades especiales, tales como: tiempo de fraguado prolongado, aceleración de la resistencia a corta edad, atrasar el desarrollo del calor de hidratación. En estos casos es aconsejable considerar e investigar ciertos aditivos, ya que su uso en el hormigón (concreto) puede producir los efectos especiales deseados (Aguilar, 2007, p.17-18).

De acuerdo a la Norma ASTM C 494, los aditivos se clasifican en:

TIPO A Reductores de agua.

TIPO B Retardantes de fraguado.

TIPO C Acelerantes.

TIPO D Reductores de agua y retardantes.

TIPO E Reductores de agua y acelerantes.

TIPO F Reductores de agua de alto rango.

TIPO G Reductores de agua de alto rango y retardantes.

2.2.COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN CLIMAS FRÍOS

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.060 en la sección 5.12 define al clima frío “se considera clima frío a aquel en que, en cualquier momento del vaciado la temperatura ambiente pueda estar por debajo de 5°C.

Según la norma ACI 306, Cold Weather Concreting, en la sección 1.2 definiciones indica “un periodo donde, por más de 3 días consecutivos existen las siguientes condiciones: la temperatura promedio diaria del aire es menor a 5°C; la temperatura del aire no es mayor a 10°C durante más de la mitad de un periodo cualquiera de 24 horas”

2.2.1. EL CLIMA EN LA REGIÓN DE PUNO.

Las temperaturas en la región de puno durante todo el año son bajas para aquellos lugares que están ubicados por encima de los 3800 m.s.n.m., que según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en la figura 2.6 indica que las temperaturas más bajas se dieron en Mazocruz (-23.4°C) y la menos baja en Huaraya-Moho (-4.4°C); a este fenómeno de temperaturas extremas se le conoce como heladas, que son inferiores a 0°C.

Manarelli (1988), analiza las heladas meteorológicas, encontrando como resultado que la zona cercana al lago muestra un retraso en la aparición de las primeras heladas (5 de Mayo) en comparación a las zonas más alejadas; igualmente, un adelanto en la aparición de las ultimas heladas (27 de Octubre) y un mayor periodo libre de heladas, por la acción termo-reguladora del lago (SENAMHI, 2010). El análisis de la información climatológica indica que durante todos los años persiste el peligro de heladas.

En el caso de la ciudad de Puno el clima es semi-seco y bastante frio donde las primeras heladas se dan en el mes de Mayo, pero no son tan bajas como las ciudades que están en la misma altitud sobre el nivel del mar; esto debido a la acción termo-reguladora que ejerce el lago Titicaca.

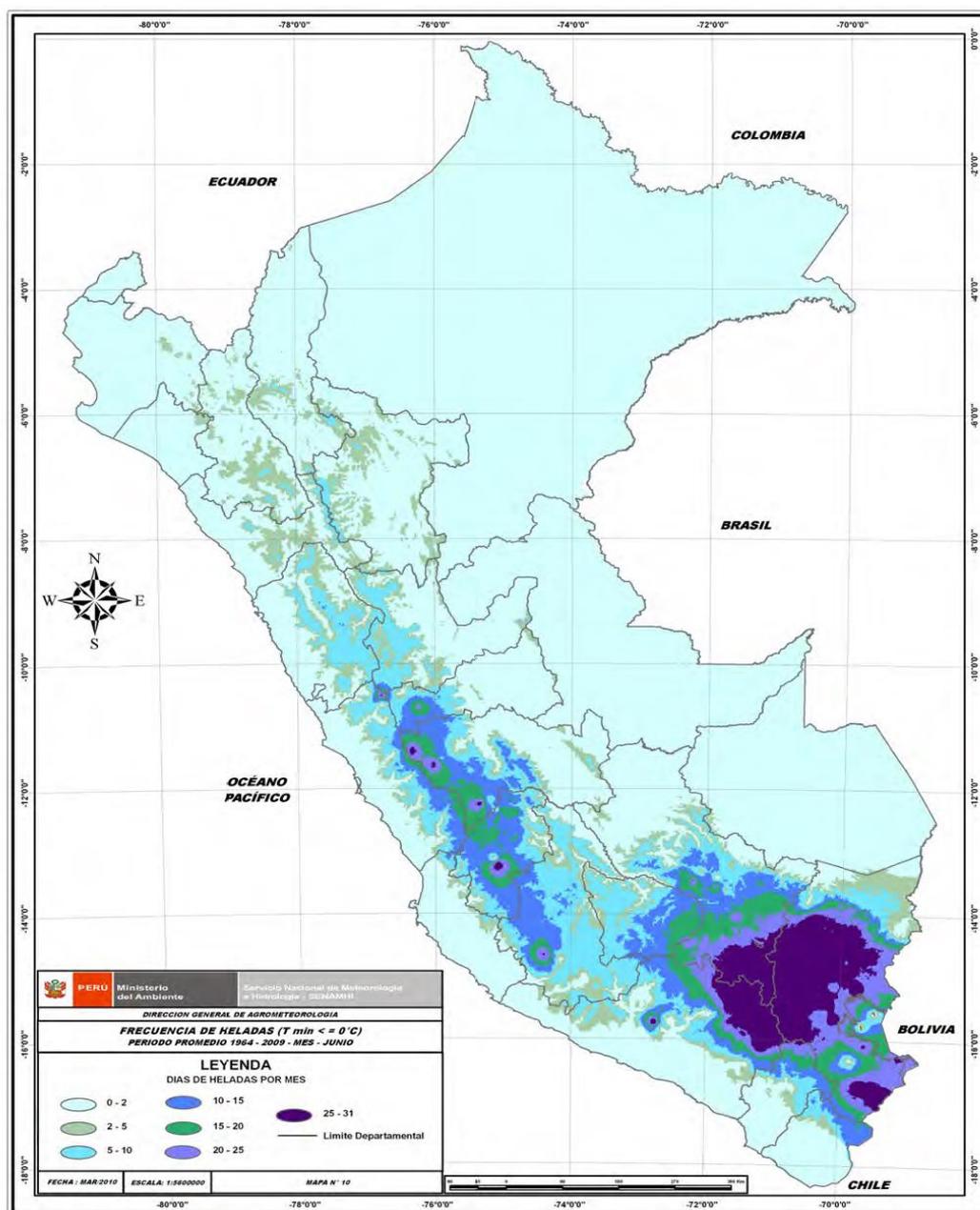


Figura 2.6: Frecuencia de heladas periodo promedio 1964-2009 mes de Junio (SENAMHI)

2.2.2. EVALUACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN EL AÑO 2016 DE LA CIUDAD DE PUNO.

Las temperaturas en todos los años y específicamente en los meses de mayo, junio y julio son las más bajas de cada año (figura 2.7) y esto no permite realizar óptimos trabajos en la construcción de obras debido a que estas temperaturas se presentan incluso bajo cero, y en referente a trabajos con concreto se debe de tener todas las precauciones del caso.

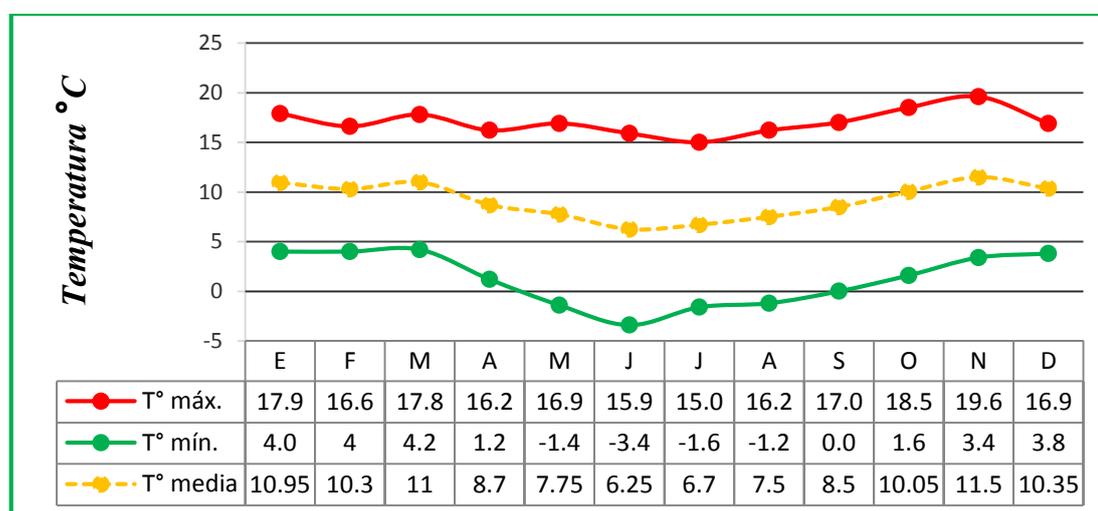


Figura 2.7: Variación de la temperatura anual en la ciudad de Puno, año 2016 (SENAMHI).

Se tiene conocimiento que para un desarrollo normal de resistencia en el tiempo, el concreto debe curarse como referencia a una temperatura de por lo menos 10°C, lo cual como ya se mencionó en nuestra zona son aun menores las temperaturas, y las más bajas se dan en el mes de junio en el año 2016, tal como se muestra en la figura 2.7, emitido en el boletín 098 regional para el mes de junio-2016 del SENAMHI (http://puno.senamhi.gob.pe/web/load/pdf/boletin_mensual/098_boletin_mensual_06_2016.pdf).

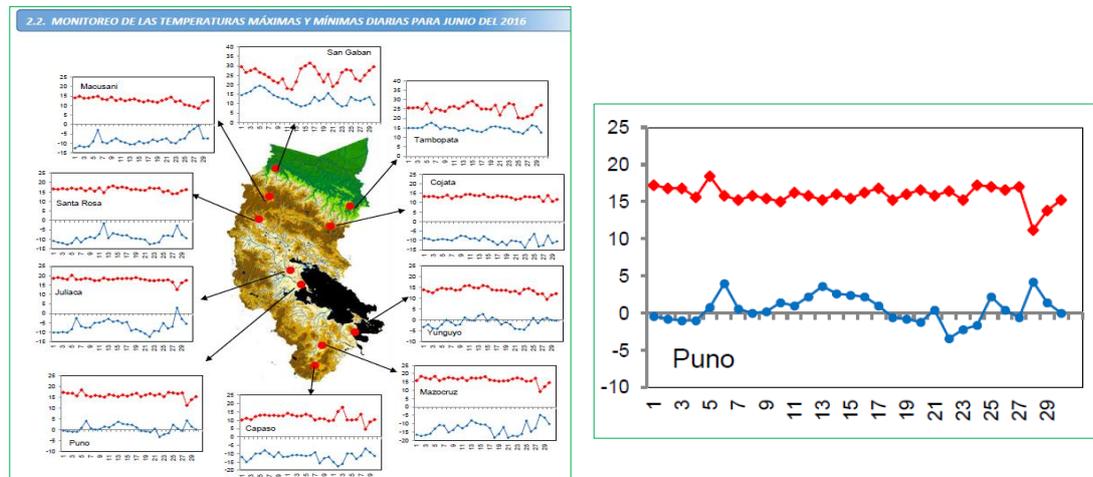


Figura 2.8: Distribución de las temperaturas máx. Y mín. mes de Junio (SENAMHI, 2016)

De la figura 2.8, se puede apreciar que la temperatura más baja registrada fue de -3.4°C y la máxima de 15.9°C . Durante el mes se observaron heladas de ligera a moderada intensidad (SENAMHI, 2016). Finalmente en los meses de febrero, marzo y abril las temperaturas máximas promedio superan en más de 0.5°C a las temperaturas máximas promedio en tiempos de helada.

2.3. NANOTECNOLOGÍA

La palabra está formado por el prefijo “nano” que es la millonésima parte de algo, según el sistema internacional multiplicar por el factor 10^{-9} (1 nanómetro = $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$), a través del control de la materia reordenando los átomos y la estructura molecular.

El padre de la nanotecnología y responsable de anunciar un nuevo nanomundo fue Richard Feynman, mediante la conferencia que dio en el año 1959 “There’s Plenty of Room at the Bottom” o mal traducida al español, “En el fondo hay espacio de sobra”. En esta exposición el ganador al novel de física en 1965, nos abre la mente a un nuevo mundo de posibilidades a desarrollar (Henche, 2011, p.7).

El científico japonés Norio Taniguchi fue el primero en emplear el término “nano-tecnología” en una conferencia en 1974, en donde define que la nano-tecnología consiste principalmente en el procesado, separación, consolidación y deformación de materiales átomo por átomo, molécula por molécula.

2.3.1. LA NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.

La nanotecnología además de tener grandes avances en diferentes industrias como en la industria de la química, en la industria del reciclaje, en la industria del vidrio, entre otros; también se dio este avance en la industria de la construcción.

En la actualidad existen diferentes nanopartículas o nanomateriales de TiO_2 , FeO_2 , AlO_2 y SiO_2 . La naturaleza del tipo de adición a elegir depende de las propiedades que se quieran mejorar.

2.3.2. NANOADICIONES EN EL CONCRETO.

Hablar de concretos con nanomateriales es sinónimo de hablar de concretos de alta resistencia o alto desempeño.

- **NANOSÍLICE**

Es el más conocido de los nanomateriales, a lo largo de las últimas décadas se han desarrollado innumerables investigaciones que han hecho que sea un producto que muchas empresas de materiales empiezan a comercializar, pero que en nuestro país todavía es muy escasa su comercialización.

El nanosílice es derivado del humo de sílice (a base de sílica amorfa nanométrica), que se emplea igual que la microsílice, pero con la ventaja que no produce contaminación al medio ambiente y la agresión a la salud por inhalación de ésta. En teoría, la nanosílice presenta un carácter puzolánico que contribuye a la densificación en la matriz, llevando a la reducción de la porosidad y el consecuente aumento de la resistencia mecánica y de la durabilidad.

Las ventajas fundamentales de este tipo de nanomaterial son:

- ❖ El nanosílice es capaz de reaccionar con la portlandita producida durante la hidratación del cemento anhidro y formar compuestos C-H-S muchos más resistentes.
- ❖ Aumenta la densidad de la microestructura mejorando las características mecánicas. Además debido a la reducción de los tamaños de los poros, es más resistente frente a los ataques químicos y agentes externos, en conclusión, es un material más duradero y resistente gracias a su microestructura más cerrada.
- ❖ Mejora la microestructura en la zona interfacial de transición entre pasta-agregado al reaccionar con los cristales hexagonales y producir compuestos CHS.
- ❖ Un aspecto muy importante a la hora de aplicarlo en el mundo civil es que este compuesto mejora la bombeabilidad, aspecto importante para la parte mecánica del proceso, ya que disminuye la presión, punto que favorece al constructor y a los dueños de equipos, que realizan inversiones importantes en maquinaria.

- NANOHIERRO

Son nanopartículas de hierro con denominación química Fe_2O_3 . Las ventajas fundamentales de este tipo de nanomaterial son:

- ❖ Poseen propiedades ferro magnéticas, que colocadas estratégicamente en una microestructura, pueden mejorar las resistencias mecánicas y durabilidad de los materiales cementicios.
- ❖ El único efecto que posee el nano hierro, al añadirse a una pasta de cemento, es física, porque tiene la capacidad de rellenar los poros que dejan los cristales hidratados en la pasta de cemento y actúan además como núcleos activadores, donde posteriormente se formen cristales hidratados alrededor del mismo.

- NANOALUMINA

Son nanopartículas de alumina con denominación química Al_2O_3 . Las ventajas fundamentales de este tipo de nanomaterial son:

- ❖ Son de carácter puzolánico. Es capaz de reaccionar con la portlandita producida durante la hidratación del cemento anhidro y formar compuestos C-S-H muchos más resistentes.
- ❖ Mejora la microestructura en la zona interfacial de transición entre pasta-agregado al reaccionar con los cristales hexagonales y producir compuestos CSH.
- ❖ Contribuye a las reacciones puzolánicas: la nanoalumina favorece las reacciones puzolánicas y las acelera. El efecto principal es absorber la portlandita $CH=Ca(OH)_2$ y transformarlo en aluminosilicatos de calcio hidratados.

2.4.NANOSÍLICE.

2.4.1. DEFINICIÓN.

La nanosílice está constituida por partículas de tamaño manométrico (decenas de nanómetro) compuestas mayoritariamente por SiO_2 .

Debido a su tamaño manométrico, se comercializa en forma líquida mezclada con otros compuestos, para facilitar, su transporte y trabajabilidad. En la figura 2.9 se muestra una micrografía obtenida por microscopia electrónica de transmisión (TEM) de nanosílice a 80 nm.

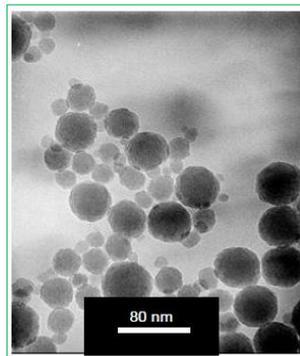


Figura 2.9: Micrografía de partículas de nanosílice en Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) (tobón, 2011, p.106)

Cuando la sílice se mezcla con iones de calcio, sodio o potasio, como los productos provenientes de la reacción de hidratación del cemento, produce partículas de C-S-H (gel) que mantiene cohesionado a todas las partículas a escala de nanoporos.

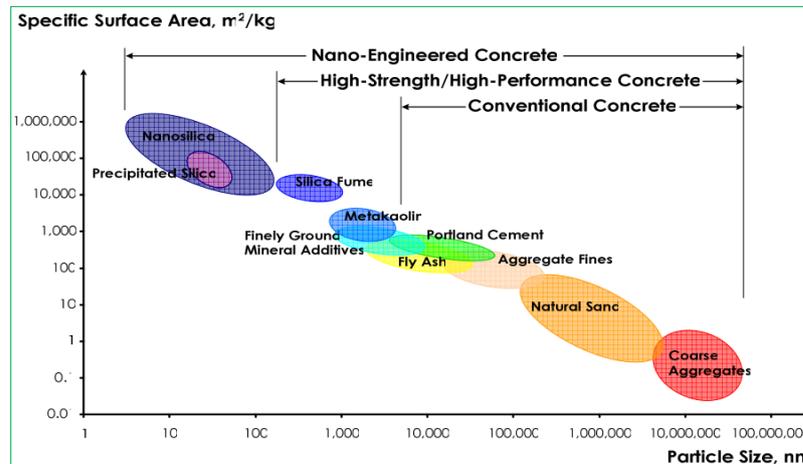


Figura 2.10: Escalas de los diferentes componentes del concreto (Sobolev y Ferrada, 2005, p.140)

2.4.2. PRODUCCIÓN DE NANOSÍLICE.

Existen varios métodos para obtener el nanosílice, el método por el sol-gel es una ruta química y es una de los más ampliamente utilizados para la producción de los materiales a escala manométrica, como el nanosílice.

A continuación se presentará el método (Henche, 2011, p.29-30). El método está basado en un proceso de un sólido gelatinoso (vía orgánica o de agua) donde se controla el proceso mediante una cámara de temperatura. En este proceso los materiales principales y metales orgánicos como TMOS o TEOS tetramethoxysilane y tetraethoxysilane se añaden en forma de solvente. Una vez añadido, el PH de la solución varía produciendo una precipitación de gel de silicio.

La precipitación del silicio del TMOS:

EL TEOS tiene la notable propiedad de una fácil conversión en dióxido de silicio. Esta reacción se produce con la adición de agua:



Esta reacción de hidrólisis es un ejemplo de un proceso solido-gel el subproducto que se forma es el etanol. La reacción transcurre a través de una serie de reacciones de condensación que convierten la molécula de TEOS en un mineral similar a un sólido a través de la formación de los vínculos de Si-O-Si. Las cantidades producidas en esta conversión son sensibles a la presencia de ácidos y bases, los cuales sirven como catalizadores.

A elevadas temperaturas, superiores a los 600°C, el TEOS también se convierte en dióxido de silicio.



2.4.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL NANOSÍLICE.

Sus características varían notablemente en función del método empleado para su fabricación, en la siguiente tabla se muestran rangos de sus características.

Tabla 2.7: Característica del nanosíllice.

| | Diámetro (nm) | Superficie específica (m ² /g) | Densidad (g/ml) | Viscosidad (seg) | pH | Apariencia |
|-------------|---------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------|-----|----------------|
| nanosíllice | 3-150 | 20-1000 | 1.096 | 95 | 7.2 | Líquido blanco |

Fuente: Ver anexo D-2.

2.4.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NANOSÍLICE.

Se pueden encontrar una gran variedad de nanosíllice comercializada, en cada una de ellas se encuentra pequeñas variaciones en su composición química. Pero en todos los productos el componente mayoritario es el silicio SiO₂ >99%.

2.4.5. COMPORTAMIENTO EN LA MICROESTRUCTURA DEL CONCRETO CON NANOSÍLICE.

La microestructura generada por la adición de NS puede desarrollarse de dos formas dependiendo de la manera en la que se encuentre disperso el NS en la masa. Si el NS está bien disperso se genera una microestructura densa incluso si se adiciona en pequeñas cantidades, pero si las nanopartículas no se encuentran bien dispersas se pueden generar vacíos y zonas débiles (Li et al, 2004).

La adición de nanosílice provoca cambios importantes en la microestructura final del concreto. Las reacciones internas que se producen con la adición de nanosílice provocan una microestructura más densa, compacta y resistente.

Finalmente, la gran diferencia que se produce en la microestructura al añadir nanosílice, es que favorecemos una “actividad puzolánica” en el material.

Se entiende como reacción puzolánica, a la capacidad de la puzolana (nanosílice) de reaccionar con el hidróxido cálcico (activador), dando lugar a una nueva formación de compuestos estables, poco solubles en el agua y que poseen unas características cementantes, capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico. La sílice por sí misma, posee un valor cementante nulo, pero si le añadimos finamente molida y en condiciones de humedad como nano partícula, es capaz de reaccionar con la portlandita, fijando el calcio, y dar silicatos de calcio hidratados (C-S-H) de estequiometría no definida (Henche, 2011, p.35).

Con el objetivo de verificar que estos cambios producidos en las propiedades físicas del hormigón eran debidos a la adición de nanoSiO₂ y por ende conducían a cambios microestructurales, Byung-Wan Jo et al. llevaron a cabo un estudio de la pasta mediante microscopios SEM (Alcaraz, 2015, p.44).

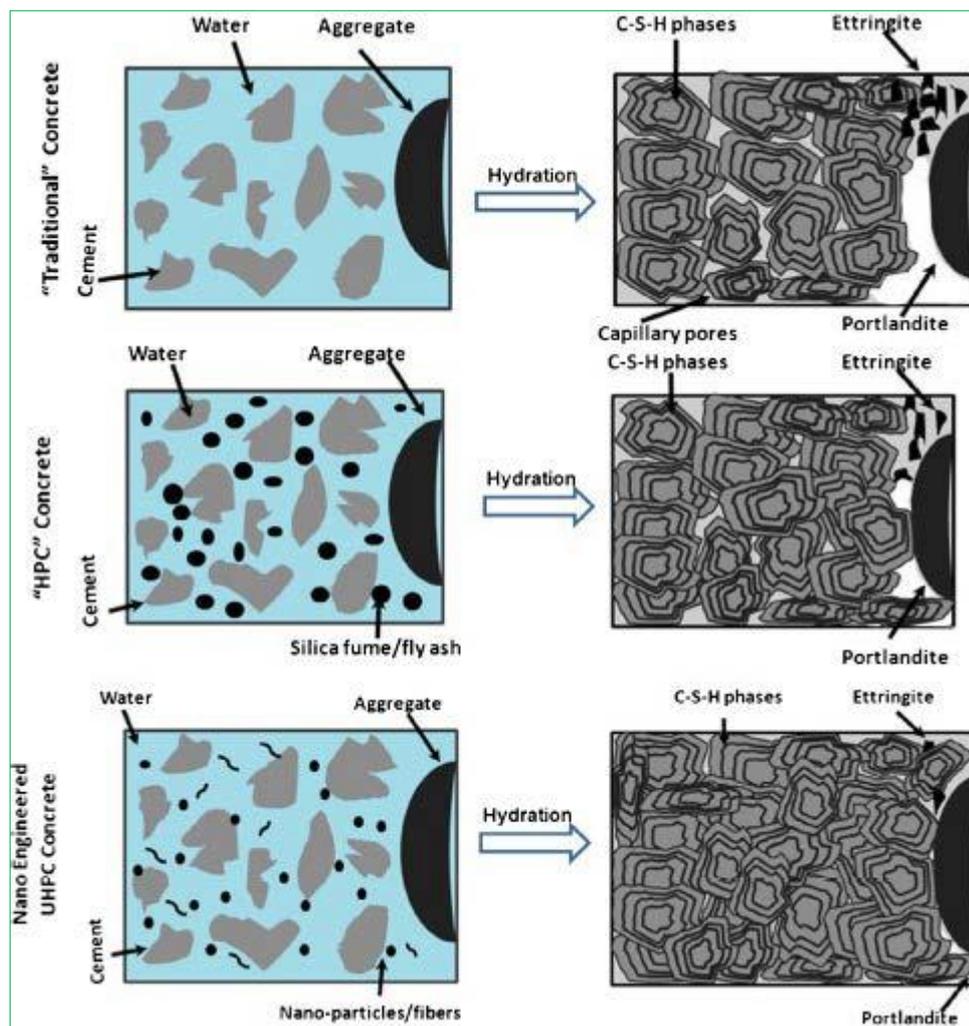


Figura 2.11: Esquema de hidratación de los diferentes tipos de concreto (Singh et al, 2011)

Encontraron que la adición de estas partículas influía en el desarrollo de la hidratación de la pasta y por tanto condicionaba el desarrollo de la microestructura de la pasta endurecida.

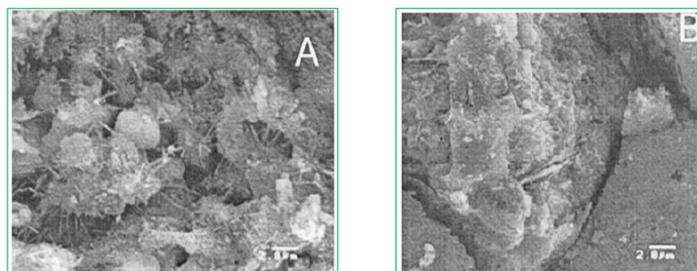


Figura 2.12: Imágenes de SEM, A. pasta de cemento portland normal, B. pasta de cemento modificada con NS (Jo et al, 2007)

En la imagen A, la pasta de cemento portland muestra un gran contenido de agujas de sulfoaluminato, mientras que la imagen B, muestra una microestructura mucho más densa y compacta con una menor formación de cristales de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

2.4.6. ESTUDIOS RELACIONADOS AL CONCRETO CON NANOSÍLICE.

La mayoría de investigadores aceptan que al incrementar el contenido de nano- SiO_2 en un cemento portland se obtiene una mejoría sustancial en el desarrollo de resistencias a la compresión, además estudios de SEM indican que las partículas de nanosílice proporcionaron el llenado de los poros (figura 2.12) y disminuyeron el contenido de hidróxido de calcio dentro de los productos de hidratación.

Li et al (2004) y Li Xiao & Ou (2004), encontraron que con la nanosílice se obtienen incrementos hasta el 20% para 7 días y del 26% para 28 días de fraguado y que la resistencia se sigue incrementando aun después de los 28 días de curado, con la adición de 10%.

Con los tamaños de las partículas que poseen estos materiales puzolánicos, se supuso que la propiedad mejoraría con la incorporación de materiales puzolánicos (Ji, 2005), pero debido a las altas demandas de agua, o en su defecto, de plastificantes en las

mezclas adicionadas con puzolanas para lograr la manejabilidad deseada, se observó que las mezclas con adición presentaron una mayor porosidad que las mezclas sin adición (López, 2011; Nazari y Riahi, 2010, 2011a), teniendo la característica que a medida que aumenta el porcentaje de material puzolánico dentro de las mezclas, la porosidad disminuye a tal punto que el comportamiento del concreto mejora (Nazari & Riahi, 2010), mostrando incluso porosidades menores en comparación con concretos sin adición (Said et al., 2012).

También se han efectuado investigaciones en hormigones autocompactantes con aditivos minerales (caliza molida, cenizas volátiles y cenizas volátiles molidas). El nanosílice (5-50 nm) con una dosis del 1 a 2% con respecto a la cantidad de cemento fue usado como agente modificador de la viscosidad. Una razón constante agua/cemento (A/C) de 0,58 fue usada en todas las mezclas, y un flujo de 780-800 mm fue mantenido ajustando la dosificación de superplastificante basados en polímeros acrílicos. Para mantener el flujo especificado la dosis de superplastificante fue aumentada 0,21% para cada porcentaje de nanosílice utilizada. La adición de nanosílice hace la mezcla de hormigón más cohesiva y reduce el “sangramiento” y la segregación (Aguilar, 2007, p.26).

Finalmente (Barrios et al, 2009) realizó investigaciones si el nanosílice tiene efectos nocivos en el acero de refuerzo del concreto concluyendo que “después de 60 días de análisis que el nanosílice no mostró daños severos de corrosión”.

2.5. CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Durante el periodo en que el concreto en su inicio se comporta como un líquido, este es denominado “concreto en estado fresco”

A continuación se describen los tipos de propiedades más importantes en este estado y su respectivo ensayo a realizar en este estudio.

2.5.1. TOMA DE MUESTRAS.

Las muestras de concreto sobre el cual se realizan las pruebas deberán ser representativas de la tanda y se tomará de acuerdo con lo indicado en la NTP 339.036.

Las muestras deberán ser empleadas dentro de los 15 minutos siguientes a ser tomadas, debiendo durante este periodo deben protegerse del sol, las lluvias, el viento para evitar la evaporación del agua de la misma.

2.5.2. TRABAJABILIDAD.

En el sentido más estricto, la trabajabilidad es la cantidad de trabajo interno útil necesaria para producir la compactación total. Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el “Slump” o asentamiento con el cono de Abrams, que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, es sólo una manera de detectar cambios en la uniformidad de las mezclas en relación a la cantidad de agua y/o granulometría.

Tabla 2.8: Clases de mezclas según su asentamiento.

| Consistencia | Slump | Trabajabilidad | Método de Compactación |
|--------------|------------|-----------------|------------------------|
| Seca | 0" a 2" | Poco trabajable | Vibración Normal |
| Plástica | 3" a 4" | Trabajable | Vibración Ligera |
| Fluida | Mayor a 5" | Muy Trabajable | Chuseado |

Fuente: (Abanto, 1994, p.49)

Para medir la trabajabilidad de las mezclas se utilizará la prueba de revenimiento, o asentamiento en el cono de Abrams, siguiendo la norma ASTM C 143 y NTP 339.035.

2.5.2.1. ENSAYO DE ASENTAMIENTO

Para realizar esta prueba se utiliza un molde en forma de cono truncado de 30 cm de altura, con un diámetro inferior en su base de 20cm, y en la parte superior un diámetro de 10 cm. Para compactar el concreto se utiliza una varilla de acero liso estándar de 5/8" (16mm) de diámetro, redondeada en el extremo y con una longitud de 60 cm, tal como se muestra en la figura 2.13.

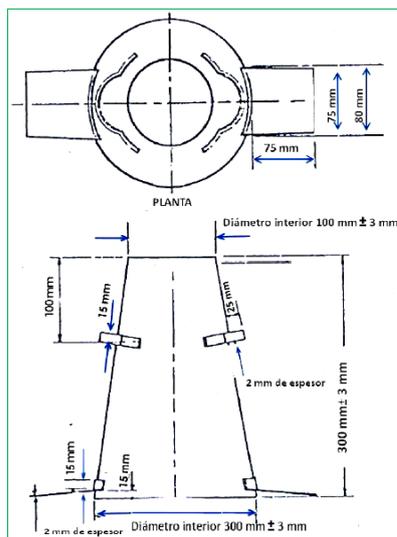


Figura 2.13: Dimensiones de equipo para prueba de asentamiento (NTP 339.035).

Técnicamente el ensayo se fundamenta en los siguientes pasos:

- ❖ **Llenado;** El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas evitando el movimiento del molde durante el llenado, seguidamente se llena el molde en tres capas con el mismo volumen y se apisona cada una de ellas con la varilla, aplicando 25 golpes distribuidos uniformemente.
 - ❖ **Apisonado;** al apisonar la capa inferior se darán los primeros golpes con la varilla ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes con la varilla hasta la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde.
- En la superficie superior se elimina enrasando lo que sobra haciendo rodar la misma varilla por encima. Inmediatamente después del llenado se levanta verticalmente el cono con suavidad sin perturbar el concreto.
- ❖ **Medición del asentamiento;** una vez levantado el molde, se mide inmediatamente la disminución de la altura del concreto moldeado respecto del molde.

Si en vez de desplomarse uniformemente en todo el alrededor, como en un verdadero desplome (figura 2.14) la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que ocurre un revenimiento cortante y la prueba debe repetirse. Si persiste el revenimiento cortante, como puede ser el caso con mezclas ásperas, será una señal de falta de cohesión de la mezcla (Neville y Brooks, 1998, p.69).

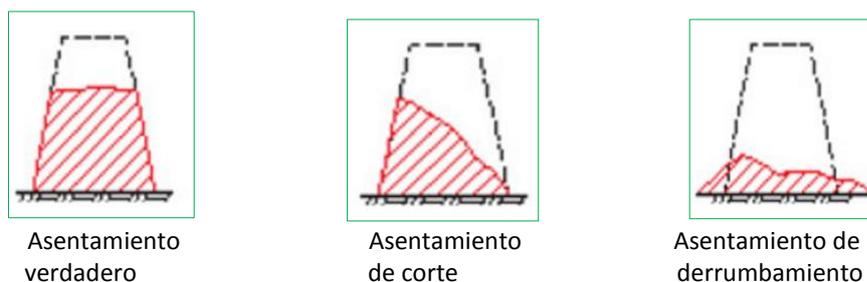


Figura 2.14: Tipos de asentamiento (Neville y Brooks)

Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos.



Figura 2.15: Prueba de consistencia

2.6. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

A continuación se exponen los ensayos de caracterización habituales para un concreto en estado endurecido.

2.6.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

La resistencia de un material es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos sin fallar.

Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura) (Abanto, 1994, p.50-51).

La resistencia a la compresión de la briqueta cilíndrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}; A = \frac{\pi\phi^2}{4} \dots \dots \dots (2.15)$$

Donde

$f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto.

P : Carga de Rotura (kg)

ϕ : Diámetro de la briqueta cilíndrica (cm)

Los moldes para realizar estas briquetas de concreto deben ser de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Los moldes normalizados se construyen de acero. Eventualmente se utilizan de material plástico duro, de hojalata y de cartón parafinado.

2.6.1.1. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Para obtener un concreto de buena calidad, después del mezclado le sigue un curado adecuado durante las primeras etapas de su endurecimiento.

En la tabla 2.9 se muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días:

Tabla 2.9: Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días

| Tiempo | 7 días | 14 días | 28 días | 90 días | 6 meses | 1 año | 2 años | 5 años |
|----------------|--------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|--------|
| $f'c(t)/f'c28$ | 0.67 | 0.86 | 1 | 1.17 | 1.23 | 1.27 | 1.31 | 1.35 |

Fuente: (Harmsen, 1995, p.22).

2.6.2. POROSIDAD.

Se define como porosidad a la cantidad de espacios vacíos que quedan inmersos en la masa del concreto como consecuencia de la evaporación del agua libre de la mezcla y de la presencia del aire naturalmente atrapado. Los poros del concreto, dependiendo de su tamaño (Rivva, 2006, p.24).

Según Sánchez (2003), el tamaño de los poros del concreto se clasifican en macroporos, poros capilares y microporos, (figura 2.16); Rivva (2006) indica que los primeros corresponden a las burbujas de aire atrapadas naturalmente (poros de compactación) y/o a las incluidas intencionalmente (poros de aire ocluido), su diámetro es mayor de 0.2 mm (200 micras); los segundos son los poros que se encuentran por fuera del gel de cemento, son de forma variable y su tamaño oscila entre 0.00002 mm (0.02 micras) y 0.2 mm (200 micras) de diámetro, y pueden o no estar interconectados y abiertos al exterior, en general cuando aumentan la cantidad de poros capilares, se reduce significativamente la resistencia a los ataques físicos, químicos o biológicos; y los últimos están constituidos por los poros de la pasta hidratada y endurecida (poros intersticiales del gel de cemento) y su diámetro es menor de 0.00002 mm (0.02 micras). Usualmente estos poros no intercambian agua con el medio ambiente.

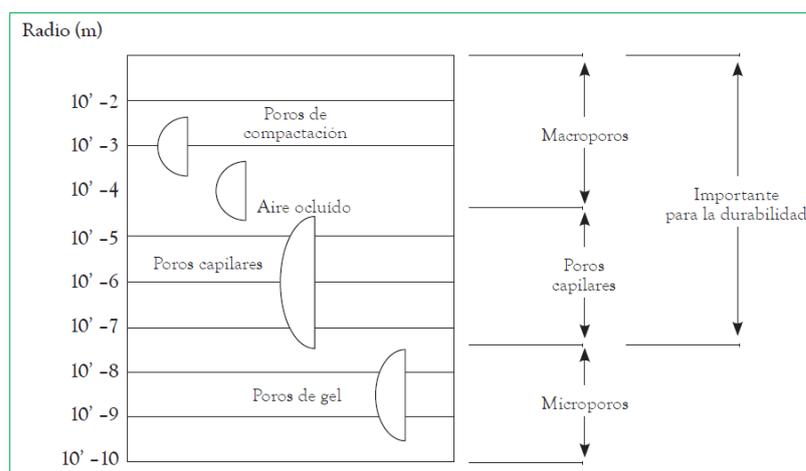


Figura 2.16: Distribución de poros en el concreto (Sánchez, 2003).

Los poros que están relacionados directamente con la durabilidad del concreto y el transporte de sustancias hacia este son los macroporos y los poros capilares. Los poros de gel, por su tamaño, son prácticamente no helables.

Los valores de porosidad abierta se hallan mediante la siguiente expresión (Páez et al, 2009, p.103):

$$PA = \frac{(P_{sss} - P_s) * 100}{(P_{sss} - P_m)} \dots \dots \dots (2.16)$$

Donde:

PA : Porosidad abierta, en porcentaje.

P_{sss} : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

P_s : Peso seco de la muestra.

P_m : Peso sumergido de la muestra.

2.7.DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad del concreto es uno de los aspectos más importante por muchos años debido a su significancia que trasciende en el nivel de servicio del concreto, además del gran impacto económico en el sector de la construcción.

El código de diseño ACI define la durabilidad del concreto de cemento portland como “la capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión, o cualquier otro proceso que produzca deterioro del concreto”.

Tradicionalmente se asoció la durabilidad a las características resistentes del concreto y particularmente a su resistencia en compresión, pero las experiencias prácticas y el avance de la investigación en este campo han demostrado que es solo uno de los aspectos involucrados, pero no el único ni el suficiente para obtener un concreto durable. El problema de la durabilidad es sumamente complejo, en la medida en que cada situación de exposición y condición de servicio ameritan una especificación particular tanto para los materiales y diseño de mezcla, como para los aditivos, la técnica de producción y el proceso constructivo, por lo que es usual que en este campo

las generalizaciones resulten nefastas. Bryant Mather, uno de los pioneros en la investigación en la tecnología del concreto y en el área de la durabilidad indica en uno de sus trabajos: “Está demostrado científicamente que las estructuras de concreto se comportan inadecuadamente debido a que las especificaciones técnicas fueron deficientes o que éstas fueron correctas pero no se siguieron en la obra”. No se debe copiar o “adaptar” especificaciones técnicas locales y foráneas para proyectos y situaciones que muestren similitudes aparentes, pero que, sin embargo, desde el punto de vista de la tecnología del Concreto y la durabilidad, se requiere una evaluación y criterios particulares.

Entre las diferentes causas de fallos en la durabilidad de las estructuras de edificación de hormigón se encuentran los defectos de la ejecución (51%), proyecto (37%), materiales (4.5%) y el uso de mantenimiento (7.5%) (Calavera, 2005)

2.7.1. FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.

Son diversos los factores que conducen la durabilidad del concreto, o como diría Páez (2009) “tales como el diseño y el cálculo de la estructura, los materiales empleados, las prácticas constructivas (mano de obra calificada) y los procesos de protección y curado que se desarrollan en las diferentes etapas o procesos de consecución del proyecto”; esta se puede determinar por agentes externos y agentes internos o propios de concreto. Los agentes externos son aquellos provenientes del medio en el cual se encuentre el elemento, que implican el ingreso de fluidos agresivos que se encuentran en su ambiente circundante, seguido de procesos físicos o químicos que atacan provocando una perturbación de su estructura y superficie, con frecuencia

aportando al desarrollo de fuerzas expansivas y de interrupción. Los agentes de tipos internos o propios del concreto provocan un daño algo similar, influido principalmente por cambios de humedad, mal diseño o fabricación de las mezclas, etc.

Claramente, la capacidad del concreto para limitar estos procesos influye en la durabilidad y el grado de deterioro de él. Los factores que afectan la durabilidad del concreto, son aquellos que producen el deterioro o degradación del mismo. Según Basheer, Chidiact y Long, (1996), la revisión de más de 400 artículos publicados en los años noventa sobre el deterioro del hormigón, indica que los mecanismos físicos y químicos de deterioro del hormigón, se pueden clasificar como se muestra en la figura 2.17. De acuerdo con esta clasificación, el 13% de los casos estudiados corresponde a problemas de durabilidad debido a ciclos de hielo-deshielo.

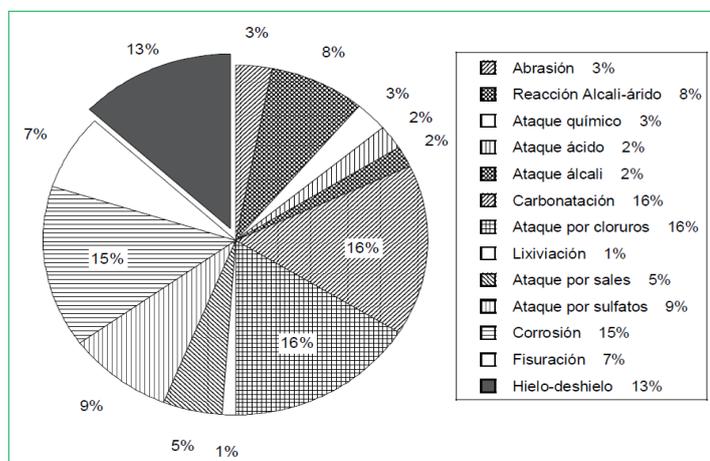


Figura 2.17: Mecanismos físicos y químicos del deterioro del concreto (Basheer et al, 1996).

A continuación se discute las principales causas que provocan el deterioro del concreto. No se consideran factores que afecten la durabilidad de las armaduras embebidas en el concreto, ya que esta investigación no comprende concretos armados, por lo que no se realizará un análisis de ellos.

2.7.1.1.CARBONATACIÓN

La carbonatación del concreto se entiende por la reacción de la pasta de cemento y el CO₂ atmosférico que penetra dentro de los poros del concreto. La reacción química que se produce durante la hidratación es la siguiente:



La carbonatación del concreto (hecho con cemento portland común tipo I) da como resultado un leve incremento en la resistencia y una permeabilidad reducida, posiblemente porque el agua que se libera por la descomposición del Ca(OH)₂ en la carbonatación colabora en el proceso de hidratación y el CaCO₃ se deposita en los huecos dentro de la pasta de cemento. Sin embargo, y mucho más importante, la carbonatación neutraliza la naturaleza alcalina de la pasta de cemento hidratada y de esta forma se deteriora la protección del acero contra la corrosión (Neville & Brooks 1998, p.187). Si la carbonatación progresa hacia la totalidad del recubrimiento del refuerzo consecuentemente si la humedad y el oxígeno pueden penetrar, se producirá la corrosión del acero y resultando finalmente el agrietamiento y rotura del concreto.

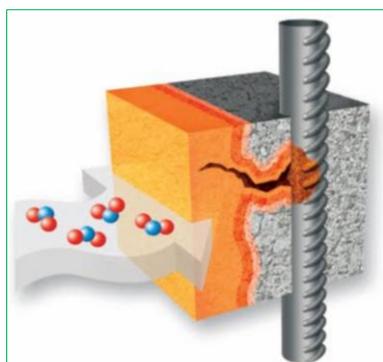


Figura 2.18: La carbonatación en el concreto armado se produce avanzando desde el exterior (<http://victoryepes.blogs.upv.es/2013/05/01/durabilidad-del-hormigon/>)

2.7.1.2.PENETRACIÓN DEL ION CLORURO

El ambiente de pH alto en el concreto (normalmente mayor que 12.5) promueve la pasivación y la formación sobre el acero una película de protección de óxido no corrosivo. Sin embargo la presencia de iones de cloruros de los anticongelantes y del agua de mar puede destruir y penetrar en la película. Cuando se alcanza el límite de corrosión por cloruros (aproximadamente 0.15% cloruro solubles en agua por peso de cemento), una célula eléctrica se forma a lo largo del acero y entre las barras de acero y el proceso electroquímico de la corrosión empieza. Algunas regiones del acero a lo largo de las barras se vuelven en ánodos, descargando corriente en la célula eléctrica y de allí el hierro entra en solución. Las áreas de acero que reciben corriente son los cátodos, donde los iones de hidróxido forman. Los iones de hierro e hidróxido forman el hidróxido de hierro FeOH , el cual más tarde se oxida, formando polvo (óxido de hierro). La formación de polvo es un proceso expansivo el polvo se expande hasta cuatro veces su volumen original-el cual introduce a la formación de tensiones internas y descascaramientos del concreto sobre el acero de refuerzo. El área de la sección transversal del acero también se puede reducir considerablemente (PCA, 2004, p.16).

Los cloruros se pueden introducir en el hormigón, ya sea con los materiales de la mezcla (aditivos, agregados, o agua), o través de la exposición a sales anticongelantes, al agua de mar, al ambiente en las zonas cercanas al mar; a ciertos suelos y aguas contaminadas de manera natural o artificial.

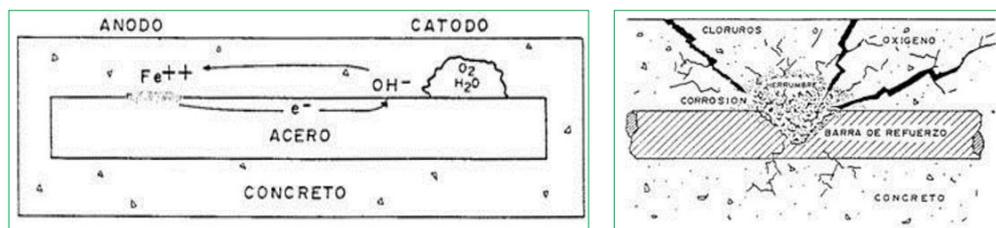


Figura 2.19: Mecanismos de corrosión en concretos expuestos a cloruros y humedad.
(<http://civilgeeks.com/2011/12/11/durabilidad-del-concreto/>)

2.7.1.3. ATAQUES DE SULFATO

La causa del deterioro puede tener varios orígenes, en primer lugar, los sulfatos reaccionan químicamente con la cal y el aluminato tricálcico C_3A hidratados de la pasta de cemento, formando sulfato de calcio $CaSO_4$ (yeso) y sulfoaluminato de calcio $C_3A \cdot 3CaSO_4$ (estringita); ambos productos ocupan un mayor volumen que los componentes, a los que reemplazan, consecuentemente tiene lugar una considerable expansión, que produce esfuerzos de tracción internos, que por lo general, no pueden ser absorbidas por el material y desencadena una serie de agrietamiento y fractura del concreto endurecido.



Otra causa de deterioro se produce cuando el concreto está en contacto con aguas alcalinas, lo cual reduce la deposición de cristales de sulfato en los poros y canales capilares como consecuencia de la evaporación. El crecimiento de los cristales tiene lugar cuando se tiene un ciclo de humectación y secado que puede eventualmente llenar los poros y desarrollar presiones suficientes para la figuración del concreto.

La presencia de sulfatos solubles más abundantes en los suelos son: sulfatos de magnesio, de calcio, de sodio y de potasio, son sales que afecta la durabilidad del concreto y se manifiesta con una exudación de apariencia blanquecina llamada eflorescencia.

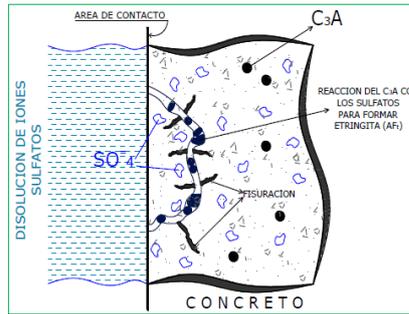


Figura 2.20: Acción de los sulfatos. (Bernal, 2009)

2.7.1.4. REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

Es una reacción química que se puede presentar entre los agregados, que contengan óxidos de sílice inestables, y el cemento, que contiene hidróxidos alcalinos, este proceso se conoce como reacción álcali-agregado, que originan expansiones dentro del concreto endurecido.

La reacción se inicia con el ataque de minerales sílices en el agregado por hidróxidos alcalinos derivados de álcalis (Na_2O y K_2O) en el cemento. El gel de silicato álcali formado, atrae el agua por absorción o por osmosis y, de esa forma, tiende a incrementar el volumen. Como el gel está limitado por la pasta de cemento circundante, resulta presiones internas que en ocasiones conducen a la expansión, agrietamiento y fractura de la pasta de cemento (astillamiento y estallido) (Neville y Brooks, 1998, p.209).

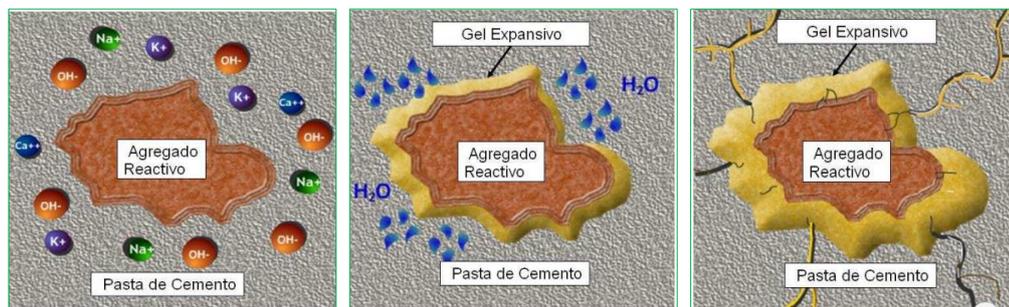


Figura 2.21: Fase de desarrollo de la reacción Alkali-agregado. (Pasquel, 2009)

2.7.2. ATAQUES POR CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

El concreto utilizado en losas de pavimentos, revestimiento de canales, superestructuras de puentes e infraestructuras en las zonas altoandinas de nuestro país; se espera que tenga una larga vida útil y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El proceso de deterioro en el concreto debido a ciclos de congelamiento y deshielo es un proceso complejo que se debe fundamentalmente al aumento de volumen de agua de los poros al congelarse por el descenso de la temperatura. El agua al congelarse y al no tener espacio suficiente para su nuevo estado, genera tensiones internas que se van acumulando por la repetición de los ciclos de congelamiento y deshielo y que provocan el deterioro del concreto.

Cuando la congelación ocurre en concretos que contenga agregados saturados, se pueden generar presiones perjudiciales dentro del agregado. El agua desplazada desde las partículas del agregado durante la formación del hielo no puede escapar lo suficientemente rápido hacia la pasta circundante para aliviar la presión. Sin embargo, bajo casi todas las condiciones de exposición, una pasta de buena calidad, es decir con una baja relación agua/cemento evitará que la mayor parte de las partículas del agregado se saturen.

2.7.3. MECANISMOS DE DAÑO POR CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN EL CONCRETO

Los fenómenos de degradación del concreto por acción de congelamiento y deshielo se vienen estudiando desde mediados del siglo XX, si bien es cierto que no existe hasta la fecha una teoría única representativa del mecanismo de deterioro, debido

a que los mecanismos de daño son complejos y para explicarlo se considerará separadamente, la pasta cementicia, y los agregados a la acción de congelamiento y deshielo.

❖ Teoría de la presión hidráulica en la pasta cementicia

A finales de los 40, se desarrolló la teoría de la presión hidráulica para explicar el fenómeno. (Powers, 1945) explica que los daños que las heladas provocan en el concreto a las tensiones generadas por la presión hidráulica en los poros. Propuso la teoría que el aumento de volumen del agua del 9% durante la congelación en el concreto saturado hace que el agua emigre a una región menos saturada y además que la presión se debía a la resistencia viscosa al agua, a consecuencia de la baja porosidad del concreto. Si esta presión supera la resistencia del concreto en un punto, la acción de congelamiento produce las fisuras. Sin embargo, si el agua fuera capaz de emigrar a un hueco de aire, el congelamiento se formaría en aquel hueco, y la presión hidráulica desaparecería como se muestra en la figura 2.22.

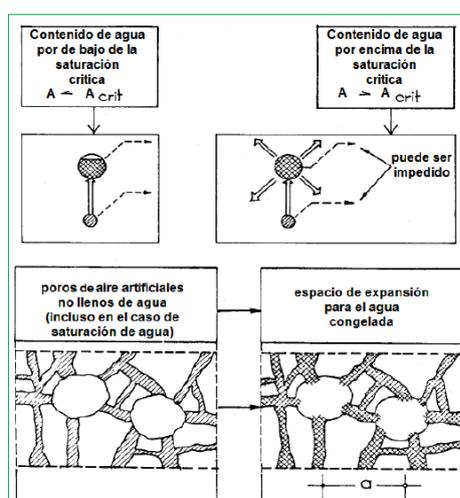


Figura 2.22: Principio de la presión hidráulica (Rostam, 1989)

❖ Teoría de la presión osmótica en la pasta cementicia

Powers y Helmuth señalaron que en los poros, el agua está presente en forma de una solución alcalina débil. Cuando la temperatura del hormigón cae por debajo del punto de congelamiento hay un período inicial de superenfriamiento, luego del cual se forman cristales de hielo en los capilares de mayor tamaño. Esto provoca un aumento del contenido de álcalis en la porción no congelada de la solución dentro de estos capilares, creando un potencial osmótico que impulsa al agua presente en los poros cercanos a comenzar a difundirse hacia la solución que se encuentra en las cavidades congeladas (figura 2.23). La dilución resultante de la solución en contacto con el hielo permite un mayor crecimiento del cuerpo de hielo (acreción). Cuando la cavidad se llena de hielo y solución, cualquier acreción de hielo adicional produce una presión de dilatación, la cual puede provocar la falla de la pasta. Al ser extraída el agua de los capilares no congelados, la pasta tiende a encogerse. (ACI 201.2R, 2001).

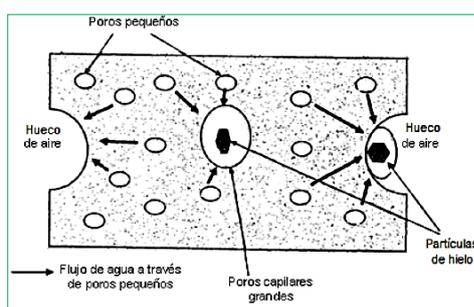


Figura 2.23: Principio de la presión osmótica (Pigeon, 1995)

❖ Teoría en los agregados

Duna y Hudec (1965), avanzaron la teoría del agua ordenada, según la cual la principal causa del deterioro de las rocas no es el congelamiento sino la expansión del agua adsorbida (la cual no se puede congelar); algunos casos específicos en los cuales se produjeron fallas aún sin congelamiento de los agregados calcáreos arcillosos parecían apoyar esta teoría.

Helmuth (1961), sin embargo encontró contradicciones en la teoría del agua ordenada, quien halló que durante el enfriamiento el agua adsorbida no se expande sino que en realidad se contrae.

Verbeck y Landgreen en 1960 (ACI Committee 201, 2000), demostraron que, cuando no están confinadas mediante pasta cementicia, la capacidad de las rocas naturales para soportar ciclos de congelamiento y deshielo sin sufrir daños aumenta a medida que disminuye su tamaño, y que hay un tamaño crítico por debajo del cual las rocas se pueden congelar sin que sufran daños.

En fin los daños en el concreto debido a ciclos de congelamiento y deshielo causado por los agregados se presentan como roturas puntuales alrededor de la partícula (Figura 2.24)

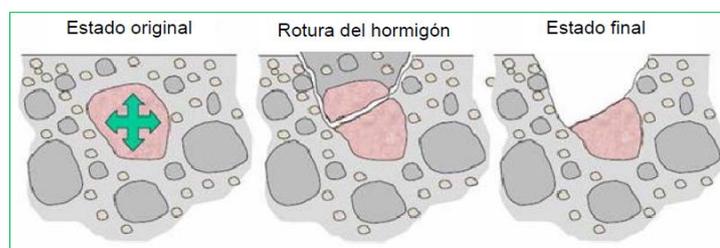


Figura 2.24: Rotura del concreto debido al congelamiento del agregado (Becker, 2010)

2.7.4. FACTORES PRINCIPALES QUE AFECTAN AL DAÑO POR CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Los principales factores que afectan al daño por congelamiento y deshielo en el concreto son:

❖ Grado de saturación.

El daño en el concreto solo se produce a partir de un grado de saturación crítico, el CEB 1996 establece un umbral del 85% de humedad para que comience a producirse el ataque de congelamiento y deshielo. Como los procesos de difusión generados durante la congelación al agua son, hasta cierto punto irreversibles, la saturación de los poros de mayor diámetro se incrementa cuando aumenta el número de ciclos de congelamiento y deshielo. Ello significa que en determinadas circunstancias el deterioro debido al hielo se presenta sólo después de una serie de ciclos de congelamiento y deshielo.

❖ Relación agua/cemento

La relación a/c influye en la porosidad de la pasta y por lo tanto en toda las propiedades de durabilidad del hormigón (concreto) (Pigeon, 1995). Conviene emplear la mínima relación a/c posible, ya que cuanto mayor sea esta mayor es el volumen de grado de poros presente en la pasta de cemento hidratada, que es donde reside el agua más fácilmente congelable y también es mayor la permeabilidad. El hormigón (concreto) preparado con relación $a/c \leq 0.3$ no requiere airante para resistir al descascarillamiento por sal (Al-Assadi, 2009, p.37).

❖ Contenido de aire del concreto

El hormigón (concreto), además de sus componentes sólidos, contiene un porcentaje de huecos provenientes del aire atrapado en su masa y del agua amasado que se evapora. Cuando existen bajas temperaturas que conducen a procesos de hielo-deshielo, las burbujas de aire contenidas en la masa actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Estas burbujas permiten reducir las tensiones internas que se originan por el congelamiento o impiden el deterioro progresivo y pérdida de la impermeabilidad, que se produciría en un hormigón (concreto) sin aire incorporado (Romero, 2011).

❖ Influencia de los agregados

Al revisar la literatura técnica, son muchas las investigaciones que buscan el efecto que pueda causar los agregados en la durabilidad del concreto frente a los ciclos de congelamiento y deshielo. Donde se realizaron diferentes tipos de agregados, sin embargo, no se detalla completamente sus propiedades cuando se comparan resultados. Pero los agregados que no son resistentes al congelamiento en general, tal como indica el ACI 201, absorben el agua que se expande durante la congelación y destruye la pasta de cemento. Los sistemas típicos de tales procesos (Figura 2.24) son los desprendimientos puntuales alrededor de las partículas.

❖ Resistencia a la compresión del concreto

Aunque no es un factor decisivo, la resistencia del concreto a los ciclos de congelamiento y deshielo si depende en gran medida de la resistencia a compresión y a tracción que tenga el material en el momento en el cual se produce el primer ciclo, siendo deseable que el concreto posea una resistencia a compresión de al menos 7.5 MPa antes de ser expuesto a la primera congelación prolongada con saturación crítica (Neville y Brook, 1998, p.220)

2.7.5. NORMATIVA DE LOS ENSAYOS DE CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

Existen diversas normas y métodos de ensayos desarrollados con el fin de evaluar la resistencia del concreto frente a los ciclos de congelamiento y deshielo. Estos métodos presentan distintas características, tanto en el método de ensayo como en la evaluación del daño. Los tipos de daño son el interno y externo.

Cabe recalcar que, los métodos de ensayo no intentan proporcionar una medida cuantitativa de la duración en servicio que puede esperarse para un determinado hormigón (concreto). Simplemente se utilizan para determinar los efectos de las variaciones de la composición y características del hormigón en la congelación y el deshielo. También se utilizan para verificar el comportamiento de áridos (agregados) de durabilidad cuestionable frente a la congelación y deshielo (Navareño, 2015, p.51).

A. NORMA ASTM C 666

“Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing”.

Es un método para probar la resistencia del concreto enfrente a ciclos rápidos de hielo-deshielo comprendidos entre 4°C y -18°C que se completara entre 2 y 5 horas según dos métodos que se identifican como A y B. En el primer procedimiento la congelación de la muestra es sumergida en el agua mientras que en el segundo la congelación de la muestra está en el aire, pero, el descongelamiento en ambos casos se realiza en agua. El procedimiento A limita como máximo el tiempo para la descongelación en el 25% del tiempo total, en el procedimiento B se limita en 20%. la muestra se ensaya hasta llegar a los 300 ciclos de hielo-deshielo o hasta que el módulo de elasticidad se reduce al 60% de su valor original. Se obtiene así un “factor de durabilidad” y se expresa como:

$$DF = \frac{P * N}{300} \dots \dots \dots (2.19)$$

Donde:

P = Porcentaje del módulo dinámico inicial después de N ciclos.

N = Número de ciclos

Este factor sirve para comparar concretos en los que cambia solo una variable, por ejemplo el árido. Sin embargo, de modo de orientativo se puede considerar que:

$P < 40$, el concreto probablemente no sea satisfactorio para la resistencia a la helada

$40 < P < 60$, el comportamiento del concreto es dudoso

$P > 60$, el concreto probablemente se comportara de modo satisfactorio.

B. NORMA ASTM C 672

“Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals”

El objetivo principal de este método es determinar la Resistencia de la superficie del concreto sometido a ciclos de hielo deshielo en presencia de productos químicos para la descongelación. La evaluación cualitativa de la resistencia se realiza mediante el examen visual. Este método puede usarse para evaluar el efecto de la dosificación, el tratamiento de la superficie, el curado y otras variables de la resistencia.

Las probetas se congelan entre 16 y 18 horas, luego se almacenan en el laboratorio al aire con temperatura aproximadamente $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del 45 a 55% durante 6 a 8 horas, para su descongelación. Si es necesario se añade agua después de cada ciclo para mantener la profundidad apropiada de la solución. Se repite este ciclo diariamente y se limpian la superficie de las probetas al final de cada 5 ciclos con una brocha. Se cambia la solución después de realizar un examen visual.

C. NORMA PERUANA

En nuestro país no existe una norma de ensayo para determinar la resistencia de concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo, sin embargo en el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.060 indica una serie de requisitos para satisfacer la durabilidad del concreto a ciclos de congelamiento y deshielo.

Tabla 2.10: Contenido de aire.

| Tamaño máximo nominal del agregado (mm) | Contenido de aire (%) | |
|-----------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Exposición severa | Exposición moderada |
| 9.5 | 7.5 | 6.0 |
| 12.5 | 7.0 | 5.5 |
| 19.0 | 6.0 | 5.0 |
| 25.0 | 6.0 | 4-5 |
| 37.5 | 5.5 | 4.5 |
| 50.0 | 5.0 | 4.0 |
| 75.00 | 4.5 | 3.5 |

Fuente: RNE E 060.

Tabla 2.11: Relación de agua-cemento según exposición.

| Condición de exposición | Relación máx. a/c | F'c min. (Mpa) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad | 0.50 | 28 |
| Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes | 0.45 | 31 |
| Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, aguas alobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen | 0.40 | 35 |

Fuente: RNE E 0.60.

D. OTRAS NORMAS

Existen otras normas internacionales donde las más importantes tenemos. La Norma Española (UNE12390, 2008), la Norma Sueca (SS13 7244,2008) y la Norma Checa (prENV12390, 2003) se basan en el ensayo de resistencia del concreto frente al hielo-deshielo. Las normas chinas y japonesas (GBJ82-85, 1986) son similares a la ASTM C 666.

2.7.6. RESUMEN DE NORMAS

En la tabla se expone un resumen de todas las normas vistas en este capítulo.

Tabla 2.12: Cuadro de resumen

| MÉTODO DE ENSAYO | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | ASTM C 666 | UNE-CEN12390-9 | ASTM C 672 |
| Tipo y tamaño de probeta | -Testigos -Prisma o cilindros | -Cubos 150mm (cortadas 150x50mm) | -Las muestras tendrán una superficie de 0.045m ² |
| Curado de probetas | 24+2h | 24 h (en plástico) | 20 a 24 curado húmedo |
| Descripción del ciclo hielo-deshielo | -t. superior a 4°C -t. inferior -18°C | -t. superior 24°C -t. inferior -18°C | -Se almacena al aire (23°C+ 2°C) de 6 a 8h. |
| Ensayo de evaluación | -Módulo dinámico -Cambio de longitud | Descascaramiento | Examen visual de la superficie |

Fuente: Elaboración propia.

2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

2.8.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Definiremos cuales son las herramientas estadísticas clásicas utilizadas en el control de calidad de materiales elaborados de manera masiva.

Se presentan algunas definiciones de términos básicas, que son las siguientes:

Sujeto, es el objeto de investigación; el cual puede ser animado o inanimado. Personas, objetos, medidas, etc., son ejemplos de sujetos.

Población, conjunto de sujetos que poseen una característica común observable. El investigador debe definir la población en estudio; la cual puede ser tan pequeña como se quiera.

Muestra, es un conjunto de sujetos tomados de una población. Ya que la muestra es parte de una población, se debe tener cuidado que sea representativo de la población, es decir que las características esenciales de la población estén reflejadas en la muestra.

Variable, característica de los sujetos que puede tomar valores diferentes. Las variables a estudiar son las variables discretas y las continuas. Las discretas tienen como caracteriza la existencia de saltos o discontinuidades entre un valor y otro; además puede tomar sólo valores enteros finitos o contables. Las continuas pueden tomar todos los valores posibles dentro de un intervalo dado.

Parámetro, son valores constantes que definen una población. Los parámetros suelen notarse con letras griegas (μ , σ).

Estadística, es una ciencia cuyo método consiste en recopilar, presentar, analizar e interpretar datos numéricos extraídos de hechos reales e inferir de ellos, conclusiones lógicamente aceptables. Si el objetivo es el análisis de la información de una muestra o una población, sin que ello implique alguna relación con otras muestras o poblaciones, la estadística es descriptiva. Pero si se utiliza para inducir información referente a otra(s) muestra(s) o población(s), la estadística es inferencial.

2.8.1.1. DEFINICIONES DE CONCEPTOS ESTADÍSTICOS

A continuación definiremos los elementos estadísticos y empezaremos según como se desarrollara el análisis estadístico:

Rango de datos (R), es la diferencia entre el máximo y mínimo valor de un conjunto de datos.

$$R = X_{\text{máx.}} - X_{\text{mín.}}, \dots\dots\dots(2.20)$$

Número de intervalos clases (K), está relacionado con la cantidad (n) de datos de la muestra se calcula con la fórmula de Sturges definida por:

$$K = 1 + 3.322 \log (n) \dots\dots\dots(2.21)$$

Por lo general se recomienda que el número de intervalos este entre 5 y 15.

Tamaño de intervalo de clase (C), se utiliza la siguiente relación

$$C = \frac{Rx}{K} \dots\dots\dots(2.22)$$

Intervalos de clase, deben cumplir la condición de que el valor más bajo de los datos es el límite inferior del intervalo, a este se agrega el valor del tamaño de intervalo de clase (C) para obtener el límite superior del intervalo, $L = [Li, Ls>$, es decir:

$$L_i = X_{min} \dots\dots\dots(2.23)$$

$$L_s = X_{min} + C \dots\dots\dots(2.24)$$

Las marcas de clase, es el valor medio de cada intervalo de clase:

$$X_i = \frac{L_i + L_s}{2} \dots\dots\dots(2.25)$$

Frecuencia absoluta de clase (fi), es el número de observaciones del conjunto original que pertenecen a cada intervalo.

Frecuencia absoluta acumulada de clase (Fi), es la sumatoria de las frecuencias de clase en cada intervalo de clase.

Percentiles, son los 99 valores que dividen en 100 partes iguales a una serie de puntuaciones ordenadas.

$$P_r = Li + \left[\frac{\frac{r \cdot n}{100} + F_{i-1}}{f_i} \right] * C \dots \dots \dots (2.26)$$

2.8.1.2.MEDIDAS DE VARIACIÓN O DISPERSIÓN

Las medidas de variación o dispersión están relacionadas con las medidas de tendencia central, ya que lo que pretende es cuantificar como de concentrados o dispersos están los datos respecto a estas medidas. Nos limitaremos a dar medidas de dispersión asociadas a la media.

La media aritmética, es el promedio aritmético de todos los resultados de los ensayos

$$\bar{X} = \frac{f_1 * X_1 + f_1 * X_2 + f_1 * X_3 + \dots + f_1 * X_n}{n} \dots \dots \dots (2.27)$$

La varianza: cuando la población es finita y está formado por n valores, la varianza se define como:

$$\widehat{S}^2 = \frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1} \dots \dots \dots (2.28)$$

La desviación estándar, es la raíz cuadrada de la varianza y nos indica que tan dispersos están los resultados de la media aritmética.

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (2.29)$$

Tabla 2.13: Norma para el control del concreto con relación a la variación total

| Desviación estándar para diferentes Grados de control, en (Kg/cm) | | | | |
|-------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Excelente | Muy bueno | Bueno | Aceptable | Pobre |
| Pruebas de control de campo (en obra o en planta) | | | | |
| <25 | De 25 a 35 | De 35 a 40 | De 40 a 50 | >50 |
| Mezclas de prueba en el laboratorio | | | | |
| <15 | De 15 a 17 | De 17 a 20 | De 20 a 25 | >25 |

Fuente: ACI 704.

El **Coefficiente de Variación**, es la división entre la desviación estándar y la media aritmética de las muestras, expresado en porcentaje. También conocida como coeficiente de variación existente entre la desviación estándar y la media, esta medida indica que entre mayor porcentaje de variación es mayor la dispersión.

$$CV = \frac{\hat{s}}{\bar{x}} * 100 \% \dots\dots\dots(2.30)$$

El coeficiente de variación, es una medida de dispersión relativamente adimensional que sirve para determinar el grado de homogeneidad o heterogeneidad de un grupo o serie estadística que se analiza, y es de gran utilidad sobre todo cuando se comparan distribuciones.

Para poder determinar un grado de control en los datos obtenidos. Se recurre al empleo de valores de dispersión en pruebas de concreto, establecidas en la tabla 2.14.

Tabla 2.14: Norma para el control del concreto con relación a la variación dentro de la prueba

| Coeficiente de variación para diferentes Grados de control (%) | | | | |
|----------------------------------------------------------------|-----------|----------|-----------|-------|
| Excelente | Muy bueno | Bueno | Aceptable | Pobre |
| Pruebas de control de campo (en obra o en planta) | | | | |
| <3 | De 3 a 4 | De 4 a 5 | De 5 a 6 | >6 |
| Mezclas de prueba en el laboratorio | | | | |
| <2 | De 2 a 3 | De 3 a 4 | De 4 a 5 | >5 |

Fuente: ACI 704

2.8.1.3. DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución normal es la piedra angular de la teoría estadística moderna, es utilizada para describir el comportamiento aleatorio de muchos procesos que ocurren en la naturaleza y acciones de los humanos.

Si graficáramos los resultados de laboratorio de las pruebas a compresión de una cantidad significativa de muestras de concreto, los resultados numéricos de estas, formarían un patrón que se agrupan alrededor de un valor central o gráfico de distribución normal o más conocido como campana de Gauss (ver figura 2.25). Es por eso que la distribución normal encaja adecuadamente para hacer análisis de confiabilidad y control de calidad del concreto.

$$F(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2s^2}} \dots \dots \dots (2.31)$$

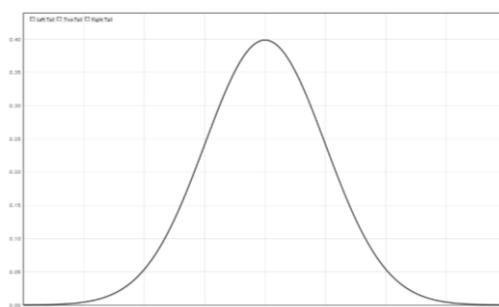


Figura 2.25: Formas típicas de distribuciones de datos

(http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical_distribution/theoretical_distribution.html#normal)

2.8.1.4. MEDIDAS DE FORMA DE LA DISTRIBUCIÓN

Existen dos medidas importantes en la estadística, el coeficiente de asimetría mide como se distribuyen los datos en torno de la media aritmética y la curtosis mide la deformación vertical (grado de apuntalamiento) de los datos.

Estas medidas son importantes, nos permiten determinar si la distribución de frecuencias se aproxima a la distribución normal, la cual es la base de la inferencia Estadística.

Entonces debemos calcular el coeficiente de asimetría y curtosis de una distribución de frecuencias, para determinar si el grupo de datos se aproxima a la Distribución Normal.

Coefficiente de asimetría, existen varias formas de hallarla para este caso de acuerdo a nuestras condiciones usaremos el coeficiente de asimetría en función de los percentiles, está dado por:

$$As_1 = \frac{P_{90} - 2P_{50} + P_{10}}{P_{90} - P_{10}} \dots \dots \dots (2.32)$$

Los coeficientes de asimetría se interpretan del siguiente modo:

Si $As < 0$, la distribución es asimétrica negativa (o sesgada hacia la izquierda).

Si $As = 0$, la distribución es simétrica.

Si $As > 0$, la distribución es asimétrica positiva (o sesgada hacia la derecha).

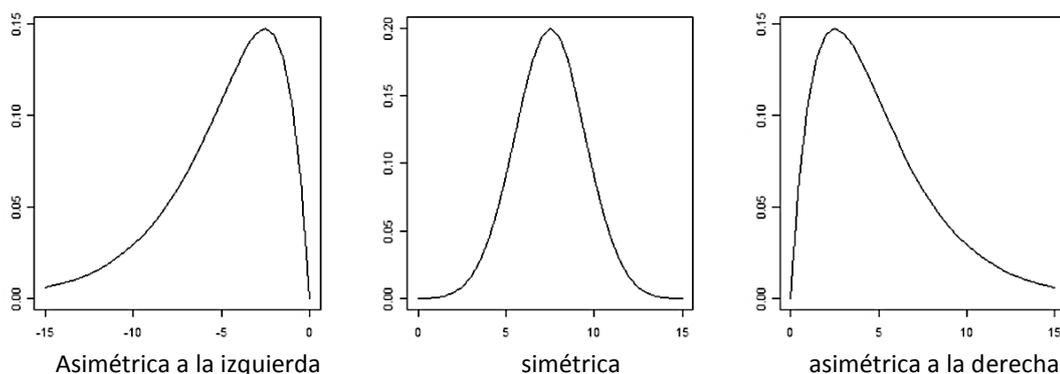


Figura 2.26: Formas típicas de distribuciones de datos.

(http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical_distribution/theoretical_distribution.html#normal)

Coefficiente de curtosis, de la misma forma que el anterior existen varias formas de hallarla para este caso de acuerdo a nuestras condiciones usaremos el curtosis en función de los percentiles, está dado por:

$$k = \frac{P_{75} - P_{25}}{2 * (P_{90} - P_{10})} \dots \dots \dots (2.33)$$

Los coeficientes de asimetría se interpretan del siguiente modo:

- ❖ Si $k < 0.263$, es cuando los datos están muy concentrado hacia la media, la distribución se denomina LEPTOCÚRTICA (más aplastada que la curva normal).
- ❖ Si $k = 0.263$, es cuando los datos están regularmente disperso, la distribución se denomina MESOCÚRTICA (apuntamiento de la curva normal).
- ❖ Si $k > 0.263$, es cuando los datos están muy dispersos, la distribución se denomina PLATICÚRTICA (más apuntada que la curva normal).

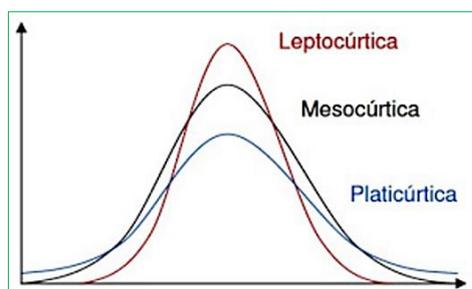


Figura 2.27: Formas típicas del coeficiente de curtosis.

(http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical_distribution/theoretical_distribution.html#normal)

2.8.1.5. CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN F

Sirve para comparar la homogeneidad las varianzas de dos o más poblaciones.

La comparación de varianzas para dos poblaciones, cuyas hipótesis serán de la siguiente

manera: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ vs $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Las hipótesis Nula y Alternativa son:

H_0 : Todas las proporciones de la población son iguales.

H_1 : No todas las proporciones de la población son iguales.

Si S_1^2 con S_2^2 son las varianzas muestrales de dos muestras aleatorias de tamaños n_1 n_2 , tomadas de dos poblaciones distribuidas normalmente e independiente que tienen la misma varianza, entonces, el test no se basa en las diferencia entre estas varianzas sino en un cociente.

$$F_{cal} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \dots \dots \dots (2.34)$$

Si H_0 es cierta, F_{cal} tiene Distribución F de Fisher, con n_1-1 grados de libertad en el numerador y n_2-1 grados de libertad en el denominador (n_1 tamaño de la muestra de varianza mayor, similar manera poner en el numerador el S^2 más grande)

El valor estadístico de prueba resultante se debe comparar con un valor tabular de F (F_{tabla}), que indicará el valor máximo del valor estadístico de prueba que ocurría si H_0 fuera verdadera, a un nivel de significación seleccionado. Antes de proceder a efectuar este cálculo, se debe considerar las características de la distribución F.

2.8.1.6.DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT

La Distribución t (de Student) surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño es pequeño. Una población se considera pequeña cuando es menor de 30 sujetos.

Se utiliza para detectar la existencia de diferencias significativas entre las medias de una determinada variable cuantitativa en dos grupos de datos.

Requisitos:

- ❖ Datos distribuidos según una distribución normal en cada grupo.
- ❖ Las varianzas de las dos muestras han de ser iguales.
- ❖ Muestras independientes y menores a 30.

Las hipótesis pueden ser de:

a) Hipótesis de dos colas

Recibe también el nombre de prueba bilateral, debido a que es importante detectar diferencias a partir del valor hipotético de la media μ_0 que se encuentre en cualquier lado de μ_0 . en una prueba de este tipo, la región crítica se separa en dos partes, con (usualmente) la misma probabilidad en cada cola de la distribución de la estadística de prueba.

$$H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} \neq \mu_{\bar{x}_C} \dots\dots\dots(2.36)$$

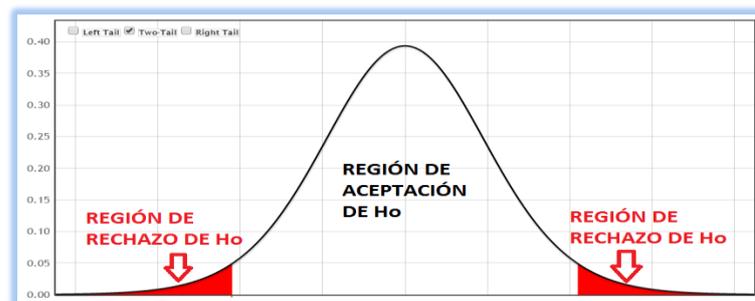


Figura 2.28: Curva de Distribución para hipótesis de dos colas $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} \neq \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C}$
 ([http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical distribution/theoretical distribution.html#normal](http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical%20distribution/theoretical%20distribution.html#normal))

b) Hipótesis de una cola

La hipótesis establece que existen diferencias entre las medias de los grupos considerados, presuponiendo que una de las dos medias es mayor que la otra. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias, o que las diferencias van en sentido contrario a como han sido expresadas en la hipótesis.

$$H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C} \quad \text{Ó}$$

$$H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C} \dots\dots\dots(2.38)$$

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C}$$



Figura 2.29: Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la derecha $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

(<http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical distribution/theoretical distribution.html#normal>)

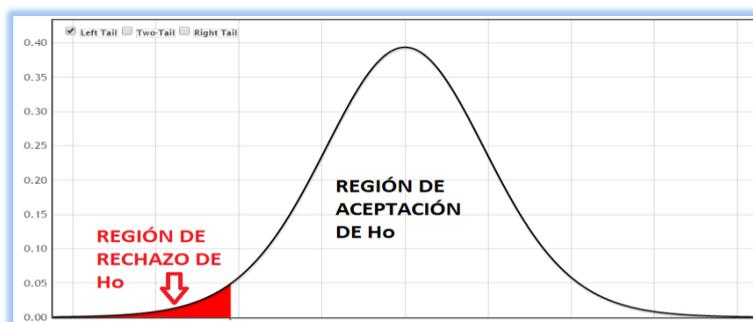


Figura 2.30: Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la izquierda $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$

(<http://www.lock5stat.com/StatKey/theoretical distribution/theoretical distribution.html#normal>)

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El estadístico de prueba para una distribución t-student con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \dots\dots\dots(2.39)$$

Donde:

n_1 y n_2 : Tamaños de las muestras 1 y 2 respectivamente.

\bar{X}_1 y \bar{X}_2 : Medias de las muestras 1 y 2 respectivamente.

S_1^2 y S_2^2 : Varianzas de las muestras 1 y 2 respectivamente.

2.8.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Una hipótesis es una conjetura o aseveración de una o más poblaciones. En la mayoría de procesos no es posible trabajar con toda la población y por tanto se realizan los estudios utilizando muestras, es decir, se plantea una proposición, después con los datos obtenidos se toma una decisión entre aceptar o rechazar una proposición sobre algún parámetro. Esta proposición recibe el nombre de hipótesis, y el procedimiento de toma de decisión sobre la hipótesis se conoce como prueba de hipótesis.

Las hipótesis estadísticas que estudiaremos son: la hipótesis nula, la cual es la que se plantea, con la esperanza de ser rechazada y se denota por H_0 ; y la hipótesis alterna la cual es la que se acepta una vez rechazada la nula, y se denota por H_a . La hipótesis nula de un parámetro de una población se enuncia de manera que especifique un valor exacto del parámetro, en tanto que la alterna permite la posibilidad de muchos valores.

Para poder realizar la prueba de hipótesis se debe tener en cuenta 6 pasos:

1. Identificar el parámetro de interés. Es decir en base a que parámetros se va a evaluar la hipótesis, pudiendo ser este parámetro la media “ μ ” de la Población.
2. Establecer la hipótesis nula (H_0). La hipótesis nula no tiene alternativas de cambio, está basada en un solo valor, generalmente se construye esta hipótesis como una igualdad. Por ejemplo $H_0: \mu_1 = \mu_2$.
3. Especificar una apropiada hipótesis alternativa (H_a). Existen dos clases de hipótesis alternativa:

Hipótesis bilaterales: En casos donde sea importante comprobar diferencias con el valor μ_1 que está por la misma probabilidad tanto al lado derecho como izquierdo de la distribución T de Student. Las hipótesis bilaterales se utilizan cuando la conclusión que se quiere obtener no implica ninguna dirección específica y la respuesta será “no es igual a”.

Hipótesis unilaterales: Donde $H_a: \mu_1 < \mu_2$, que significa que la región crítica se encuentra en la cola inferior de la distribución T de Student o plantear $H_a: \mu_1 > \mu_2$, que significa que la región crítica se encuentra en la cola superior de la distribución normal del estadístico de prueba. Las hipótesis unilaterales se utilizan cuando las proposiciones planteadas deben ser respondidas como “mayor que”, “menor que”, “superior a”, etc.

4. Seleccionar el nivel de significancia. Los niveles de significancia más recomendados son:
 $\alpha = 0.05$ con 95% de probabilidad de certeza.
 $\alpha = 0.01$ con 99% de probabilidad de certeza.
5. Establecer un estadístico de prueba. El estadístico de prueba nos va a permitir rechazar o aceptar la hipótesis planteada en función al valor que se obtenga y al nivel de significancia, es decir si este valor del estadístico de prueba está bien ubicado en la región crítica entonces la decisión que se tome será más real.

Para los casos en que se tienen 2 poblaciones en estudio, entonces el estadístico de prueba será:

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \dots \dots \dots (2.40)$$

Donde:

u_1 : Media de la distribución del concreto normal.

u_2 : Media de la distribución del concreto modificado.

σ_1^2 : Varianza de la distribución del concreto normal.

σ_2^2 : Varianza de la distribución del concreto modificado.

N_1 : Total de muestras del concreto normal.

N_2 : Total de muestras del concreto modificado.

Donde se considera que si ambas poblaciones presentan una distribución T de Student entonces la distribución $u_1 - u_2$, también será una distribución T de Student.

Las puntuaciones Z nos indican la dirección y grado en que un valor individual obtenido se aleja de la media (u) en una escala de unidades de desviación estándar.

6. Establecer la región de rechazo para el estadístico. La región de rechazo se realiza en base a la puntuación T obtenido en la tabla (ver anexo F).

Para hipótesis con alternativas unilaterales:

$H_0: u_1 = u_2$

$H_a: u_1 > u_2$

Entonces se rechaza la hipótesis nula si: $Z_0 < Z$

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de evaluar la influencia del nanosílice en el concreto frente a su durabilidad sometido a congelamiento y deshielo se elaboraron concreto patrón (CP) que en su composición no posee ningún aditivo o adición y otro grupo de concretos que se adicionaron 0.5, 1.0 y 1.5% de nanosílice, las cuales se curaron en piscinas de curado solo los primeros 7 días. Se presentará también el diseño de diferentes tipos de mezcla y la determinación de sus propiedades al estado fresco y endurecido, que serán sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo; simulando los ciclos en dos ambientes: primero el ambiente artificial de congelamiento durante 12 horas en la noche (congelador calibrado de -8 a -15°C) y el segundo en un ambiente natural de deshielo durante 12 horas en el día, estos ciclos se someterán en un periodo de 56 días.

3.1.FABRICACIÓN DEL CONCRETO.

3.1.1. MATERIALES A EMPLEAR EN LA INVESTIGACIÓN.

A continuación se describe los materiales empleados en la fabricación de las mezclas de concreto y se presentan las principales características físicas y químicas. Se ha utilizado cemento Rumi IP, nanosílice como adición, agregados de la cantera Viluyo y agua.



Figura 3.1: Materiales usados para la fabricación del concreto.

3.1.2. CEMENTO

Para la fabricación de las mezclas de concreto se utilizó cemento portland tipo IP de marca Rumi. La tabla 3.1 muestra las propiedades químicas, físicas y mecánicas más relevantes. Los datos presentados corresponden a la ficha técnica del producto que fue suministrada por el fabricante (ver anexo C-1).

Tabla 3.1: Propiedades químicas, físicas y mecánicas del cemento.

| Propiedades del cemento | Datos |
|-----------------------------------------|-------|
| Características Químicas | |
| Oxido de Magnesio, MgO, % | 1.54 |
| Trióxido de Azufre, SO ₃ , % | 1.80 |
| Perdida de Ignición o al Fuego, % | 2.88 |
| Características Físicas | |
| Peso Específico (g/cm ³) | 2.82 |
| Expansión en Autoclave, % | -0.03 |
| Tiempo de Fraguado (Inicial) | 224 |
| Tiempo de Fraguado (Final) | 269 |
| Contenido de Aire del mortero, % | 3.59 |
| Superficie específica Blaine | 49.61 |
| Características Mecánicas | |
| 01 días (kgf/cm ²) | 10.22 |
| 03 días (kgf/cm ²) | 20.01 |
| 07 días (kgf/cm ²) | 24.20 |
| 28 días (kgf/cm ²) | 32.28 |

Fuente: Certificado de calidad (ANEXO C-1)

3.1.3. NANOSÍLICE UTILIZADA

Se ha utilizado nanosílice como adición cementante. Sus propiedades químicas y físicas se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Propiedades químicas y físicas del nanosílice.

| Propiedades del nanosílice | Datos |
|----------------------------|-------------------------------|
| Estado físico | Líquido |
| Color | Café claro |
| Olor | Característico |
| pH | 7 ± 1 |
| Densidad a 20°C | 1.09 ± 0.02 (g/mL). |
| Viscosidad | 97 ± 2 seg. |
| Inflamación | No inflamable |
| Combustión | No combustible |
| Explosión | No explosivo |
| Solubilidad | Completamente soluble en agua |

Fuente: Certificado de Industrias Ulmen S.A. (ANEXO D-2)

AQUA – 206 es el nombre químico, es la mezcla de nanosílice y ácidos poli – carboxílicos, es sílice en estado líquido con partículas de tamaño manométrico, reemplaza a la microsílice en polvo en todas sus aplicaciones, fue creada por Industrias Ulmen S.A.



Figura 3.2: Compra del aditivo Aqua 206 en las Industrias Ulmen S.A.

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en un lugar fresco y protegido del sol, certificado por el sistema de control de calidad de las Industrias Ulmen S.A., certificado bajo ISO 9001:2008.



Figura 3.3: Aditivo nanosílice Aqua 206.

El aditivo Aqua 206 ya contiene superplastificante, porque la combinación de nanotecnología con moléculas especialmente seleccionadas produce una plasticidad y trabajabilidad excepcional que hace innecesario el uso de superplastificantes como los derivados de naftaleno, o los policarboxilatos.

3.1.4. AGREGADOS

Los agregados usados para la elaboración del concreto en la investigación, fueron obtenidos de la cantera de Viluyo, ubicada a 28 Km., de la ciudad de Puno rumbo a la ciudad de Moquegua.



Figura 3.4: Cantera Viluyo.

A. AGREGADO FINO (NTP 400.037)

Se utilizó el tamiz N°4 (4.75mm) para separar el agregado en grueso y fino.

La separación se realizó de la siguiente manera:

- ❖ Primero se realizó el extendido del material, para realizar el secado de dicho material permitiendo así que las partículas del agregado fino no se adhieran al agregado grueso.
- ❖ Luego se realizó la separación de agregado fino y agregado grueso con el material (ya seco) con ayuda de la malla N°4.

• GRANULOMETRÍA (NTP 400.012)

La granulometría es de vital importancia en el proporcionamiento de las mezclas de concreto, porque, determina la cantidad de agua necesaria para mojar todos los cuerpos sólidos; el volumen relativo ocupado por el agregado, la trabajabilidad de la mezcla y su tendencia a la segregación.

Procedimiento:

- ❖ Tomar una muestra por cuarteo no menor que 500 gr, secarlo hasta peso constante, dejar enfriar.
- ❖ Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente según tamaño de abertura: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200
- ❖ Se procede a colocar la muestra de agregado en la malla superior, y se imprime movimientos a la muestra (adelante, atrás, izquierda, derecha y circular) no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- ❖ Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- ❖ Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una de ellas y anotar los resultados.
- ❖ Luego realizar los cálculos, como las que se muestran en los cuadros siguientes, así mismo para su mejor interpretación y verificación de los (husos) establecidos.



Figura 3.5: Se observa el agregado fino al momento de realizar el cuarteo.



Figura 3.6: Se observa el tamizado del agregado fino.



Figura 3.7: Después del tamizado del agregado fino

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en el anexo A-2, donde se puede observar que la granulometría del agregado fino está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.

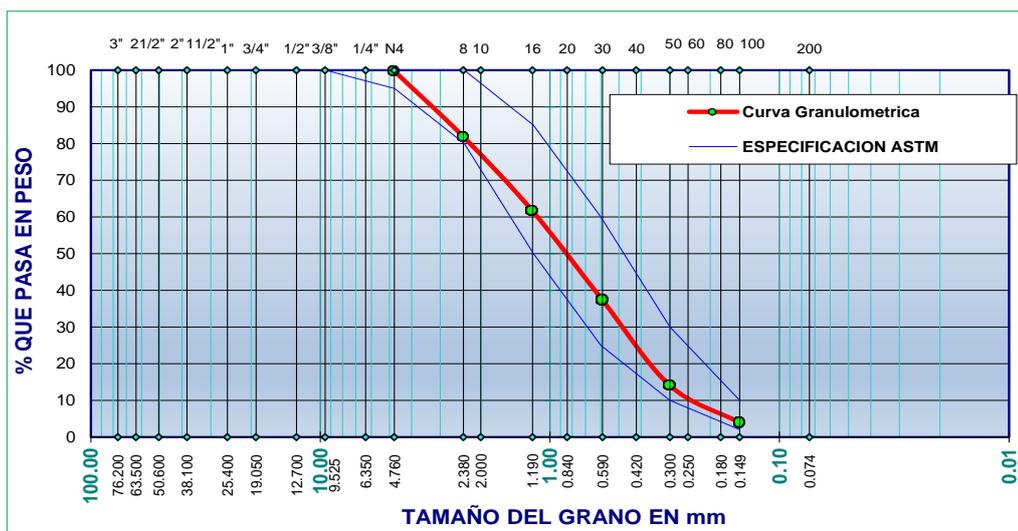


Figura 3.8: Curva granulométrica del agregado fino
Fuente: Elaboración propia.

- **MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.011)**

Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices 3/8", N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 y esta cantidad se divide entre 100.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados Retenidos (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizado. (Sánchez, 2015)

Según la norma ASTM C33, establece que el agregado fino (arena) debe tener un módulo de finura entre 2.30 y 3.10, donde el valor más alto indica una gradación más gruesa.

Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia (Abanto, 1994).

El módulo de fineza del agregado fino ensayado es: 3.02 (ver anexo A-2)

- **CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)**

Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, en relación al peso de la muestra seca expresado en porcentaje. Es una característica importante porque hace variar la relación agua/cemento del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto.

$$\text{Contenido de Humedad del Agregado Fino} = \frac{(\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco})}{\text{Peso Seco}} * 100$$

Procedimiento:

- ❖ Tomamos 400 gr aproximadamente de agregado fino natural.
- ❖ Secamos las muestras en el horno.
- ❖ Pesamos la cantidad de muestra secada al horno.
- ❖ Realizamos los cálculos de acuerdo a la anterior ecuación

En el caso de la investigación se realizó el contenido de humedad 2 días antes de la elaboración de las briquetas.



Figura 3.9: Contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 3.3: Cálculo del contenido de humedad del agregado fino.

| Nro. de Tara | B-1 | B-2 | B-3 |
|---------------------------|-------------|--------|--------|
| Peso de Tara | 16.18 | 19.68 | 27.265 |
| Peso de Tara + M. Húmeda | 136.54 | 137.63 | 154.34 |
| Peso de Tara + M. Seca | 134.08 | 135.20 | 151.72 |
| Peso de Agua | 2.46 | 2.43 | 2.62 |
| Peso Muestra Seca | 117.9 | 115.52 | 124.07 |
| Contenido de humedad W% | 2.09 | 2.10 | 2.11 |
| Promedio cont. Humedad W% | 2.10 | | |

Fuente: Elaboración propia.

- **PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.022)**

La Norma Técnica Peruana NTP 400.022, establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino.

- ❖ **Peso específico:** El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.
- ❖ **Peso específico de la masa seca:** Es la relación, a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); respecto de la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

$$\text{Peso específico de la masa} = \frac{W_o}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (3.1)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g).

V : Volumen del frasco (cm³).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

- ❖ **Peso específico de la masa saturado superficialmente seco:** Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables saturados con agua e impermeables naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases.

$$\text{Peso específico de la masa SSS} = \frac{500}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (3.2)$$

Donde:

V : Volumen del frasco (cm³).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

- ❖ **Peso específico aparente:** Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material respecto de la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases, si el material es un sólido el volumen es aquel de la porción impermeable.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \dots \dots \dots (3.3)$$

Donde:

W_o : Peso de la muestra secada en el horno (g).

V : Volumen del frasco (cm³).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

- ❖ **Absorción:** Según la NTP 400.022, la absorción es la cantidad de agua total que el agregado puede absorber de la condición seca a la condición saturada superficialmente seco en relación al peso de la muestra seca y es expresado en porcentaje.

$$\% \text{Absorción} = \frac{500 - W_o}{W_o} * 100 \dots \dots \dots (3.4)$$

Equipos y accesorios:

- ❖ Balanza con sensibilidad de 0.1g con capacidad de 3 kg.
- ❖ Frasco volumétrico de 500 cm³ de capacidad de 20 a 25 °C.
- ❖ Molde cónico, metálico, de 40 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm de diámetro en la parte inferior y 75 mm de altura.
- ❖ Barra compactadora, de metal de 340g ± 15g de peso con un extremo de superficie circular de 25mm ± 3mm de diámetro.
- ❖ Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C ± 5°C.
- ❖ Termómetro con aproximación a 0.5°C.

Preparación de la muestra:

- ❖ Pesar la muestra aproximadamente 1000g de agregado fino, obtenido del cuarteo de la muestra.
- ❖ Se seca la muestra a 110°C + 5°C durante 24 horas hasta que dos pesadas sucesivas y separadas dentro de una hora no difieran en más de 0.1%.
 - ❖ Se cubre la muestra con agua y se deja en reposo durante 24h.
- ❖ Se extiende sobre una bandeja para calentarlo hasta que los agregados finos no se adhieran marcadamente entre sí.

- ❖ Se coloca el agregado fino en forma suelta en el molde cónico, se golpea la superficie suavemente 25 veces con la barra compactadora y se levanta el molde verticalmente. Si existe humedad libre, el cono de agregado fino mantendrá su forma. Se sigue secando hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, indicándonos que el agregado fino ha alcanzado una condición de saturado superficialmente seca.

Procedimiento:

- ❖ Se introduce en el frasco una muestra de 85.5 g del material preparado superficialmente seco (SSS), se llena de agua hasta alcanzar la marca de 500 cm³ a una temperatura de 23 °C ± 2 °C.
- ❖ Luego agitamos levemente el frasco de vidrio por un periodo de 15 a 20 minutos para eliminar todas las burbujas de aire, después de lo cual se coloca en un baño a temperatura constante, de 23 °C ± 2 °C.
- ❖ Después de aproximadamente una hora se llena con agua hasta la marca de 500 cm³, y se determina el peso total del agua introducida en el frasco, con aproximación de 0,1 g.
- ❖ Se saca el agregado fino del frasco, se seca hasta peso constante a una temperatura de 100 °C a 110 °C, se enfría a temperatura ambiente en un secador durante ½ h a 1½ h y se pesa el material seco.



Figura 3.10: Arena superficialmente seca después del apisonado.



Figura 3.11: Control de temperatura del agua.

Tabla 3.4: Datos obtenidos para el cálculo del peso específico y absorción del agregado fino.

| DATOS | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | Peso de la muestra saturada superficialmente seca (W _{ss}) | 74.64 |
| 2 | Peso del picnómetro + tapa + agua | 187.16 |
| 3 | W _{ss} + Peso del picnómetro + tapa + agua | 232.40 |
| 4 | Peso de la tara | 31.90 |
| 5 | Peso de la muestra secada al horno | 104.75 |
| 6 | Peso de la muestra (WS) | 72.85 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5: Resultados del Peso Unitario Compactado del agregado fino.

| RESULTADOS | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 7 | Peso específico de la masa: P.E.M. $6/(1-(3-2))$ | 2.48 |
| 8 | P.E. de masa saturada superficialmente seca P.E.M.S.S. $(1/(1-(3-2)))$ | 2.54 |
| 9 | Peso específico aparente P.E.A. : $6/(6-(3-2))$ | 2.64 |
| 10 | Porcentaje de absorción: $\%ABS((1-6)/6)$ | 2.46 |

Fuente: Elaboración propia.

- **PESO UNITARIO (NTP 400.017)**

El peso unitario es el producto del peso de la muestra seca por el inverso del volumen del recipiente, se expresa en kg / m³.

El peso unitario varía de acuerdo a las condiciones intrínsecas del agregado, tales como su forma, granulometría y tamaño máximo asimismo depende de factores externos como la relación del tamaño máximo con el recipiente, la consolidación, la forma de colocación, etc.

Existen 2 tipos de pesos unitarios:

- ❖ **Peso Unitario Suelto: (P.U.S.):** Viene a ser el peso del material en forma natural por unidad de volumen conocido. Este peso se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen.

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material suelto (Kg)}}{\text{Volumen del recipiente(m3)}} \dots \dots \dots (3.5)$$

- ❖ **Peso Unitario Compactado: (P.U.C.):** Viene a ser el peso del material por unidad de volumen conocido después de un proceso de apisonado. Este ensayo nos puede determinar el grado de compactación que pueden presentar los materiales en su estado natural.

$$P.U.C. = \frac{\text{Peso del material compactado (Kg)}}{\text{Volumen del recipiente(m3)}} \dots \dots \dots (3.6)$$

El peso unitario varía de acuerdo a las condiciones intrínsecas del agregado, tales como su forma, granulometría y tamaño máximo asimismo depende de factores externos como la relación del tamaño máximo con el volumen del recipiente, la consolidación, la forma de colocación, etc.

Equipos y accesorios

- ❖ Balanza sensible al 0,1 % del peso de la muestra que se va a ensayar.
- ❖ Recipiente cilíndrico de metal y 1/10 ps3 de capacidad.
- ❖ Barra compactadora de acero, lisa de 5/8” de diámetro y aproximadamente 60 cm de largo, con un extremo redondeado con forma de punta semiesférica.
- ❖ Pala, badilejo y regla.

Preparación de la muestra y procedimiento:

- ❖ Se alistó un recipiente seco, limpio, de peso y capacidad conocidos.
- ❖ La muestra se mezcla completamente y se seca a temperatura ambiente.

- ❖ Para el peso unitario suelto, el recipiente se llena de agregado con una pala dejando que el agregado se acomode en forma natural hasta rebosar. El agregado sobrante se elimina con una regla, en seguida, se determina el peso neto del agregado en el recipiente.
- ❖ Para el peso unitario compactado, se llena la tercera parte del recipiente de agregado para luego apisonar la masa con la varilla de 5/8", dando 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena las dos terceras y de nuevo se compacta con la varilla dando 25 golpes como antes, luego, se llena la última parte restante hasta rebosar y se compacta dando 25 golpes, el agregado sobrante se elimina usando la varilla como regla, en seguida, se determina el peso neto del agregado en el recipiente.



Figura 3.12: Enrasado y pesado del recipiente con la muestra para el cálculo del Peso Unitario Suelto.

Tabla 3.6: Resultados del peso unitario suelto del agregado fino.

| Molde Nro. | I | II | III |
|----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Peso del molde gr. | 7350.000 | 7270.000 | 7270.000 |
| Peso del molde + muestra gr. | 15935.000 | 15950.000 | 15945.000 |
| Peso de la muestra gr. | 8585.000 | 8680.000 | 8675.000 |
| Volumen del molde cm ³ , | 5736.230 | 5754.310 | 5754.310 |
| Peso unitario Gr/Cm ³ , | 1.497 | 1.508 | 1.508 |
| Peso unitario seco kg/m ³ , | 1504 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7: Resultados del peso unitario compactado del agregado fino.

| Molde Nro. | I | II | III |
|----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Peso del molde gr. | 7350.000 | 7270.000 | 7350.000 |
| Peso del molde + muestra gr. | 16840.000 | 16715.000 | 16845.000 |
| Peso de la muestra gr. | 9490.000 | 9445.000 | 9495.000 |
| Volumen del molde cm ³ , | 5736.230 | 5754.310 | 5736.230 |
| Peso unitario Gr/Cm ³ , | 1.654 | 1.641 | 1.655 |
| Peso unitario seco kg/m ³ , | 1650 | | |

Fuente: Elaboración propia.

B. AGREGADO GRUESO (NTP 400.037)**• GRANULOMETRÍA (NTP 400.012)**

La granulometría del agregado es un factor importante en la trabajabilidad del concreto y ésta, afecta las cantidades de agua y cemento, controla la segregación, ejerce cierto efecto en el sangrado e influye en la colocación y el acabado del concreto. Esos factores representan las características importantes del concreto fresco y también afecta sus propiedades cuando ha fraguado: resistencia, contracción y durabilidad.

• TAMAÑO MÁXIMO (NTP 400.037)

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, define al Tamaño Máximo del agregado grueso como aquel que “corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

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

• TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (NTP 400.037)

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, define al Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso como aquel que “corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones RNE E.060 Concreto Armado, el Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso no debe ser superior a ninguna de:

- a) 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- b) 1/3 de la altura de la losa, de ser el caso.
- c) 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Estas limitaciones se pueden omitir si se demuestra que la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin la formación de vacíos o “cangrejeras”.

Tabla 3.8: Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.

| Tamaño máximo nominal aberturas cuadradas mm (pulg) | Cantidad de la muestra de ensayo, mínimo kg (lb) |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 9.5 (3/8) | 1 (2) |
| 12.5 (1/2) | 2 (4) |
| 19 (3/4) | 5 (11) |
| 25 (1) | 10 (22) |
| 37.5 (1 ½) | 15 (33) |
| 50 (2) | 20 (44) |
| 63 (2 ½) | 35 (77) |
| 75 (3) | 60 (130) |
| 90 (3 ½) | 100 (220) |
| 100 (4) | 150 (330) |
| 125 (5) | 300 (660) |

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.012

De los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso se observa que el Tamaño Máximo es de 1 1/2” y el Tamaño Máximo Nominal es de 1”.



Figura 3.14: Tamizado del agregado grueso.



Figura 3.15: Se observa el tamizado del agregado grueso.

- **MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.011)**

El módulo de fineza del agregado grueso, es menos usado que el de la arena, se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividida entre 100. El módulo de fineza es el promedio ponderado de tamaño del tamiz en el cual es retenido el material.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados Retenidos } (3, 1\ 1/2, 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

El módulo de fineza del agregado grueso ensayado es: 6.81 (Ver anexo A-3)

- **COTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)**

Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, en relación al peso de la muestra seca expresado en porcentaje. Es una característica importante porque influye en la relación agua/cemento del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto.

El agregado grueso retiene mucho menos agua que el agregado fino, tiene un contenido de humedad mucho menos variable y, generalmente causa menos dificultades. El procedimiento para el cálculo es similar a lo realizado para el agregado fino.

Tabla 3.9: Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso.

| Nro de Tara | A-1 | A-4 | A-8 |
|---------------------------|------------|--------|--------|
| Peso de Tara | 33.47 | 18.65 | 27.72 |
| Peso de Tara + M. Húmeda | 123.85 | 135.86 | 139.24 |
| Peso de Tara + M. Seca | 122.4 | 134.02 | 137.5 |
| Peso de Agua | 1.45 | 1.84 | 1.74 |
| Peso Muestra Seca | 88.93 | 115.37 | 109.78 |
| Contenido de humedad W% | 1.63 | 1.59 | 1.58 |
| Promedio cont. Humedad W% | 1.6 | | |

Fuente: Elaboración propia

- **PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.021)**

La Norma Técnica Peruana NTP 400.021, establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado grueso.

- ❖ **Peso específico:** El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

- ❖ **Peso específico de la masa seca:** Es la relación, a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); respecto de la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

$$\text{Peso específico de la masa} = \frac{W_o}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (3.7)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (g).

V : Volumen del frasco (cm^3).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

- ❖ **Peso específico de la masa saturado superficialmente seco:** Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables saturados con agua e impermeables naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases.

$$\text{Peso específico de la masa SSS} = \frac{500}{(V - V_a)} \dots \dots \dots (3.8)$$

Donde:

V : Volumen del frasco (cm^3).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (g).

- ❖ **Peso específico aparente:** Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material respecto de la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases, si el material es un sólido el volumen es aquel de la porción impermeable.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \dots \dots \dots (3.9)$$

Donde:

W_o : Peso en el aire de la muestra secada en el horno (gr).

V : Volumen del frasco (cm³).

V_a : Peso de agua añadida en el picnómetro (gr).

- ❖ **Porcentaje de absorción:** Se entiende por absorción, a la cantidad de agua total que el agregado puede absorber de la condición seca a la condición saturado superficialmente seco en relación al peso de la muestra seca y es expresado en porcentaje.

$$\% \text{Absorción} = \frac{W_{SSS} - W_o}{W_o} * 100 \dots \dots \dots (3.10)$$

Donde:

W_o : Peso de la muestra seca (gr).

W_{SSS} : Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr).

Equipo y accesorios:

- ❖ Balanza con sensibilidad de 0.1g con capacidad de 3 kg.
- ❖ Cesta de malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N° 6 (3 mm) o menor o un recipiente de aproximadamente igual diámetro y altura con capacidad de 4000 cm³ a 7000 cm³.
- ❖ Envase adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- ❖ Horno, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110°C ± 5°C.
- ❖ Termómetro con aproximación a 0.5°C.

Preparación de la muestra:

- ❖ Se selecciona por el método del cuarteo, aproximadamente 2 kg del agregado que se desea ensayar rechazando todo el material que pase el tamiz N° 4 (4.76 mm).

Procedimiento:

- ❖ Se lava la muestra seleccionada, eliminando el polvo u otras impurezas superficiales de las partículas y se sumerge en agua por un periodo de 24 h \pm 4 h.
- ❖ Se saca la muestra del agua y se hace rodar sobre un paño grande absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún aparezca húmeda. Se secan separadamente los fragmentos más grandes. Se tiene cuidado en evitar la evaporación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturado con la superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g.
- ❖ Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a temperatura de 23 °C \pm 2 °C.
- ❖ Se seca la muestra a peso constante, a una temperatura de 100 °C a 110 °C y se deja enfriar hasta temperatura ambiente, durante 1 h a 3 h y se pesa el material seco.



Figura 3.16: Escurrimiento del agua y esparcido del agregado grueso sobre la franela.



Figura 3.17: Control de temperatura del agua.

Tabla 3.10: Datos para el cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso.

| Datos | | |
|-------|----------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | Peso de la muestra saturada superficialmente seca (W _{ss}) | 126.17 |
| 2 | Peso del picnómetro + tapa + agua | 187.16 |
| 3 | W _{ss} +Peso del picnómetro + tapa + agua | 263.35 |
| 4 | Peso de la tara | 28.97 |
| 5 | Peso de la muestra secada al horno | 151.88 |
| 6 | Peso de la muestra (WS) | 122.91 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11: Resultados del peso específico (gr/cc) y % de absorción del agregado grueso.

| Resultados | |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| Peso específico de masa: P.E.M. $6/(1-(3-2))$ | 2.46 |
| P.E. de masa saturada superficialmente seca P.E.M.S.S. $(1/(1-(3-2)))$ | 2.52 |
| Peso específico aparente P.E.A. : $6/(6-(3-2))$ | 2.63 |
| Porcentaje de absorción: %ABS $((1-6)/6)$ | 2.65 |

Fuente: Elaboración propia.

- **PESO UNITARIO (NTP 400.017)**

El peso unitario es el producto del peso de la muestra seca por el inverso del volumen del recipiente, se expresa en kg / m³.

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico del material. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificarse el concreto por volumen.

Los agregados redondeados de textura suavizada tienen, generalmente, un peso unitario más alto que las partículas de perfil angular y textura rugosa, de la misma composición mineralógica y granulometría. (Rivva, 2010)

El procedimiento para el peso unitario suelto o compactado para el agregado grueso, es el mismo que se obtiene para el agregado fino, en donde:

❖ **Peso Unitario Suelto: (P.U.S.)**

$$P. U. S. = \frac{\text{Peso del material suelto (Kg)}}{\text{Volumen del recipiente (m3)}} \dots \dots \dots (3.11)$$

❖ **Peso Unitario Compactado: (P.U.C.)**

$$P. U. C. = \frac{\text{Peso del material Compactado (Kg)}}{\text{Volumen del recipiente (m3)}} \dots \dots \dots (3.12)$$

Equipos y accesorios:

- ❖ Balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra que se va a ensayar.
- ❖ Recipiente cilíndrico de metal y 1/10 ps3 de capacidad.
- ❖ Barra compactadora de acero, lisa de 5/8” de diámetro y aproximadamente 60 cm de largo, con un extremo redondeado con forma de punta semiesférica.
- ❖ Pala, badilejo y regla.

Preparación de la muestra y procedimiento:

- ❖ Se alistó un recipiente seco, limpio, de peso y capacidad conocidos.
- ❖ La muestra se mezcla completamente y se seca a temperatura ambiente.
- ❖ Para el peso unitario suelto, el recipiente se llena de agregado con una pala dejando que el agregado se acomode en forma natural hasta rebosar. El agregado sobrante se elimina con una regla, en seguida, se determina el peso neto del agregado en el recipiente.

- ❖ Para el peso unitario compactado, se llena la tercera parte del recipiente de agregado para luego apisonar la masa con la varilla de 5/8”, dando 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie. Se llena las dos terceras y de nuevo se compacta con la varilla dando 25 golpes como antes, luego, se llena la última parte restante hasta rebosar y se compactar dando 25 golpes, el agregado sobrante se elimina usando la varilla como regla, en seguida, se determina el peso neto del agregado en el recipiente.



Figura 3.18: Pesado de agregado grueso para el cálculo del peso unitario.

Tabla 3.12: Resultados del peso unitario suelto del agregado grueso.

| Molde Nro. | I | II | III |
|----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Peso del molde gr. | 7350.000 | 7270.000 | 7350.000 |
| Peso del molde +muestra gr. | 15755.000 | 15570.000 | 15675.000 |
| Peso de la muestra gr. | 8405.000 | 8300.000 | 8325.000 |
| Volumen del molde cm ³ , | 5736.230 | 5754.310 | 5736.230 |
| Peso unitario gr/cm ³ , | 1.465 | 1.442 | 1.451 |
| Peso unitario seco kg/m ³ , | 1453 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13: Resultados del peso unitario compactado del agregado grueso.

| Molde Nro. | I | II | III |
|----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Peso del molde gr. | 7270.000 | 7350.000 | 7270.000 |
| Peso del molde +muestra gr. | 16465.000 | 16520.000 | 16520.000 |
| Peso de la muestra gr. | 9195.000 | 9170.000 | 9250.000 |
| Volumen del molde cm ³ , | 5754.310 | 5736.230 | 5754.310 |
| Peso unitario gr/cm ³ , | 1.598 | 1.599 | 1.607 |
| Peso unitario seco kg/m ³ , | 1601 | | |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4.4.AGUA

Se utilizó agua potable para consumo humano tomada directamente de las instalaciones de la ciudad universitaria.

3.2.DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

El método de diseño será del comité 211.1 del ACI. Para efectuar el diseño de una mezcla se deben seleccionar las características del concreto a diseñar dependiendo del uso que se le vaya a dar.

En este método de diseño de mezclas, la estimación de los materiales requeridos para dicho diseño comprende una sección de pasos directos y lógicos en donde involucran las características físicas de los materiales analizado en el laboratorio, los cuales se mencionan en la tabla 3.14.

Tabla 3.14: Características físicas de los materiales para el diseño.

| Descripción | Unidad | Cemento | Agregados | |
|--------------------------|--------------------|---------|-----------|--------|
| | | | Fino | Grueso |
| Tamaño máximo | Pulg. | --- | N° 4 | 1" |
| Peso específico | gr/cm ³ | 2.82 | 2.48 | 2.46 |
| Peso unitario suelto | kg/m ³ | --- | 1504 | 1453 |
| Peso unitario compactado | kg/m ³ | --- | 1650 | 1601 |
| Contenido de humedad | % | --- | 2.1 | 6.6 |
| Absorción | % | --- | 2.46 | 2.65 |
| Módulo de fineza | --- | --- | 3.01 | 6.86 |

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la selección de las proporciones que se presenta en este método es aplicable a concreto de peso normal según la guía práctica del ACI, lo cual se muestra en el siguiente procedimiento:

A. Selección de la resistencia promedio

Como no contamos con un registro de resultados de ensayos que nos posibilite el cálculo de desviación estándar, entonces la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Resistencia a la compresión promedio.

| f'_c (kg/cm ²) | f'_{cr} (kg/cm ²) |
|------------------------------|---------------------------------|
| Menos de 210 | $f'_c + 70$ |
| 210 a 350 | $f'_c + 84$ |
| sobre 350 | $f'_c + 98$ |

Fuente: ACI 211.1

El f'_c requerido es de 210 kg/cm², sin embargo utilizando la tabla 3.2.2 es:

$$f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

B. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

Tamaño Máximo Nominal: 1"

C. Selección del asentamiento

Slump: 6" a 7" (Mezcla plástica)

D. Selección de volumen unitario de agua de diseño

Entrando en la tabla 3.16 se determina el volumen unitario de agua, o agua de diseño, necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 6" a 7", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 1".

Tabla 3.16: Volumen unitario de agua.

| Asentamiento | Agua, en lt/m ³ , para los tamaños Máximos Nominales de agregado grueso y consistencia indicados | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 ½" | 2" | 3" | 6" |
| Concretos Sin Aire Incorporado | | | | | | | | |
| 1" a 2" | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 3" a 4" | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 6" a 7" | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | --- |
| Concretos Con Aire Incorporado | | | | | | | | |
| 1" a 2" | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 3" a 4" | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 6" a 7" | 216 | 205 | 197 | 184 | 174 | 166 | 154 | --- |

Fuente: ACI 211.1

Para nuestro diseño el agua seleccionada es de 202 litros por metro cúbico.

E. Selección del contenido de aire

Tabla 3.17: Contenido de aire atrapado.

| Tamaño Máximo Nominal | Aire atrapado |
|-----------------------|---------------|
| 3/8" | 3.0% |
| 1/2" | 2.5% |
| 3/4" | 2.0% |
| 1" | 1.5% |
| 1 ½" | 1.0% |
| 2" | 0.5% |
| 3" | 0.3% |
| 6" | 0.2% |

Fuente: ACI 211.1

El contenido de aire atrapado para un agregado grueso de TMN de 1” es de 1.5%.

F. Selección de la relación agua-cemento

Tabla 3.18: Relación agua-cemento por resistencia.

| f'cr (28 días) | Relación Agua - Cemento de diseño en peso. | |
|-------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|
| | Concretos Sin Aire Incorporado | Concretos Con Aire Incorporado |
| 150 | 0.80 | 0.71 |
| 200 | 0.70 | 0.61 |
| 250 | 0.62 | 0.53 |
| 300 | 0.55 | 0.46 |
| 350 | 0.48 | 0.40 |
| 400 | 0.43 | --- |
| 450 | 0.38 | --- |

Fuente: ACI 211.1

Entrando en la tabla 3.19 para una resistencia promedio correspondiente a 294 kg/cm² en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua-cemento por resistencia de 0.56

G. Factor cemento

$$\text{Factor cemento} = 202/0.56 = 360.70 \text{ kg/m}^3 = 8.50 \text{ bolsas/m}^3.$$

H. Contenido de agregado grueso

Tabla 3.19: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

| Tamaño Máximo Nominal | Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos Módulos de Fineza del Agregado Fino | | | |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3/8" | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1/2" | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3/4" | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1" | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 1/2" | 0.76 | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 2" | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |

Fuente: ACI 211.1

Entrando a la tabla 3.20, con el módulo de fineza del agregado fino de 3.02 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1", se encuentra un valor de 0.65 metros cúbicos de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen.

$$\text{Peso del agregado Grueso} = 0.65 \times 1601 = 1040.65 \text{ kg/m}^3.$$

I. Cálculo de volúmenes absolutos

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de volúmenes absolutos de estos ingredientes:

Volumen absoluto de:

Según el análisis físico químico de minerales proporcionado por el área de control de calidad de la Empresa Yura S.A. el peso específico del cemento portland IP marca Rumi es: 2.82 (Ver Anexo C-1)

| | | |
|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Cemento: | $360.7/2.82 \times 1000$ | $= 0.128 \text{ m}^3$ |
| Agua: | $202/1 \times 1000$ | $= 0.202 \text{ m}^3$ |
| Aire: | $0.015/1 \times 1$ | $= 0.015 \text{ m}^3$ |
| Agregado Grueso: | $1040.65/2.46 \times 1000$ | $= 0.423 \text{ m}^3$ |
| Suma de volúmenes conocidos: | | $= \mathbf{0.768 \text{ m}^3}$ |

J. Contenido de agregado fino

Volumen absoluto A. Fino = $1 - 0.768 = 0.232 \text{ m}^3$

Peso del A. Fino Seco = $0.232 \times 2.48 \times 1000 = 575.36 \text{ kg/m}^3$.

K. Cantidad de materiales por m^3 en peso

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Cemento: | 360.7 kg/m^3 |
| Agua de diseño | 202.00 Lt/m^3 |
| Agregado Fino seco: | 575.36 kg/m^3 |
| Agregado Grueso seco: | 1040.65 kg/m^3 |
| Peso de la mezcla: | $\mathbf{2178.71 \text{ kg/m}^3}$ |

L. Corrección por humedad del agregado

Peso húmedo del:

$$\text{Agregado Fino} = 575.36 \times (1 + 0.021) = 587.44 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1040.65 \times (1 + 0.016) = 1057.30 \text{ kg/m}^3$$

M. Contribución de agua de los agregados

- Humedad superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} = 2.1 - 2.46 = -0.36\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1.6 - 2.65 = -1.05\%$$

$$\text{Total} = -1.41\%$$

- Aporte de humedad de los Agregados

$$\text{Agregado Fino seco:} \quad 575.36 * (-0.0036) = -2.07 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso seco:} \quad 1040.65 * (-0.0105) = -10.93 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad de los Agregados:} \quad -13.00 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } 202 - (-13) = 215 \text{ Lt/m}^3$$

N. Cantidad de materiales corregidos por m³ de concreto

$$\text{Cemento:} \quad 360.7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva:} \quad 215.00 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino húmedo:} \quad 587.44 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso húmedo:} \quad 1057.30 \text{ kg/m}^3$$

O. Proporciones en peso de los materiales corregidos

$$\text{Cemento} = 360.7/360.7 = 1$$

$$\text{Agregado Fino} = 587.44/360.7 = 1.63$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1057.30/360.7 = 2.93$$

$$\text{Agua} = 215.00/360.7 = 0.60$$

P. Cantidad de materiales corregidos por Bolsa

| | | |
|-----------------|-----------------|---------------|
| Cemento | = 1.00 x 42.5 = | 42.50 Kg/Bls |
| Agua efectiva | = 0.60 x 42.5 = | 25.50 Lt/Bls |
| Agregado Fino | = 1.61 x 42.5 = | 69.28 Kg/Bls |
| Agregado Grueso | = 2.93 x 42.5 = | 124.53 Kg/Bls |

3.2.1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE NANOSÍLICE.

De acuerdo con los datos obtenidos anteriormente en el diseño de mezclas de concreto, después de elaborar 6 muestras de prueba de concreto patrón, se realiza los ajustes en las cuantías de materiales, principalmente en función de los resultados de ensayos de asentamiento y de resistencia a compresión a los 7 días, se establecieron las dosificaciones definitivas para el CP, 0.5NS, 1.0NS y 1.5NS que corresponde a 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% de nanosílice con respecto al peso del cemento.

El ensayo de asentamiento se realizó el mismo día para todos los porcentajes de nanosílice para evitar errores, los datos se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.20: Dosificación de concretos, contenido por m³ de mezcla.

| Descripción | Concreto patrón (CP) | 0.5% de nanosílice (0.5NS) | 1.0% de nanosílice (1.0NS) | 1.5% de nanosílice (1.5NS) |
|-----------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Cemento | 360.70 | 360.70 | 360.70 | 360.70 |
| Agregado fino | 587.44 | 587.44 | 587.44 | 587.44 |
| Agregado grueso | 1057.30 | 1057.30 | 1057.30 | 1057.30 |
| Agua (lt) | 225.44 | 206.68 | 160.15 | 144.28 |
| Nanosílice (%) | 0 | 1.804 | 3.607 | 5.411 |

Fuente: Elaboración propia.

3.3. ELABORACIÓN DE CONCRETOS

La elaboración de las mezclas de concreto se realizó según el método descrito anteriormente. Se pesó los materiales de acuerdo a las cantidades de especímenes de concreto, en una mezcladora de concreto tipo trompo de 6 pies cúbicos se mezclaron los agregados en un tercio de agua. Posteriormente se añadió el cemento, a continuación se añadió el agua restante con el aditivo nanosílice, finalmente se mezcló durante 3 minutos, tras lo cual se realizó el ensayo de asentamiento que cumpla dentro de 6 a 7 pulgadas, para que finalmente se elaboren las probetas para los ensayos en estado endurecido.

El equipo necesario

- ❖ Mezcladora de concreto tipo trompo de 6 Pie³
- ❖ Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco.
- ❖ Cono de Abrams.
- ❖ Varilla apisonadora con punta redondeada de 5/8" de diámetro y 60cm de longitud.
- ❖ Cuchara para el muestreo y plancha de albañilería



Figura 3.19: Mezclado del concreto



Figura 3.20: Comprobación del asentamiento.

3.3.1. PROBETAS DE CONCRETO.

Para los ensayos de caracterización mecánica y de durabilidad se utilizó probetas ó briqueteras de 6" x 12" (150 mm de diámetro x 300 mm de altura). Las probetas y la elaboración de especímenes de concreto cumplen la norma NTP 339.033.

Para realizar el ensayo del concreto sometido a congelamiento y deshielo, se fabricaron en las mismas probetas mencionadas en el anterior párrafo.

Moldeado de los cilindros de prueba

- ❖ Se colocó los moldes de cilindros en una superficie nivelada.
- ❖ Se engrasó con aceite la pared y la base interior de los moldes cilíndricos.
- ❖ Se llenó el molde en tres capas iguales con la cuchara.
- ❖ Se compactó la capa apisonando, con una varilla de 5/8" en caso de los moldes de 6"x12", 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- ❖ Se enrazó la parte superior con la plancha de albañil para obtener una superficie lisa y nivelada.
- ❖ Finalmente se le marcó en la superficie la fecha y el tipo de concreto vaciado.



Figura 3.21: Llenado de moldes y apisonado de mezcla de concreto en tres capas iguales.



Figura 3.22: Moldes vaciados de un grupo de concreto.

3.3.2. CURADO DEL CONCRETO.

Después de su fabricación, las probetas cilíndricas utilizadas para los ensayos de caracterización, se mantuvieron en sus respectivos moldes durante las primeras 24 horas.

Después de las 24 horas, las probetas que no se someterán a ciclos de congelamiento y deshielo, se desmoldaron e introdujeron en una cámara de curado solo los primeros 7 días, cantidad mínima para concretos convencionales según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la norma E 0.60.

Después de las 24 horas, las probetas que se sometieron a ciclos de congelamiento y deshielo, se desmoldaron e introdujeron en una cámara de curado en el día y en la congeladora durante la noche, pasado los 7 días las probetas ya no se realizó

el curado, pero, se siguieron introduciendo a la congeladora en la noche hasta la realización de los ensayos.

Las muestras de concreto han sido extraídas de los moldes a 24 horas del vaciado, según la norma ASTM C 192 las muestras deben ser sumergidas en agua o en un ambiente con un 95% de humedad relativa y a una temperatura mínima de 23 ± 2 °C. Pero esta condición de la temperatura para efectos del presente trabajo, no se ha cumplido, se ha tomado la decisión que el agua usada en el proceso de curado sea la misma que viene de la red pública. En lo posible se ha tratado de mantener la temperatura del agua de curado a 13°C, ya que estas temperaturas son representativos de la realidad en la ciudad de Puno.



Figura 3.23: Probetas.



Figura 3.24: Colocado de las primeras muestras a la poza.

3.4. ENSAYOS DE PROPIEDADES DEL CONCRETO

En este apartado se describen los métodos de los ensayos realizados a las mezclas de concreto, los ensayos para determinar las propiedades se realizan en estado fresco, endurecido y de resistencia al congelamiento y deshielo; que suman en total de 144 probetas, esta cantidad se explica en la metodología (ver página 30).

3.4.1. ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO.

3.4.1.1. ENSAYOS DE ASENTAMIENTO

El ensayo se realizó una vez finalizada cada tandada de concreto, utilizando el cono de Abrams y equipos necesarios, según lo descrito en la Norma Técnica Peruana NTP 339.035, como se muestra en la figura.



Figura 3.25: Ensayo de asentamiento cono de Abrams.

3.4.2. ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO.

3.4.2.1. ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron según la norma del ASTM C39 y la NTP 339.034 (figura 3.26). Se utilizaron probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y de 300 mm de altura. Para cada tipo de concreto se ensayaron 6 probetas a 7, 28 y 56 días; ya sea para probetas sin y sometidos a congelamiento y deshielo.



Figura 3.26: Ensayo de resistencia a compresión.

3.4.2.2. ENSAYOS DE POROSIDAD

Para este ensayo se utilizaron la ecuación 2.16 (ver página 74). Ensayo con el que se quiso medir la afectación de los ciclos a nivel de la microestructura del concreto.

Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional del Altiplano, siguiendo el siguiente procedimiento: inicialmente se tomaron los pesos de cada muestra de concreto y a continuación se sometieron a un período de 24 horas de inmersión en el agua, una vez pasado el tiempo se registraban nuevamente los pesos de las mismas en dos condiciones, peso de la probeta sumergido (peso en el agua) y peso de la probeta saturada superficialmente seca.



Figura 3.27: Ensayo de porosidad.

3.4.2.3. ENSAYO DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

El ensayo del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo se realizó según la norma del ASTM C 666, pero, solamente se considerará la parte en donde el concreto es sometido a congelamiento y como realiza el deshielo, mas no se consideró el análisis al daño del concreto expresado por la reducción del módulo de elasticidad y cambios dimensionales de la muestra tras un determinado número de ciclos, en cambio, el daño del concreto se determinará por la resistencia a compresión y la porosidad del concreto, que son uno de los factores más importantes para determinar la durabilidad de la muestra.

El ensayo consiste en someter muestras de concreto al congelamiento simulando un ambiente artificial durante 12 horas en la noche en una congeladora calibrando el termostato de -8 a -15°C y el deshielo en un ambiente natural durante 12 horas en el día.

La resistencia a compresión del concreto se determinó a la edad de 7, 28 y 56 ciclos. La porosidad del concreto se determinó a la edad de 27, 43 y 55 ciclos.

Equipos y materiales:

- ❖ Congeladora 619 litros de capacidad
- ❖ Termostato calibrado a temperaturas desde -8 a -15°C



Figura 3.28: Calibración del termostato y probetas en la cámara climática.

3.5. ANÁLISIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.

3.5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para poder obtener conclusiones respecto a una población es necesario acudir a la estadística inferencial, que en función a los estadígrafos como son: la desviación estándar, la media, etc., se obtienen parámetros que nos permiten obtener las estadísticas de una población basadas en técnicas como son: la prueba de hipótesis y la estimación de parámetros.

La hipótesis a probar es la siguiente: La adición del nanosílice en el concreto convencional mejora en la durabilidad sometido a ciclos de congelamiento y deshielo

Para esta situación lo que se va a probar es: Si las características mecánicas del concreto mejoran con la adición del nanosílice, en distintas proporciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% con respecto al peso del cemento, frente a un concreto patrón.

Tabla 3.21: Resumen del análisis estadístico del concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 7 días.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm ²): 7 días | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------------------------|--------|---------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|
| | CP | 0.5NS | 1.0NS | 1.5NS | CP-SCD | 0.5NS-SCD | 1.0NS-SCD | 1.5NS-SCD |
| 1 | 174.36 | 193.03 | 234.11 | 307.42 | 138.15 | 180.53 | 228.02 | 290.20 |
| 2 | 166.21 | 199.18 | 241.67 | 295.76 | 139.98 | 189.25 | 235.55 | 302.74 |
| 3 | 165.66 | 194.94 | 239.95 | 292.46 | 133.89 | 178.37 | 212.73 | 309.67 |
| 4 | 169.85 | 205.65 | 228.89 | 313.91 | 128.83 | 172.62 | 213.15 | 280.05 |
| 5 | 162.40 | 180.37 | 224.07 | 297.88 | 128.81 | 179.39 | 234.39 | 316.26 |
| 6 | 161.73 | 184.24 | 252.83 | 284.94 | 122.29 | 180.73 | 215.47 | 303.01 |
| n _i | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| u | 167.56 | 192.20 | 237.40 | 298.44 | 132.90 | 181.82 | 224.47 | 301.93 |
| σ ² | 18.38 | 75.61 | 96.00 | 98.42 | 36.02 | 31.74 | 94.21 | 112.21 |
| u _{cp-uns} | | -24.64 | -69.84 | -130.88 | | -48.91 | -91.56 | -169.03 |
| Z ₀ | | -6.224 | -15.996 | -29.665 | | -14.556 | -19.654 | -34.007 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.22: Resumen del análisis estadístico del concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 28 días.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm ²): 28 días | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|
| | CP | 0.5NS | 1.0NS | 1.5NS | CP-SCD | 0.5NS-SCD | 1.0NS-SCD | 1.5NS-SCD |
| 1 | 237.50 | 301.96 | 459.45 | 496.55 | 178.34 | 276.26 | 417.45 | 451.07 |
| 2 | 244.81 | 318.53 | 417.07 | 486.50 | 175.28 | 288.19 | 413.23 | 494.31 |
| 3 | 235.72 | 305.46 | 446.06 | 444.71 | 189.16 | 274.15 | 415.07 | 504.23 |
| 4 | 230.21 | 298.42 | 437.82 | 497.38 | 187.08 | 279.99 | 422.33 | 467.84 |
| 5 | 230.58 | 305.27 | 463.39 | 499.73 | 184.09 | 294.51 | 406.91 | 514.58 |
| 6 | 224.08 | 302.59 | 439.50 | 519.44 | 181.58 | 282.63 | 417.61 | 493.19 |
| n _i | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| u | 234.71 | 305.89 | 445.02 | 493.25 | 182.43 | 283.65 | 415.51 | 489.42 |
| σ ² | 37.00 | 59.58 | 249.61 | 475.90 | 22.82 | 48.73 | 20.34 | 595.25 |
| u _{cp-uns} | | -71.18 | -210.31 | -258.53 | | -101.22 | -233.08 | -306.99 |
| Z ₀ | | -17.741 | -30.428 | -27.962 | | -29.310 | -86.911 | -30.247 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23: Resumen del análisis estadístico del concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 56 días.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm2): 56 días | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------------------|---------|---------|---------|--------|-----------|-----------|-----------|
| | CP | 0.5NS | 1.0NS | 1.5NS | CP-SCD | 0.5NS-SCD | 1.0NS-SCD | 1.5NS-SCD |
| 1 | 269.00 | 328.63 | 487.08 | 526.52 | 203.52 | 294.15 | 427.25 | 514.86 |
| 2 | 275.48 | 323.01 | 483.81 | 487.19 | 198.89 | 300.34 | 439.85 | 510.83 |
| 3 | 269.92 | 335.34 | 482.83 | 518.52 | 212.78 | 296.02 | 473.21 | 525.96 |
| 4 | 263.15 | 321.13 | 492.63 | 551.11 | 212.87 | 310.52 | 465.55 | 504.56 |
| 5 | 264.64 | 323.50 | 486.83 | 519.11 | 204.34 | 296.27 | 448.20 | 501.65 |
| 6 | 265.77 | 325.88 | 492.51 | 497.28 | 202.06 | 291.10 | 457.81 | 515.55 |
| u | 267.68 | 326.46 | 487.78 | 516.86 | 206.04 | 297.40 | 450.72 | 512.98 |
| σ^2 | 21.96 | 30.40 | 13.85 | 475.26 | 28.90 | 67.07 | 245.76 | 69.36 |
| $u_{cp}-u_{ns}$ | | -58.78 | -220.10 | -249.17 | | -91.35 | -244.67 | -306.94 |
| Z_o | | -19.897 | -90.086 | -27.372 | | -22.842 | -36.163 | -75.847 |

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Se tiene en todos los casos dos poblaciones de interés; la primera de las muestras realizadas en el concreto patrón (u_1) y la segunda muestra son los concretos adicionados con 0.5, 1.0 y 1.5% de nanosílice (u_2), con medias y varianzas calculadas, para lo cual se tiene que analizar si la adición de nanosílice incrementa o no la resistencia a compresión de la muestra, por lo que se considera que si existe incremento entonces los valores de la media serán iguales.

Para lo cual se considera primero la hipótesis alternativa unilateral.

Hipótesis nula $H_0: u_1 = u_2$.

Hipótesis alternativa $H_a: u_1 < u_2$, se rechaza H_0 , si la muestra con adición aumenta la resistencia.

Para la construcción de la prueba se va a hacer uso del estadístico de prueba Z

$$Z_0 = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}} \dots \dots \dots (3: 13)$$

En resumen se seguirán los seis pasos planteados en el capítulo anterior que a continuación se presentan las pruebas de hipótesis.

Para un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ se tiene $z = 1.645$:

Tabla 3.24: Decisión de la hipótesis H_0 con el Z_0 para el concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 7 días.

| Descripción | Resistencia del concreto (kg/cm ²): 7 días | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------|------------------|------------------|------------------|
| | CP | 0.5NS | 1.0NS | 1.5NS | CP-SCD | 0.5NS-SCD | 1.0NS-SCD | 1.5NS-SCD |
| Z_0 | | -6.22 | -16.00 | -29.66 | | -14.556 | -19.654 | -34.007 |
| α | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| n_1+n_2-2 | | 10 | 10 | 10 | | 10 | 10 | 10 |
| Z_0 tabla | | 1.65 | 1.65 | 1.65 | | 1.65 | 1.65 | 1.65 |
| Decisión | | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.25: Decisión de la hipótesis H_0 con el Z_0 para el concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 28 días.

| Descripción | Resistencia del concreto (kg/cm ²): 28 días | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------|------------------|------------------|------------------|
| | CP | 0.5NS | 1.0NS | 1.5NS | CP-SCD | 0.5NS-SCD | 1.0NS-SCD | 1.5NS-SCD |
| Z_0 | | -17.74 | -30.43 | -27.96 | | -29.31 | -86.91 | -30.25 |
| α | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| n_1+n_2-2 | | 10 | 10 | 10 | | 10 | 10 | 10 |
| Z_0 tabla | | 1.65 | 1.65 | 1.65 | | 1.65 | 1.65 | 1.65 |
| Decisión | | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.26: Decisión de la hipótesis H_0 con el Z_0 para el concreto sin y sometido a ciclos de congelamiento y deshielo a la edad de 56 días.

| Descripción | Resistencia del concreto (kg/cm2): 56 días | | | | | | | |
|-------------|--------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------|------------------|------------------|------------------|
| | CP | 0.5NS | 1.0NS | 1.5NS | CP-SCD | 0.5NS-SCD | 1.0NS-SCD | 1.5NS-SCD |
| Z_0 | | -19.90 | -90.09 | -27.37 | | -22.84 | -36.16 | -75.85 |
| α | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| n_1+n_2-2 | | 10 | 10 | 10 | | 10 | 10 | 10 |
| Z_0 tabla | | 1.65 | 1.65 | 1.65 | | 1.65 | 1.65 | 1.65 |
| Decisión | | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 | se rechaza H_0 |

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. CORRELACIÓN.

3.5.4. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON.

El coeficiente de correlación de Pearson, se ajusta al tipo de información cuantitativa, esto con la finalidad de detectar y medir la asociación entre variables. Los valores del coeficiente de correlación oscilan entre ± 1 , y se explica de la siguiente manera:

- a) El valor de $r=+1$, indica una correlación positiva perfecta o correlación directa, cuando al aumentar ó disminuir el valor de la variable independiente, aumenta ó disminuye también el valor de la variable dependiente (pendiente positiva).
- b) El valor de $r=-1$, expresa una correlación inversa o relación negativa perfecta, cuando al aumentar ó disminuir el valor de la variable independiente, disminuye ó aumenta el valor de la variable dependiente (pendiente negativa).
- c) El valor $r=0$, indica ausencia absoluta de correlación, es decir las dos variables no están correlacionadas o relacionadas.

El coeficiente de correlación está definido por:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2] \cdot [\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n\bar{Y}^2]}} \dots \dots \dots (3.14)$$

Los rangos del coeficiente de correlación, se puede interpretar haciendo uso de las siguientes expresiones:

$r=0.2$ a $r=0.3$ coeficiente de correlación muy bajo.

$r=0.4$ a $r=0.5$ coeficiente de correlación bajo.

$r=0.6$ a $r=0.7$ coeficiente de correlación alto.

$r=0.8$ a $r=1.0$ coeficiente de correlación muy alto.

3.5.5. COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN.

El coeficiente de determinación R^2 , es el valor cuadrado del coeficiente r de Pearson y representa la proporción de la varianza explicada por una variable respecto a la varianza total, también se le conoce con el nombre de determinación porque se considera como medida del grado de influencia de una variable frente a la otra variable. El coeficiente de determinación mide la proporción de la variación que se explica por la variable independiente en el modelo de regresión, y está definido por:

$$R^2 = r^2 \dots \dots \dots (3.15)$$

Se presenta los resultados:

Tabla 3.27: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 0.5% de nanosílice.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm2) | | | | |
|--------------|-----------------------------------|--------|----------------|----------------|----------|
| | X | Y | X ² | X ² | XY |
| | 0.5NS | CP | | | |
| 1 | 193.03 | 174.36 | 37262.21 | 30402.49 | 33658.04 |
| 2 | 199.18 | 166.21 | 39673.53 | 27625.82 | 33106.10 |
| 3 | 194.94 | 165.66 | 38001.30 | 27443.17 | 32293.60 |
| 4 | 205.65 | 169.85 | 42291.42 | 28849.42 | 34929.68 |
| 5 | 180.37 | 162.40 | 32532.02 | 26373.89 | 29291.57 |
| 6 | 184.24 | 161.73 | 33944.85 | 26156.78 | 29797.45 |
| 7 | 301.96 | 237.50 | 91182.35 | 56407.22 | 71717.10 |
| 8 | 318.53 | 244.81 | 101459.81 | 59932.06 | 77978.81 |
| 9 | 305.46 | 235.72 | 93304.06 | 55563.71 | 72002.22 |
| 10 | 298.42 | 230.21 | 89057.07 | 52998.46 | 68701.44 |
| 11 | 305.27 | 230.58 | 93192.02 | 53168.31 | 70390.78 |
| 12 | 302.59 | 224.08 | 91562.01 | 50210.79 | 67804.14 |
| 13 | 328.63 | 269.00 | 108000.81 | 72359.32 | 88401.72 |
| 14 | 323.01 | 275.48 | 104337.96 | 75889.96 | 88984.29 |
| 15 | 335.34 | 269.92 | 112451.29 | 72854.99 | 90513.19 |
| 16 | 321.13 | 263.15 | 103123.26 | 69247.47 | 84504.59 |
| 17 | 323.50 | 264.64 | 104654.39 | 70034.78 | 85612.19 |
| 18 | 325.88 | 265.77 | 106195.53 | 70634.70 | 86608.83 |

| | | | | | |
|----------------|----------|---------|------------|-----------|------------|
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 4947.15 | 4011.08 | 1422225.89 | 926153.34 | 1146295.74 |
| Promedio | 274.84 | 222.84 | | | |
| varianza | 3679.15 | 1902.01 | | | |
| σ | 60.66 | 43.61 | | | |
| r | 0.975870 | | | | |
| r ² | 0.952322 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto adicionado con 0.5% de nanosílice.

Del valor R² se puede interpretar que el 95.23% de la variación de la resistencia del concreto convencional está explicado por las variables del concreto adicionado con 0.5% de nanosílice y el 4.77% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

Tabla 3.28: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.0% de nanosílice.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm ²) | | | | |
|--------------|------------------------------------------------|---------|----------------|----------------|-----------|
| | X 1.0NS | Y CP | X ² | Y ² | XY |
| 1 | 234.11 | 174.36 | 54806.82 | 30402.49 | 40819.89 |
| 2 | 241.67 | 166.21 | 58406.41 | 27625.82 | 40168.71 |
| 3 | 239.95 | 165.66 | 57577.47 | 27443.17 | 39750.58 |
| 4 | 228.89 | 169.85 | 52389.63 | 28849.42 | 38876.86 |
| 5 | 224.07 | 162.40 | 50207.94 | 26373.89 | 36389.27 |
| 6 | 252.83 | 161.73 | 63922.23 | 26156.78 | 40890.09 |
| 7 | 459.45 | 237.50 | 211091.54 | 56407.22 | 109119.59 |
| 8 | 417.07 | 244.81 | 173945.22 | 59932.06 | 102102.37 |
| 9 | 446.06 | 235.72 | 198965.87 | 55563.71 | 105144.10 |
| 10 | 437.82 | 230.21 | 191687.16 | 52998.46 | 100792.48 |
| 11 | 463.39 | 230.58 | 214733.33 | 53168.31 | 106850.40 |
| 12 | 439.50 | 224.08 | 193162.93 | 50210.79 | 98482.81 |
| 13 | 487.08 | 269.00 | 237249.24 | 72359.32 | 131023.64 |
| 14 | 483.81 | 275.48 | 234075.54 | 75889.96 | 133281.60 |
| 15 | 482.83 | 269.92 | 233123.43 | 72854.99 | 130323.46 |
| 16 | 492.63 | 263.15 | 242679.64 | 69247.47 | 129633.92 |
| 17 | 486.83 | 264.64 | 237005.63 | 70034.78 | 128835.70 |
| 18 | 492.51 | 265.77 | 242570.36 | 70634.70 | 130896.46 |

| | | | | | |
|----------------|----------|---------|------------|-----------|------------|
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 7010.51 | 4011.08 | 2947600.39 | 926153.34 | 1643381.94 |
| Promedio | 389.47 | 222.84 | | | |
| varianza | 12776.46 | 1902.01 | | | |
| σ | 113.03 | 43.61 | | | |
| r | 0.968662 | | | | |
| r ² | 0.938306 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto adicionado con 1.0% de nanosílice.

Del valor R² se puede interpretar que el 93.83% de la variación de la resistencia del concreto convencional está explicado por las variables del concreto adicionado con 1.0% de nanosílice y el 6.17% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

Tabla 3.29: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.5% de nanosílice.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm2) | | | | |
|--------------|-----------------------------------|--------|----------------|----------------|-----------|
| | X | Y | X ² | Y ² | XY |
| | 1.5NS | CP | | | |
| 1 | 307.42 | 174.36 | 94504.14 | 30402.49 | 53601.87 |
| 2 | 295.76 | 166.21 | 87474.96 | 27625.82 | 49158.60 |
| 3 | 292.46 | 165.66 | 85531.23 | 27443.17 | 48448.41 |
| 4 | 313.91 | 169.85 | 98540.48 | 28849.42 | 53318.25 |
| 5 | 297.88 | 162.40 | 88729.86 | 26373.89 | 48375.11 |
| 6 | 284.94 | 161.73 | 81192.66 | 26156.78 | 46084.04 |
| 7 | 496.55 | 237.50 | 246558.38 | 56407.22 | 117930.79 |
| 8 | 486.50 | 244.81 | 236682.89 | 59932.06 | 119100.35 |
| 9 | 444.71 | 235.72 | 197768.71 | 55563.71 | 104827.30 |
| 10 | 497.38 | 230.21 | 247384.98 | 52998.46 | 114503.38 |
| 11 | 499.73 | 230.58 | 249732.88 | 53168.31 | 115229.66 |
| 12 | 519.44 | 224.08 | 269819.68 | 50210.79 | 116395.27 |
| 13 | 526.52 | 269.00 | 277218.11 | 72359.32 | 141630.91 |
| 14 | 487.19 | 275.48 | 237352.78 | 75889.96 | 134211.38 |
| 15 | 518.52 | 269.92 | 268861.45 | 72854.99 | 139956.77 |
| 16 | 551.11 | 263.15 | 303726.38 | 69247.47 | 145025.12 |
| 17 | 519.11 | 264.64 | 269476.33 | 70034.78 | 137378.01 |
| 18 | 497.28 | 265.77 | 247291.49 | 70634.70 | 132164.14 |

| | | | | | |
|----------------|----------|---------|------------|-----------|------------|
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 7836.41 | 4011.08 | 3587847.40 | 926153.34 | 1817339.35 |
| Promedio | 435.36 | 222.84 | | | |
| varianza | 10365.92 | 1902.01 | | | |
| σ | 101.81 | 43.61 | | | |
| r | 0.941815 | | | | |
| r ² | 0.887016 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto adicionado con 1.5% de nanosílice.

Del valor R² se puede interpretar que el 88.70% de la variación de la resistencia del concreto convencional está explicado por las variables del concreto adicionado con 1.5% de nanosílice y el 11.30% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

Tabla 3.30: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm ²) | | | | |
|----------------|------------------------------------------------|---------|----------------|----------------|-----------|
| | X | Y | X ² | Y ² | XY |
| | CP | CP-SCD | | | |
| 1 | 174.36 | 138.15 | 30402.49 | 19084.93 | 24087.95 |
| 2 | 166.21 | 139.98 | 27625.82 | 19593.23 | 23265.40 |
| 3 | 165.66 | 133.89 | 27443.17 | 17927.21 | 22180.61 |
| 4 | 169.85 | 128.83 | 28849.42 | 16597.45 | 21882.11 |
| 5 | 162.40 | 128.81 | 26373.89 | 16591.46 | 20918.44 |
| 6 | 161.73 | 122.29 | 26156.78 | 14954.04 | 19777.50 |
| 7 | 237.50 | 178.34 | 56407.22 | 31805.09 | 42356.07 |
| 8 | 244.81 | 175.28 | 59932.06 | 30723.48 | 42910.62 |
| 9 | 235.72 | 189.16 | 55563.71 | 35782.78 | 44589.51 |
| 10 | 230.21 | 187.08 | 52998.46 | 34999.26 | 43068.63 |
| 11 | 230.58 | 184.09 | 53168.31 | 33887.51 | 42446.93 |
| 12 | 224.08 | 181.58 | 50210.79 | 32972.06 | 40688.49 |
| 13 | 269.00 | 203.52 | 72359.32 | 41422.07 | 54747.36 |
| 14 | 275.48 | 198.89 | 75889.96 | 39559.07 | 54791.75 |
| 15 | 269.92 | 212.78 | 72854.99 | 45273.44 | 57431.66 |
| 16 | 263.15 | 212.87 | 69247.47 | 45311.99 | 56015.54 |
| 17 | 264.64 | 204.34 | 70034.78 | 41755.52 | 54077.16 |
| 18 | 265.77 | 202.06 | 70634.70 | 40828.63 | 53702.12 |
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 4011.08 | 3121.94 | 926153.34 | 559069.21 | 718937.85 |
| Promedio | 222.84 | 173.44 | | | |
| σ | 43.61 | 32.17 | | | |
| r | 0.974805 | | | | |
| r ² | 0.950244 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto convencional y el concreto convencional sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

Del valor R² se puede interpretar que el 95.02% de la variación de la resistencia del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo está explicado por las variables del concreto convencional y el 4.98% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

Tabla 3.31: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 0.5% de nanosílice sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm2) | | | | |
|--------------|-----------------------------------|------------|-----------|----------|----------|
| | X | Y | X2 | Y2 | XY |
| | 0.5.0NS | 0.5NS- SCD | | | |
| 1 | 193.03 | 180.53 | 37262.21 | 32592.72 | 34849.34 |
| 2 | 199.18 | 189.25 | 39673.53 | 35813.95 | 37694.38 |
| 3 | 194.94 | 178.37 | 38001.30 | 31815.66 | 34771.20 |
| 4 | 205.65 | 172.62 | 42291.42 | 29796.77 | 35498.56 |
| 5 | 180.37 | 179.39 | 32532.02 | 32179.81 | 32355.44 |
| 6 | 184.24 | 180.73 | 33944.85 | 32664.04 | 33298.28 |
| 7 | 301.96 | 276.26 | 91182.35 | 76320.16 | 83420.93 |
| 8 | 318.53 | 288.19 | 101459.81 | 83054.04 | 91796.77 |
| 9 | 305.46 | 274.15 | 93304.06 | 75156.88 | 83740.33 |
| 10 | 298.42 | 279.99 | 89057.07 | 78394.37 | 83555.81 |
| 11 | 305.27 | 294.51 | 93192.02 | 86733.23 | 89904.64 |
| 12 | 302.59 | 282.63 | 91562.01 | 79882.40 | 85523.05 |
| 13 | 328.63 | 294.15 | 108000.81 | 86522.32 | 96666.86 |
| 14 | 323.01 | 300.34 | 104337.96 | 90206.30 | 97015.16 |
| 15 | 335.34 | 296.02 | 112451.29 | 87627.50 | 99266.44 |
| 16 | 321.13 | 310.52 | 103123.26 | 96422.76 | 99716.74 |
| 17 | 323.50 | 296.27 | 104654.39 | 87774.08 | 95843.32 |
| 18 | 325.88 | 291.10 | 106195.53 | 84737.60 | 94861.77 |

| | | | | | |
|----------|----------|---------|------------|------------|------------|
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 4947.15 | 4565.01 | 1422225.89 | 1207694.59 | 1309779.02 |
| Promedio | 274.84 | 253.61 | | | |
| σ | 60.66 | 54.21 | | | |
| r | 0.986198 | | | | |
| r2 | 0.972586 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto con 0.5% de nanosílice y el concreto 0.5% de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

Del valor R² se puede interpretar que el 97.26% de la variación de la resistencia del concreto con 0.5% de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo está explicado por las variables del concreto con 0.5% de nanosílice y el 2.74% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

Tabla 3.32: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.0% de nanosílice sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm2) | | | | |
|----------------|-----------------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| | X | Y | X2 | Y2 | XY |
| | 1.0NS | 1.0NS-SCD | | | |
| 1 | 234.11 | 228.02 | 54806.82 | 51991.36 | 53380.53 |
| 2 | 241.67 | 235.55 | 58406.41 | 55483.24 | 56926.06 |
| 3 | 239.95 | 212.73 | 57577.47 | 45256.05 | 51046.34 |
| 4 | 228.89 | 213.15 | 52389.63 | 45430.99 | 48786.40 |
| 5 | 224.07 | 234.39 | 50207.94 | 54937.95 | 52519.72 |
| 6 | 252.83 | 215.47 | 63922.23 | 46426.32 | 54476.36 |
| 7 | 459.45 | 417.45 | 211091.54 | 174265.30 | 191796.59 |
| 8 | 417.07 | 413.23 | 173945.22 | 170761.75 | 172346.13 |
| 9 | 446.06 | 415.07 | 198965.87 | 172280.55 | 185143.05 |
| 10 | 437.82 | 422.33 | 191687.16 | 178360.47 | 184903.79 |
| 11 | 463.39 | 406.91 | 214733.33 | 165579.51 | 188561.50 |
| 12 | 439.50 | 417.61 | 193162.93 | 174398.35 | 183540.99 |
| 13 | 487.08 | 427.25 | 237249.24 | 182542.99 | 208106.19 |
| 14 | 483.81 | 439.85 | 234075.54 | 193467.88 | 212805.31 |
| 15 | 482.83 | 473.21 | 233123.43 | 223925.35 | 228478.11 |
| 16 | 492.63 | 465.55 | 242679.64 | 216733.69 | 229340.04 |
| 17 | 486.83 | 448.20 | 237005.63 | 200884.02 | 218198.63 |
| 18 | 492.51 | 457.81 | 242570.36 | 209585.99 | 225475.83 |
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 7010.51 | 6543.77 | 2947600.39 | 2562311.77 | 2745831.59 |
| Promedio | 389.47 | 363.54 | | | |
| σ | 113.03 | 103.86 | | | |
| r | 0.988186 | | | | |
| r ² | 0.976511 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto con 1.0% de nanosílice y el concreto 1.0% de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

Del valor R² se puede interpretar que el 97.65% de la variación de la resistencia del concreto con 1.0% de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo está explicado por las variables del concreto con 1.0% de nanosílice y el 2.35% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

Tabla 3.33: Coeficiente de correlación y determinación del concreto convencional y concreto con 1.5% de nanosílice sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

| N° de ensayo | Resistencia del concreto (kg/cm2) | | | | |
|--------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | X | Y | X2 | Y2 | XY |
| | 1.5NS | 1.5NS-SCD | | | |
| 1 | 307.42 | 290.20 | 94504.14 | 84213.27 | 89210.44 |
| 2 | 295.76 | 302.74 | 87474.96 | 91653.16 | 89539.70 |
| 3 | 292.46 | 309.67 | 85531.23 | 95896.87 | 90565.87 |
| 4 | 313.91 | 280.05 | 98540.48 | 78426.61 | 87910.16 |
| 5 | 297.88 | 316.26 | 88729.86 | 100021.98 | 94206.88 |
| 6 | 284.94 | 303.01 | 81192.66 | 91815.72 | 86340.97 |
| 7 | 496.55 | 451.07 | 246558.38 | 203462.13 | 223976.10 |
| 8 | 486.50 | 494.31 | 236682.89 | 244346.79 | 240484.31 |
| 9 | 444.71 | 504.23 | 197768.71 | 254247.73 | 224237.03 |
| 10 | 497.38 | 467.84 | 247384.98 | 218876.57 | 232694.60 |
| 11 | 499.73 | 514.58 | 249732.88 | 264789.38 | 257150.96 |
| 12 | 519.44 | 493.19 | 269819.68 | 243232.24 | 256181.28 |
| 13 | 526.52 | 514.86 | 277218.11 | 265081.47 | 271081.88 |
| 14 | 487.19 | 510.83 | 237352.78 | 260942.42 | 248868.26 |
| 15 | 518.52 | 525.96 | 268861.45 | 276633.46 | 272719.77 |
| 16 | 551.11 | 504.56 | 303726.38 | 254584.27 | 278071.86 |
| 17 | 519.11 | 501.65 | 269476.33 | 251649.24 | 260410.28 |
| 18 | 497.28 | 515.55 | 247291.49 | 265787.46 | 256372.73 |

| | | | | | |
|----------------|----------|---------|------------|------------|------------|
| n= | 18.00 | | | | |
| Σ | 7836.41 | 7800.55 | 3587847.40 | 3545660.80 | 3560023.07 |
| Promedio | 435.36 | 433.36 | | | |
| σ | 101.81 | 98.57 | | | |
| r | 0.961280 | | | | |
| r ² | 0.924060 | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

El valor r indica que tiene una correlación positiva muy alto, es decir, existe una directa asociación entre variables de la resistencia del concreto con 1.5% de nanosílice y el concreto 1.5% de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

Del valor R² se puede interpretar que el 92.41% de la variación de la resistencia del concreto con 1.5% de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo está explicado por las variables del concreto con 1.5% de nanosílice y el 7.59% está explicado por otros factores ajeno al modelo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETOS EN ESTADO FRESCO

4.1.1. ASENTAMIENTO

La tabla 4.1 muestra los resultados de los ensayos de asentamiento según la ASTM C 143, manteniendo siempre entre 6-7” de slump, mediante este ensayo se logra apreciar una clara influencia del nanosílice en la mezcla de concreto, en razón de que disminuye la cantidad de agua hasta en un 36%.

Los resultados de los ensayos se muestran en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Medida de asentamientos tomados en un mismo día.

| Nanosílice | Slump (pulgadas) | Cantidad de agua por m ³ | % |
|------------|---------------------|----------------------------------------|--------|
| 0% | 6-7 | 225.44 lt | 100.00 |
| 0.5% | 6-7 | 206.68 lt | 91.68 |
| 1.0% | 6-7 | 106.15 lt | 71.04 |
| 1.5% | 6-7 | 144.28 lt | 64.00 |

Fuente: Elaboración propia.

4.2.RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

4.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La tabla 4.2 y figura 4.1 se presentan los resultados promedios de la resistencia a compresión a 7, 28 y 56 días de edad.

Tabla 4.2: Resistencia promedio a la compresión del concreto

| Edad de ensayo, sin someter a congelamiento y deshielo | CP (Kg/cm ²) | 0.5NS (Kg/cm ²) | 1.0NS (Kg/cm ²) | 1.5NS (Kg/cm ²) |
|--------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 7 días | 166.70 | 192.90 | 236.92 | 298.73 |
| 28 días | 233.82 | 305.37 | 443.88 | 490.72 |
| 56 días | 267.99 | 326.25 | 487.62 | 516.62 |

Fuente: Elaboración propia. (Anexo B)

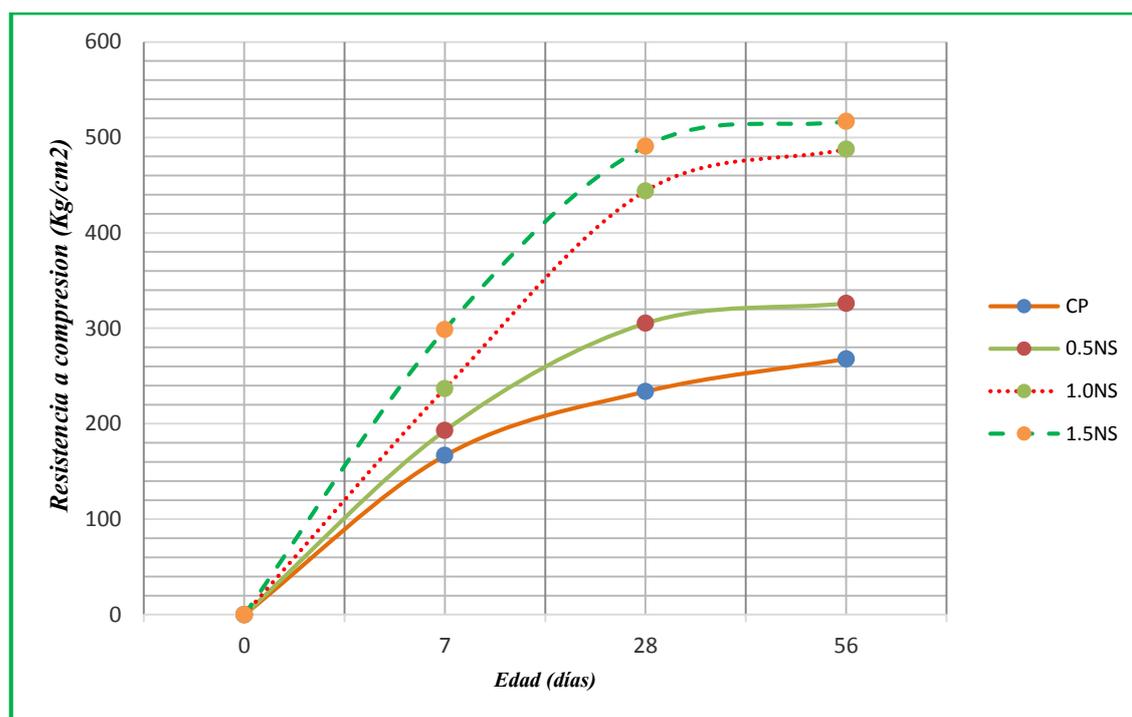


Figura 4.1: Resistencia a Compresión obtenidos para diferentes nanosílice.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

La tabla 4.3 y figura 4.2 se presenta los resultados promedios de la resistencia a compresión a 7, 28 y 56 días de edad sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

Tabla 4.3: Resistencia promedio a la compresión del concreto – SCD.

| Edad de ensayo, sometido a congelamiento y deshielo | CP (Kg/cm ²) | 0.5NS (Kg/cm ²) | 1.0NS (Kg/cm ²) | 1.5NS (Kg/cm ²) |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 7 días | 131.99 | 180.15 | 223.22 | 300.32 |
| 28 días | 182.59 | 282.62 | 415.43 | 487.54 |
| 56 días | 205.74 | 298.07 | 451.98 | 512.23 |

Fuente: Elaboración propia. (Anexo B)

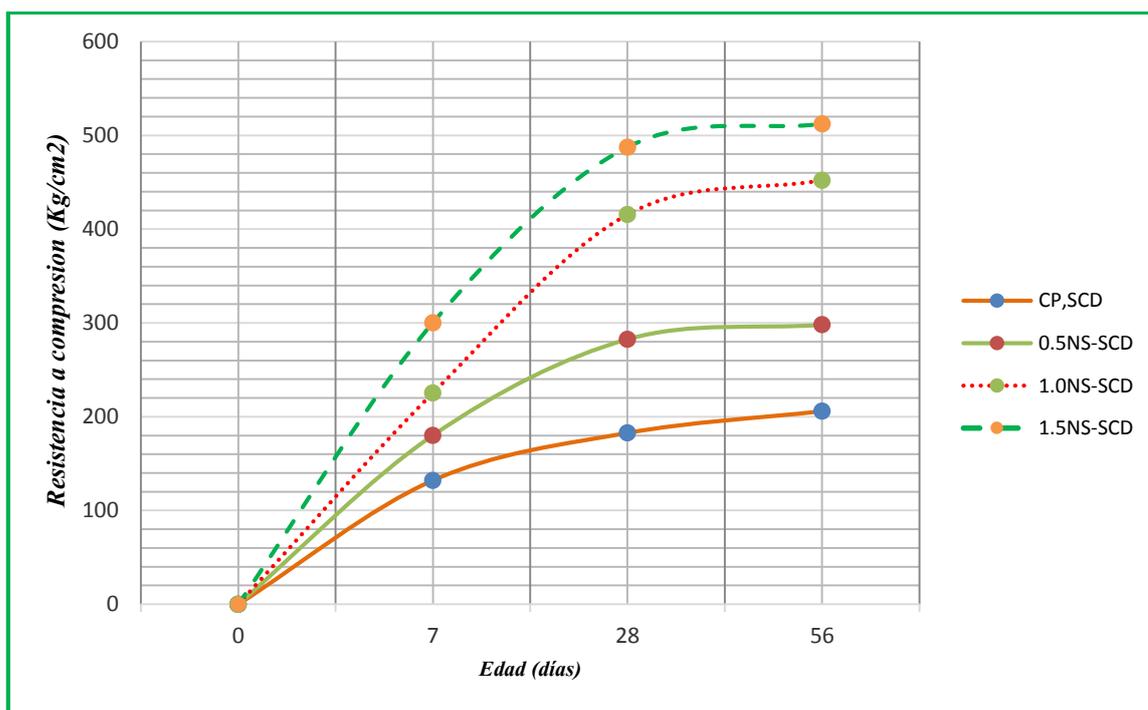


Figura 4.2: Resistencia a compresión obtenidos para diferentes porcentajes de nanosílice.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. ENSAYO DE POROSIDAD DE CONCRETOS SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO.

La tabla 4.4 presenta los resultados promedios de la porosidad del concreto a 27, 43 y 55 días de edad sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo.

Tabla 4.4: Porosidad del concreto – SCD.

| Porosidad abierta promedio (%) | | | |
|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | 27 Días | 43 Días | 55 Días |
| CP-SCD | 3.157 | 5.696 | 6.227 |
| 0.5NS-SCD | 1.570 | 2.591 | 2.905 |
| 1.0NS-SCD | 1.138 | 1.737 | 1.845 |
| 1.5NS-SCD | 1.395 | 1.933 | 2.004 |

Fuente: Elaboración propia.

4.3.DISCUSIÓN DE MATERIALES EMPLEADOS PARA LA FABRICACIÓN DEL CONCRETO

Para la presentación de la investigación se realizaron ensayos a los siguientes materiales usados:

- ❖ Cemento Portland Rumi Tipo IP.
- ❖ Los agregados son de la cantera Viluyo; en la gráfica de la curva granulométrica de agregados finos (ver Anexo A-2) se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por la norma NTP 400.012. y en la gráfica de la curva granulométrica de agregados gruesos (ver Anexo A-3) se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por el Huso 57, determinado por la Norma NTP 400.037.
- ❖ Aditivo nanosílice Aqua 206, cumple con los estándares de control de calidad y de seguridad.
- ❖ Agua potable de la red de suministro de la ciudad universitaria, al ser potable el agua es apto para la elaboración del concreto según la norma NTP 339.088

Se ensayaron los agregados finos y gruesos para poder hallar sus propiedades físicas.

Para el concreto patrón, la dosificación de cemento, agua, agregado fino y grueso se hallaron de acuerdo a las tablas indicadas en el método de diseño de mezclas del ACI 211.1., y para concretos con adiciones de nanosílice se utilizó el mismo diseño anterior descrito con la única diferencia que la adición de los porcentajes de nanosílice son con respecto al peso del cemento, considerando el mismo slump para todas las muestras.

Las condiciones de curado fueron a la temperatura aproximada de 13°C.

4.4.DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

4.4.1. ASENTAMIENTO

De acuerdo con los resultados en la tabla 4.1, al mantener el asentamiento de 6-7 pulgadas de todo los concretos elaborados. Se observa que a medida que se aumenta la adición de nanosílice, disminuye la cantidad de agua en el concreto fresco.

El concreto con adición de 1.5 % de nanosílice, presentó la disminución del agua hasta un 36%, pero, a la hora de realizar el ensayo la mezcla mostró una resistencia al traslado y a la dificultad del varillado de 25 golpes en las tres capas de mezcla, esta dificultad también se mostró a la hora de preparar las probetas al momento del varillado de 25 golpes de las 3 capas iguales; mientras que los demás concretos no presentaron ninguna dificultad descritos anteriormente.

En la figura 4.3 se presenta la variación en porcentajes de agua de cada concreto.

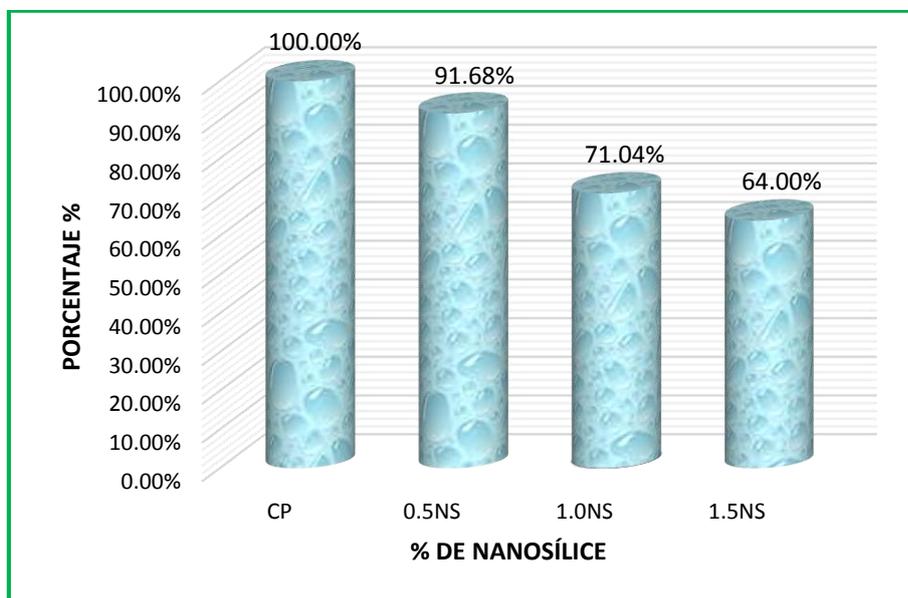


Figura 4.3: Variación de la cantidad de agua en la mezcla del concreto.
Fuente: Elaboración propia.

4.5.DISCUSIÓN DE ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

4.5.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

De acuerdo a los resultados en la tabla 4.2 obtenemos la siguiente tabla 4.5.

Tabla 4.5: Resistencia a la compresión promedio obtenido.

| Concreto con: | | Resistencia a compresión (210 kg/cm ²) | | | | | |
|---------------------|--------------------|----------------------------------------------------|--------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| Concreto | Aditivo nanosílice | 7 días | | 28 días | | 56 días | |
| | | kg/cm ² | % | kg/cm ² | % | kg/cm ² | % |
| Resistencia teórica | | 140.70 | 67.00 | 210.60 | 100.00 | 228.70 | 110.00 |
| CP | 0% | 166.70 | 79.38 | 233.82 | 111.34 | 267.99 | 127.62 |
| 0.5NS | 0.5% | 192.90 | 91.86 | 305.37 | 145.42 | 326.25 | 155.36 |
| 1.0NS | 1.0% | 236.92 | 112.82 | 443.88 | 211.37 | 487.62 | 232.20 |
| 1.5NS | 1.5% | 298.73 | 142.25 | 490.72 | 233.68 | 516.62 | 246.01 |

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis del concreto de la tabla 4.5 se tiene:

El concreto patrón tiene una resistencia a la compresión de 233.82 kg/cm² con un incremento de 11.34% a la edad de 28 días y de 267.99 kg/cm² a la edad de 56 días con un incremento adicional de 16.28% con respecto a la anterior, con lo que se comprueba el funcionamiento correcto del diseño de mezclas por el método ACI.

El concreto con adición del 0.5% de nanosílice, tiene una resistencia a la compresión de 305.37 kg/cm² con un incremento de 45.42% a la edad de 28 días y de 326.25 kg/cm² con un incremento adicional de 9.94% a la edad de 56 días con respecto a la anterior.

El concreto con adición del 1.0% de nanosílice, tiene una resistencia a la compresión de 443.88 kg/cm² con un incremento de 111.37% a la edad de 28 días y de 487.62 kg/cm² con un incremento adicional de 20.83% a la edad de 56 días con respecto a la anterior.

El concretos con adición del 1.5% de nanosílice, tiene una resistencia a la compresión de 490.72 kg/cm² con un incremento de 133.68% a la edad de 28 días y de 516.62 kg/cm² con un incremento adicional de 12.33% a la edad de 56 días con respecto a la anterior.

La resistencia del concreto con 1.0 y 1.5% de nanosílice, supera la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a la edad de 7 días obteniendo valores de 236.92 kg/cm² con un incremento de 12% y 298.73 kg/cm² con un incremento de 42.25% respectivamente.

A la luz de los resultados obtenidos, se puede observar que la adición de nanosílice con respecto al peso del cemento, ha mejorado las propiedades mecánicas del concreto, ya que la resistencia a compresión aumentaron considerablemente, en la siguiente figura 4.4. se presenta la evolución de la resistencia a compresión.

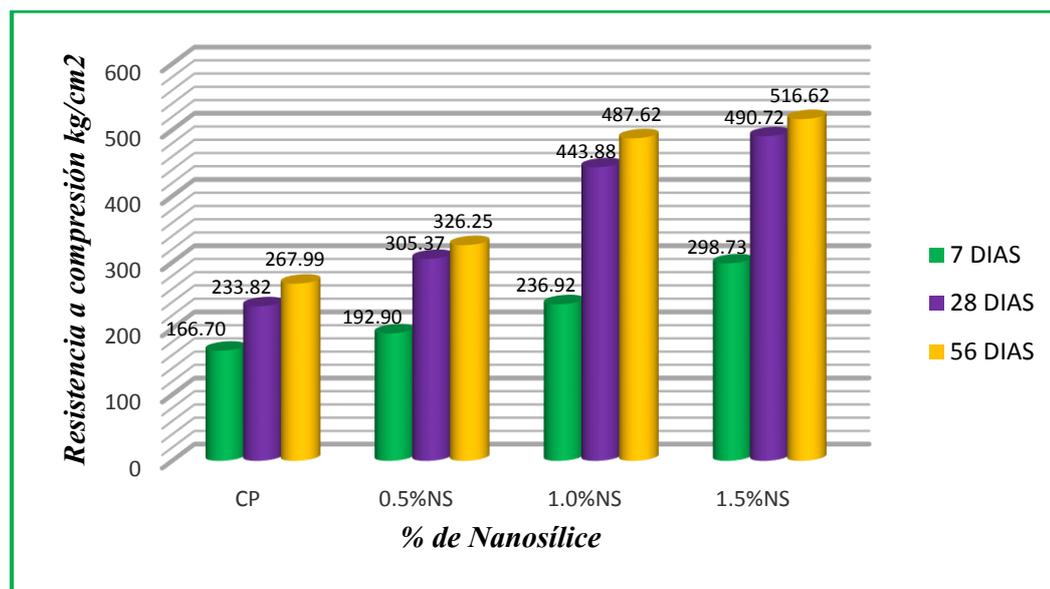


Figura 4.4: Evolución de la Resistencia a Compresión para diferentes porcentajes de nanosílice.
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver la adición de nanosílice específicamente el de 1.0 y 1.5% a los 7 días llega a la resistencia de diseño.

4.5.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 4.2 y 4.3, se realiza un análisis que se muestran en las siguientes figuras.

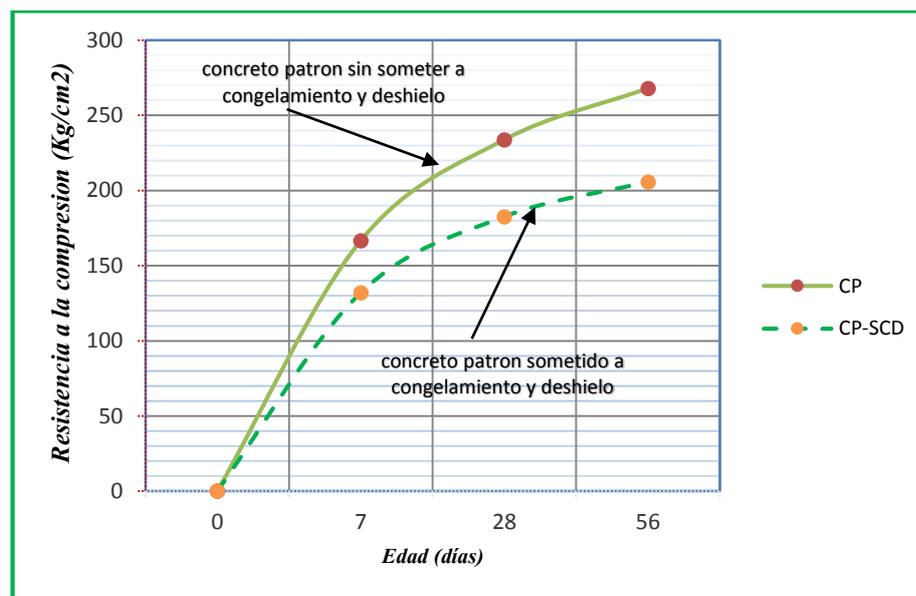


Figura 4.5: Comparación del concreto patrón sometido y sin someter a congelamiento y deshielo.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura se tiene que el concreto patrón sometido a ciclos de congelamiento y deshielo disminuyeron en un 20.9, 21.9 y 23.2% a la edad de 7, 28 y 56 ciclos con respecto al concreto que no han sido sometido al congelamiento y deshielo.

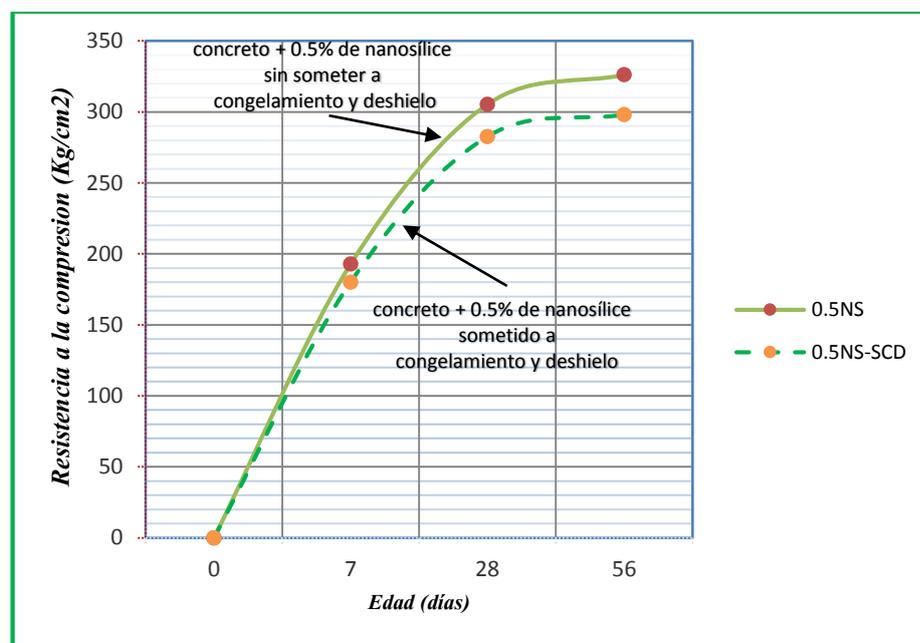


Figura 4.6: Comparación del concreto con 0.5% de nanosílice sometido y sin someter a congelamiento y deshielo.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura se tiene que el concreto con 0.5 de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo disminuyeron en un 6.6, 7.4 y 8.6% a la edad de 7, 28 y 56 ciclos, con respecto al concreto con 0.5% de nanosílice que no han sido sometido al congelamiento y deshielo.

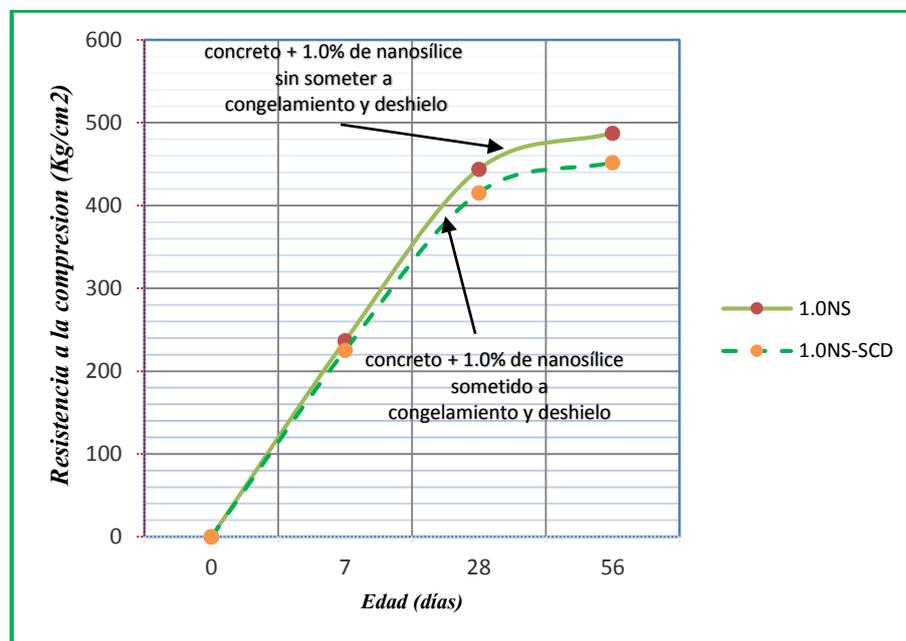


Figura 4.7: Comparación del concreto con 1.0% de nanosílice sometido y sin someter a congelamiento y deshielo.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura se tiene que el concreto con 1.0 de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo disminuyeron en un 5.8, 6.4 y 7.3% a la edad de 7, 28 y 56 ciclos, con respecto al concreto con 1.0% de nanosílice que no han sido sometido al congelamiento y deshielo.

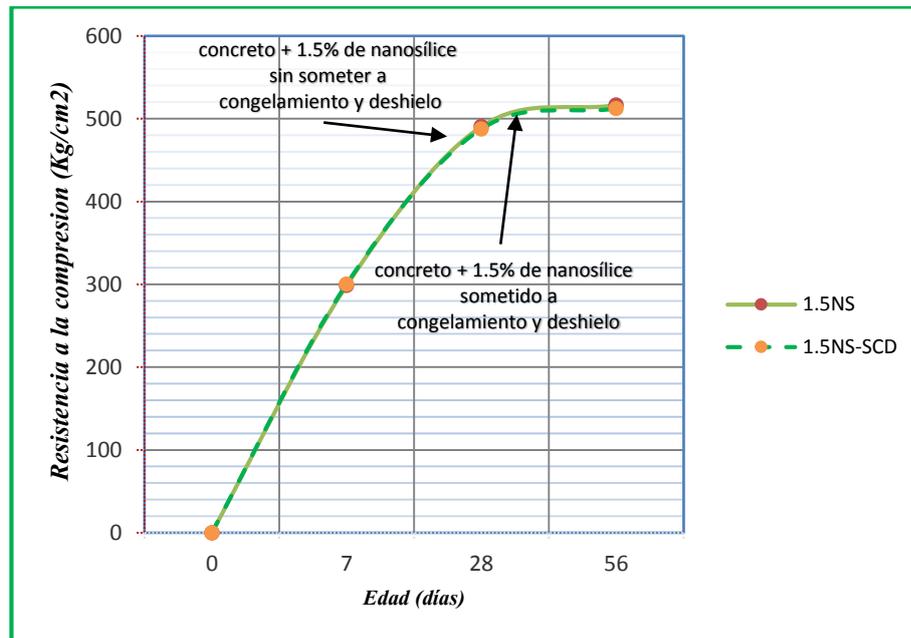


Figura 4.8: Comparación del concreto con 1.5% de nanosílice sometido y sin someter a congelamiento y deshielo.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura se tiene que el concreto con 1.5 de nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo disminuyeron en un 0.5, 0.6 y 0.8% a la edad de 7, 28 y 56 ciclos, con respecto al concreto con 1.5% de nanosílice que no han sido sometidos al congelamiento y deshielo.

4.5.3. POROSIDAD DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO

De la tabla 4.4 se deduce que a medida que se incrementa la porosidad disminuye la resistencia a compresión del concreto, excepto en el concreto con adición de 1.5% de nanosílice, porque su porosidad es más alta que el concreto con 1.0% de nanosílice, lo más lógico es que su resistencia a compresión sea menos que del concreto con 1.0% de nanosílice, pero, sucede todo lo contrario; la posible explicación es la dificultad que se da en el varillado de 25 golpes al momento de preparar la mezcla en las probetas.

4.6. ANÁLISIS DE COSTO

En este apartado se analiza el costo de producción de los cuatro tipos de dosificaciones de concretos patrón y concretos con diferentes porcentajes de nanosílice, además se presenta el concreto de 280, 420 y 490 kg/cm² y se realiza la comparación con los concretos de 0.5, 1.0 y 1.5% de nanosílice, donde se realizará sólo con los materiales que intervienen en la mezcla para 1 m³ de concreto, además se tuvo en cuenta la procedencia del nanosílice.

1.- El costo de transporte del nanosílice desde la central de Villa el Salvador-Lima hasta la ciudad de Puno (anexo G) es de: 110 soles para 220 kg, entonces el costo por kilo de transporte es: $\frac{110}{220} = 0.5 \text{ soles/kg}$

2.- El costo del nanosílice en el distrito de Villa el Salvador- Lima es: 2.06 dólares por kg + I.G.V. (anexo G) y considerando el tipo de cambio de: 1 dólar = 3.32 soles, el costo para un kg de nanosílice es: $2.06 \times 3.32 + 2.06 \times 0.18 \times 3.32 = 8.07 \text{ soles/kg}$.

3.- Finalmente el costo por litro de nanosílice puesto en la ciudad de Puno es:
 $0.5 + 8.07 = 8.57 \text{ soles/kg}$.

De los resultados de la tabla 3.20 (ver página 137), se presenta el valor de cada una de las dosificaciones obtenidas en las siguientes tablas:

Tabla 4. 6: Costo del concreto patrón.

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 360.70 Kg/m ³ | 8.49 bls | 21.50 | 182.54 |
| Nanosílice 0% | 0 Lt/m ³ | 0 lt | --- | --- |
| Agregado fino | 587.44 Kg/m ³ | 0.24 m ³ | 57.50 | 13.80 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 225.44 Lt/m ³ | 0.23 m ³ | 5.42 | 1.25 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 219.95 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 7: Costo del concreto patrón + 0.5% de nanosílice.

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 360.70 Kg/m ³ | 8.49 bls | 21.50 | 182.54 |
| Nanosílice 0.5% | 1.804 Lt/m ³ | 1.65 kg | 8.57 | 14.14 |
| Agregado fino | 587.44 Kg/m ³ | 0.24 m ³ | 57.50 | 13.80 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 206.68 Lt/m ³ | 0.21 m ³ | 5.42 | 1.14 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 233.98 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 8: Costo del concreto patrón + 1.0% de nanosílice.

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 360.70 Kg/m ³ | 8.49 bls | 21.50 | 182.54 |
| Nanosílice 1.0% | 3.607 Lt/m ³ | 3.29 kg | 8.57 | 28.20 |
| Agregado fino | 587.44 Kg/m ³ | 0.24 m ³ | 57.50 | 13.80 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 160.15 Lt/m ³ | 0.16 m ³ | 5.42 | 0.87 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 247.77 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 9: Costo del concreto patrón + 1.5% de nanosílice.

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 360.70 Kg/m ³ | 8.49 bls | 21.50 | 182.54 |
| Nanosílice 1.5% | 5.441 Lt/m ³ | 4.96 kg | 8.57 | 42.51 |
| Agregado fino | 587.44 Kg/m ³ | 0.24 m ³ | 57.50 | 13.80 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 144.28 Lt/m ³ | 0.14 m ³ | 5.42 | 0.76 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 261.97 |

Fuente: Elaboración propia.

También se muestra en las siguientes tablas, las dosificaciones de concretos sin adiciones de nanosílice de 280, 420 y 490 kg/cm² siguiendo los pasos del acápite 3.2 (ver página 132), para realizar el análisis de los costos con los resultados de concretos con adición de nanosílice.

Tabla 4. 10: Costo del concreto de 280 kg/cm².

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 429.79 Kg/m ³ | 10.11 bls | 21.50 | 217.37 |
| Nanosílice 0% | 0 Lt/m ³ | 0 lt | --- | --- |
| Agregado fino | 524.14 Kg/m ³ | 0.21 m ³ | 57.50 | 12.08 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 244.78 Lt/m ³ | 0.25 m ³ | 5.42 | 1.36 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 253.17 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 11: Costo del concreto de 420 kg/cm².

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 651.61 Kg/m ³ | 15.33 bls | 21.50 | 329.60 |
| Nanosílice 0% | 0 Lt/m ³ | 0 lt | --- | --- |
| Agregado fino | 326.64 Kg/m ³ | 0.14 m ³ | 57.50 | 8.05 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 264.08 Lt/m ³ | 0.26 m ³ | 5.42 | 1.41 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 361.42 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 12: Costo del concreto de 490 kg/cm².

| Material | Cantidad usada | Cantidad equivalente | Costo unit. (S/.) | Precio (S/.) |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| Cemento | 878.26 Kg/m ³ | 20.67 bls | 21.50 | 444.40 |
| Nanosílice 0% | 0 Lt/m ³ | 0 lt | --- | --- |
| Agregado fino | 122.96 Kg/m ³ | 0.05 m ³ | 57.50 | 2.88 |
| Agregado grueso | 1057.30 Kg/m ³ | 0.43 m ³ | 52.00 | 22.36 |
| Agua | 293.36 Lt/m ³ | 0.29 m ³ | 5.42 | 1.57 |
| Costo total para 1m³ de concreto S/. | | | | 471.21 |

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas anteriores se deduce que el costo va en aumento a medida que se aumenta el nanosílice, además el costo del concreto con 0.5, 1.0 y 1.5 NS es mayor en 6.40, 12.60 y 19.10% respectivamente con respecto al concreto patrón de diseño.

Comparando los resultados de los costos obtenidos del ensayo a compresión de los concretos con adición de nanosílice con los concretos de 280, 420 y 490 kg/cm², notoriamente se nota su ventaja obteniendo un ahorro de 19.90, 113.36 y 209.24 soles para concretos con 0.5, 1.0 y 1.5 % de nanosílice respectivamente.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES RESPECTO A LA HIPÓTESIS GENERAL

- ❖ Para determinar la durabilidad de un concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo los factores más importantes son la estructura de poros, el grado de saturación, la resistencia a compresión, la elasticidad del concreto. Para la investigación se consideró la resistencia a compresión y la porosidad del concreto.
- ❖ Se ha logrado demostrar que el concreto a mayor adición de nanosílice aumenta su resistencia a compresión y disminuye la porosidad del concreto, y en consecuencia mejora la durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo.

CONCLUSIONES RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 1

- ❖ Los concretos con adiciones de nanosílice reportan resistencias a la compresión superiores al concreto patrón obteniéndose mayores valores con 1.5% de nanosílice de 490.72 kg/cm² a la edad de 28 días y 516.62 kg/cm² a la edad de 56 días.
- ❖ El grado de sensibilidad de los concretos disminuye a medida que se incrementa los porcentajes de nanosílice obteniéndose el valor más bajo $R^2=88.70\%$ para concretos con 1.5% de nanosílice.
- ❖ El concreto con 1.5% de nanosílice tiene una mayor resistencia a la edad de 28 días pero el incremento adicional a la edad de 56 días es solo del 12.33%; sin embargo, el concreto con 1.0% de nanosílice a pesar de que tiene una menor resistencia a la edad de 28 días su incremento adicional es mucho más a la edad de 56 días de 20.83%; entonces se puede concluir que a más edad del concreto las resistencias de ambas llegaran a coincidir.

CONCLUSIONES RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 2

- ❖ De los concretos sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo, el concreto patrón tuvo mayor deterioro, a la edad de 28 y 56 días no llegaron a alcanzar la resistencia de diseño de 210 kg/cm² obteniéndose solo el 86.9 y 98.0%, para el caso de concretos con nanosílice, que a medida que se incrementa su resistencia a compresión también se incrementa su resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo y en consecuencia su durabilidad.

- ❖ El grado de sensibilidad de los concretos sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo el concreto con 1.0% de nanosílice presenta el mayor valor $R^2=97.65\%$.

CONCLUSIONES RESPECTO A LA HIPÓTESIS ESPECÍFICA N° 3

- ❖ El concreto patrón sometido a ciclos de congelamiento y deshielo tuvo mayor porosidad en 3.16, 5.70 y 6.23% a la edad de 27, 43 y 56 días; lo que se evidencia en una resistencia a compresión baja; en el caso de concreto con nanosílice sometido a ciclos de congelamiento y deshielo se evidencia una mejora en la resistencia a compresión donde, el que menor porosidad presentó fue con 1.0% de nanosílice en 1.14, 1.74 y 1.85% a la edad de 27, 43 y 56 días.

OTRAS CONCLUSIONES

- ❖ El costo de producción por metro cúbico de concreto se incrementa a medida que se incrementa la adición de nanosílice, este incremento son de 6.4, 12.6 y 19.1% para 0.5, 1.0 y 1.5% de nanosílice con respecto al peso del cemento. Para que el análisis de costo sea completo se comparó los resultados de la resistencia a compresión de los concretos con 0.5, 1.0 y 1.5 % de nanosílice con los concretos de 280, 420 y 490 kg/cm², obteniendo un ahorro de 19.90, 113.36 y 209.24 soles respectivamente.

- ❖ El nanosílice mejora las propiedades tanto en estado fresco como endurecido del concreto en comparación al concreto patrón, excepto en la trabajabilidad del concreto con 1.5% de nanosílice a pesar de cumplir con el asentamiento de 6-7”.
- ❖ El nanosílice no presenta efectos de corrosión en el acero, en cuanto al ciclo de congelamiento y deshielo no se encontró estudios relacionados al efecto en el acero, pero, de todas las investigaciones realizadas podemos deducir que primero se da el deterioro del concreto como descascaramiento y fisuras, si estos problemas ponen al descubierto el acero entonces dicho elemento será susceptible de cualquier ataque como carbonatación, cloruros y sulfatos.
- ❖ Todos los materiales usados como los agregados, cemento, aditivos y agua son convencionales, es decir se encuentran en nuestra zona lo que le da mayor aplicabilidad a estos concretos.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda masificar su uso, porque el grado de sensibilidad más bajo para concretos sin someter a ciclos de congelamiento y deshielo es $R^2=88.70\%$; para concretos sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo el concreto con 1.0% de nanosílice presenta el grado de sensibilidad más alto es $R^2= 97.65\%$.
- ❖ Realizar investigaciones con reemplazo de nanosílice mayores al 1.5%.
- ❖ Continuar esta línea de investigación aumentando la cantidad de muestras, además evaluar la resistencia a edades superiores a 56 días para ver la tendencia de concretos con 1.0% y 1.5% de nanosílice, y así, determinar si efectivamente llegan a coincidir.
- ❖ Buscar un sistema de refrigeración que permita el ajuste exacto de la temperatura al que se quiere trabajar (control ambiental).

- ❖ Realizar más ensayos relacionados con la durabilidad del concreto comparando resultados de concretos sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo en el laboratorio e “in-situ”.
- ❖ Los resultados obtenidos con el desarrollo del proyecto no son definitivos como respuesta a los ciclos de congelamiento y deshielo, son solo un primer paso en el análisis de este fenómeno que pretenden ser la base para futuras investigaciones en este campo.

CAPÍTULO VII

7. REFERENCIAS.

Abanto Castillo, F. (1994). *Tecnología del Concreto*. Lima, Perú: San Marcos.

ACI 211.1-97. (1998) *Estándar Practice for Selecting Proportions for normal, Heavy Weight, Mass Concrete*.

ACI 201.2R-07. (2000). *Guide to durable concrete*. American Concrete Institute (ACI).

Al-Assadi, G. (2009). *Influencia de las Condiciones de Curado en el Comportamiento del Hormigón sometido a Ciclos Hielo-Deshielo* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Puertos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Alcaraz Marin, J. (2012). *Microestructura del Hormigón* (Proyecto final de Carrera). Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.

Alcaraz Marin, J. (2015). *Microestructura del Hormigón con adición de Nanosilice* (Proyecto final de Carrera). Escuela de Arquitectura e Ingeniería de Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España.

Alizo, M.A., (2015). *Hormigones de alta resistencia con nano-adiciones y fibras de acero* (Tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Puertos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

- Basheer P.A.M, Chidiac S.E. y Long A.E. (1996). Predictive models for durability of concrete from its permeation properties: a review, *Construction & Building Materials*, 15, pp. 93-103.
- Becker, E. (2010). *Durabilidad del hormigon. Comportamiento del hormigon estructural durante su vida de servicio*, Retrieved 10/01, 2010. From <http://www.lomanegra.com.ar/pdf/trabajos/DURABILIDAD.pdf>
- Bernal Camacho, J. M. (2009). *Durabilidad en Estructuras de Concreto Armado Localizada frente a la Costa* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
- CEB (1996). “*Durabilidad de Estructuras de Hormigon, Guía de diseño CEB*”, Boletín GEHO n°12.
- Calavera Ruiz, J. (2005). *Patología de Estructuras de Hormigon Armado y Pretensado* (Segunda Edición). Madrid, España: INTEMAC
- Gaynor R, D. (1985) *Understanding chloride Percentage*. Concrete International: Desing and Construction, V.7, No.9, sept.
- Henche Guijarro, C. (2011). *Analisis de la Adicion de Nano-Particulas en la Microestructura de Materiales de base cemento* (Tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M.P. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta edición). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Huincho Salvatierra, E. (2011). *Concreto de alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland tipo I* (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Iván Tobón, J. (2011). *Evaluacion del Desempeño del Cemento Portland adicionado con Nanoparticulas de Silíce* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Colombia.
- Jo BW, Kim CH, Lim JH.(2007). *Characteristics of cement mortar with nano-SiO2 particles*. ACI Mater
- León Brito, N,E. (2012). *Influencia de la adicion de Nano silíce en el hormigon autocompactante* (Tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Li H, Hiao H, Yuan J & Ou J.(2004). *Microestructure of cement mortar with nanoparticles*. Composites Part B: Engineering.

- Morejón Salup, L.L. (2015). *Morteros de Cemento con Adiciones de Humo de silice y nanosilice* (Tesis de maestría). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Navareño Rojo, A. (2015). *Estudio teorico-experimental sobre el Deterioro en Tableros de Puentes de Hormigon producido por la Accion del Hielo-Deshielo con sales fundentes* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Navarro Alvarez, R. (2008). *Diseño por Durabilidad de Estructuras de Concreto* (Tesis de pregrado). Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.
- Páez Moreno, D.F., Leal Moreno, V.E. y Restrepo Burgos, M. (2009). *Influencia de los Ciclos Hielo-Deshielo en la Resistencia del Concreto (Caso Tunja)*. Revista Ingenierías Universidad de Medellin, Medellin, Colombia.
- Pasquel Carvajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (Segunda edicion). Lima, Perú.
- Pasquel Carvajal, E. (2009). *Reaccion álcali-agregado El "VIH" del concreto*. Centro de Investigacion del Cemento y el Concreto-CITEDEC (boletin n°95). Lima-Perú.
- PCA, P. C. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (Primera Edición).
- Pigeon M., y Pleau R. (1995). *Durability of Concrete in Cold Climates*, E & FN Spon, Boundry row.
- Powers T, C. (1945) *Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete*. ACI Journal, Proceeding, V.41, No.4, Feb.
- Rivva López, E. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*. Lima, Peru.
- Romero Mendoza, H.L. (2011). *Deterioro del Hormigon sometido a ensayo Acelerados de Hielo-Deshielo en presencia de cloruros* (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Rostam S. (1989). *Durable Concrete Structure-CEB Desing Guide* (2nd Edition), Bulletin d'Information N° 182, Comité Euro-International du Beton (CEB), Lausanne.
- Sánchez de Guzman, D. (2003). *Durabilidad y Patología del Concreto*. Asocreto, Bogotá, Colombia.

- Segura Pérez , I. (2008). *Caracterización del proceso de descarificación en morteros, mediante ensayos destructivos y no destructivos*". (Tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- SENAMHI (2010). *Atlas de Heladas del Perú, convenio de cooperación técnica interinstitucional SENAMHI-FAO, Lima, Perú.*
- Singh LP, Bhattacharyya SJ, Sharma U, Ahalawat S. (2011). *Preparation of silica nanoparticles and its beneficial role in cementitious materials*. Nanomate Nanotechnol 2011.
- Sobolev, K. y Ferrada-Gutiérrez, M.(2005). *How Nanotechnology Can Change the Concrete World: Part 1*. American Ceramic Society Bulletin, No. 10, Westerville, Ohio-USA.
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la Investigación Científica (Cuarta edición)*. México D.F., México: Limusa

CAPÍTULO VIII

8. ANEXOS

ANEXO A: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO A-1: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



CERTIFICADO

El que suscribe Jefe de Laboratorio de Construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

CERTIFICA:

Que los Sres. **ELISMAN López Ampuero con DNI 46330503**, **JUAN JOSE Mamani Copari con DNI 43559601**, Bachilleres en Ciencias de la Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, han realizado ensayos de Laboratorio para la investigación del proyecto de Tesis con el tema **"INFLUENCIA DEL NANOSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO DE LA CIUDAD DE PUNO"** del cual doy fe.

Dichos ensayos son los siguientes:

- 01 ensayo de contenido de humedad para agregados (grueso – fino).
- 01 ensayo de peso unitario de los agregados (grueso – fino).
- 01 ensayo de granulometría para agregados (grueso - fino).
- 01 ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.
- 01 ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.
- Ensayo de compresión simple de briquetas de concreto:
 - ✓ 36 briquetas: concreto patrón, sin someter y sometido a congelamiento y deshielo.
 - ✓ 36 briquetas: concreto patrón + 0.5% de nanosíllice, sin someter y sometido a congelamiento y deshielo.
 - ✓ 36 briquetas: concreto patrón + 1.0% de nanosíllice, sin someter y sometido a congelamiento y deshielo.
 - ✓ 36 briquetas: concreto patrón + 1.5% de nanosíllice, sin someter y sometido a congelamiento y deshielo.

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que vea por conveniente.




 Ing. Gino F. Laque Córdova
 Jefe de Laboratorio de Construcciones

ANEXO A-2: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



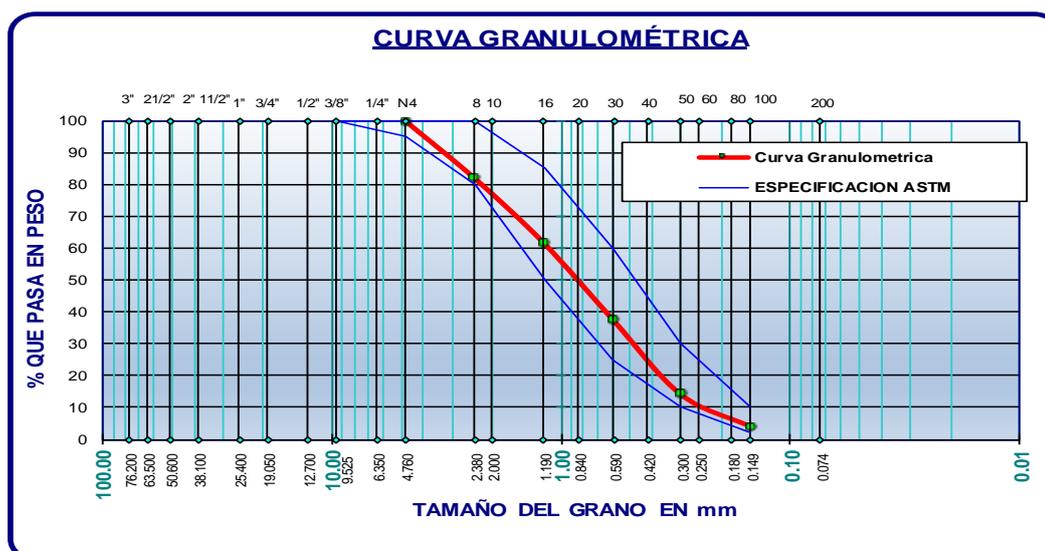
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

REALIZADO POR : BACH. ELISMAN LOPEZ AMPUERO
BACH. JUAN JOSE MAMANI COPARI
" INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA
TESIS : DURABILIDAD DEL CONCRETO SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y
Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
FECHA : 27 DE SETIEMBRE DEL 2016

| TAMICES ASTM | ABERTURA mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. ASTM | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|--------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|---------------|----------------------------|
| 3" | 76.200 | | | | | | P.L. 611.53 P.S. 617.80 |
| 2 1/2" | 63.500 | | | | | | |
| 2" | 50.600 | | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | | | |
| 3/4" | 19.050 | | | | | | |
| 1/2" | 12.700 | | | | | | |
| 3/8" | 9.525 | | | | | 100 | |
| 1/4" | 6.350 | | | | | | |
| No4 | 4.760 | 1.59 | 0.26 | 0.26 | 99.74 | 95 100 | |
| No8 | 2.380 | 110.76 | 17.93 | 18.19 | 81.81 | 80 100 | |
| No10 | 2.000 | | | | | | |
| No16 | 1.190 | 124.86 | 20.21 | 38.40 | 61.60 | 50 85 | |
| No20 | 0.840 | | | | | | |
| No30 | 0.590 | 150.20 | 24.31 | 62.71 | 37.29 | 25 60 | |
| No40 | 0.420 | | | | | | |
| No50 | 0.300 | 143.69 | 23.26 | 85.97 | 14.03 | 10 30 | |
| No60 | 0.250 | | | | | | |
| No80 | 0.180 | | | | | | |
| No100 | 0.149 | 62.43 | 10.11 | 96.07 | 3.93 | 2 10 | |
| No200 | 0.074 | 18.00 | 2.91 | 98.99 | 1.01 | | |
| BASE | | 6.27 | 1.01 | 100.00 | 0.00 | | |
| TOTAL | | 617.80 | 100.00 | | | | |
| % PERDIDA | | | | | | | |

MODULO DE FINEZA : 3.02

El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo excederse el limite en mas o menos 0.2 Max 3.35



ANEXO A-3: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.



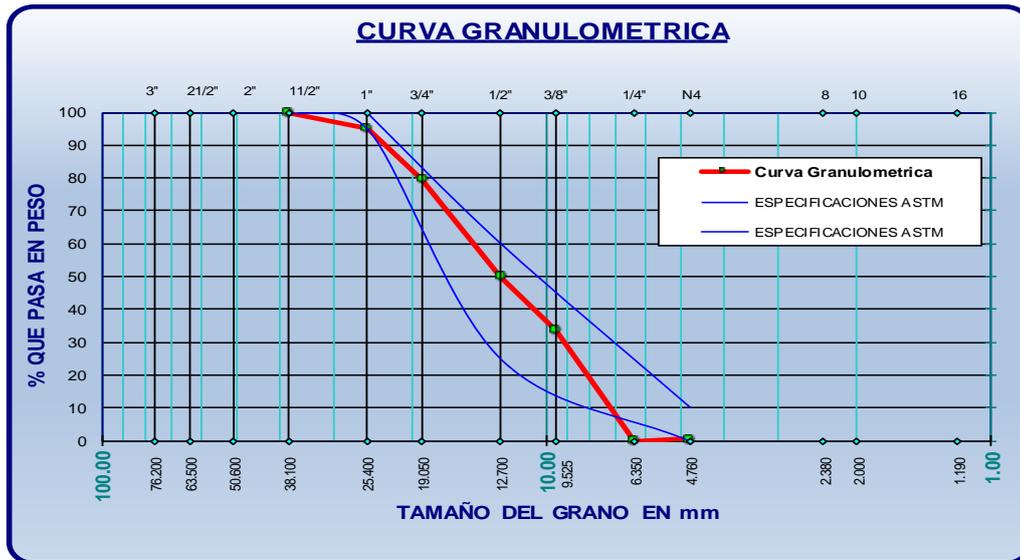
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

REALIZADO POR : BACH. ELISMAN LOPEZ AMPUERO
BACH. JUAN JOSE MAMANI COPARI
" INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
TESIS :
FECHA : 23 DE SETIEMBRE DEL 2016

| TAMICES ASTM | ABERTURAS mm | PESO RETENIDO | %RETENIDO PARCIAL | %RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ESPECIF. 1° ASTM C-33-54 | ESPECIFICACIONES 1° ASTM C-33 |
|--------------|--------------|---------------|-------------------|---------------------|------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 3" | 76.200 | | | | | | P.M 10.79 |
| 2 1/2" | 63.500 | | | | | | |
| 2" | 50.600 | | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 100 100 | |
| 1" | 25.400 | 0.510 | 4.73 | 4.73 | 95.27 | 95 100 | |
| 3/4" | 19.050 | 1.685 | 15.62 | 20.34 | 79.66 | 60 80 | |
| 1/2" | 12.700 | 3.200 | 29.66 | 50.00 | 50.00 | 25 60 | |
| 3/8" | 9.525 | 1.770 | 16.40 | 66.40 | 33.60 | 13 35 | |
| 1/4" | 6.350 | | | | | | |
| No4 | 4.760 | 3.570 | 33.09 | 99.49 | 0.51 | 0 10 | |
| No8 | 2.380 | 0.055 | 0.51 | 100.00 | 0.00 | 0 5 | |
| No10 | 2.000 | | | | | | MODULO DE FINEZA : 6.86 |
| No16 | 1.190 | | | | | | |
| No20 | 0.840 | | | | | | |
| No30 | 0.590 | | | | | | |
| No40 | 0.420 | | | | | | |
| No50 | 0.300 | | | | | | |
| No60 | 0.250 | | | | | | |
| No80 | 0.180 | | | | | | |
| No100 | 0.149 | | | | | | |
| No200 | 0.074 | | | | | | |
| BASE TOTAL | | 10.790 | 100.00 | | | | OBS: TAMIZAR POR LA MALLA N° 4 PARA SEPARAR EL AG. GRUESO Y FINO |
| % PERDIDA | | | | | | | |



ANEXO A-4: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN
 AGREGADOS FINO Y GRUESO**

TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD
 DEL CONCRETO SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 EN LA CIUDAD DE PUNO"

TESISTAS : BACH. ELISMAN LOPEZ AMPUERO
 BACH. JUAN JOSE MAMANI COPARI

FECHA : 10 DE OCTUBRE DEL 2016

MUESTRA: AGREGADOS

CANTERA: VILUYO

UBICACIÓN: PUNO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO

| I.- DATOS | | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (W _{sss}) | 74.64 |
| 2 | PESO DEL PICNOMETRO+TAPA+AGUA | 187.16 |
| 3 | W _{sss} +PESO DEL PICNOMETRO+TAPA+AGUA | 232.40 |
| 4 | PESO DE TARA | 31.90 |
| 5 | PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO | 104.75 |
| 6 | PESO DE LA MUESTRA (WS) | 72.85 |
| II.- RESULTADOS | | |
| 7 | PESO ESPECIFICO DE MASA: P.E.M. $6/(1-(3-2))$ | 2.48 |
| 8 | P.E. DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA P.E.M.S.S. $(1/(1-(3-2)))$ | 2.54 |
| 9 | PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A. : $6/(6-(3-2))$ | 2.64 |
| 10 | PORCENTAJE DE ABSORCION: $\%ABS((1-6)/6)$ | 2.46 |

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

| I.- DATOS | | |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1 | PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (W _{sss}) | 126.17 |
| 2 | PESO DEL PICNOMETRO+TAPA+AGUA | 187.16 |
| 3 | W _{sss} +PESO DEL PICNOMETRO+TAPA+AGUA | 263.35 |
| 4 | PESO DE TARA | 28.97 |
| 5 | PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO | 151.88 |
| 6 | PESO DE LA MUESTRA (WS) | 122.91 |
| II.- RESULTADOS | | |
| 7 | PESO ESPECIFICO DE MASA: P.E.M. $6/(1-(3-2))$ | 2.46 |
| 8 | P.E. DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA P.E.M.S.S. $(1/(1-(3-2)))$ | 2.52 |
| 9 | PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A. : $6/(6-(3-2))$ | 2.63 |
| 10 | PORCENTAJE DE ABSORCION: $\%ABS((1-6)/6)$ | 2.65 |

ANEXO A-3: PESO UNITARIO DE AGREGADOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**PESO ESPECÍFICO UNITARIO
 AGREGADOS FINO Y GRUESO**

**"INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD
 DEL CONCRETO SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 EN LA CIUDAD DE PUNO"**

TESIS : BACH. ELISMAN LOPEZ AMPUERO MUESTRA: AGREGADOS
 BACH. JUAN JOSE MAMANI COPARI CANTERA: VILUYO
 FECHA : 03 DE OCTUBRE DEL 2016 UBICACIÓN: PUNO

AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO

| MOLDE NRO. | I | II | I |
|-----------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| PESO DEL MOLDE gr. | 7350.000 | 7270.000 | 7270.000 |
| PESO MOLDE + MUESTRA gr. | 15935.000 | 15950.000 | 15945.000 |
| PESO DE LA MUESTRA gr. | 8585.000 | 8680.000 | 8675.000 |
| VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ , | 5736.230 | 5754.310 | 5754.310 |
| PESO UNITARIO Gr/Cm ³ , | 1.497 | 1.508 | 1.508 |
| PESO UNITARIO TOTAL KG/M ³ . | 1504 | | |

PESO UNITARIO COMPACTADO

| MOLDE NRO. | II | I | I |
|-----------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| PESO DEL MOLDE gr. | 7350.000 | 7270.000 | 7350.000 |
| PESO MOLDE + MUESTRA gr. | 16840.000 | 16715.000 | 16845.000 |
| PESO DE LA MUESTRA gr. | 9490.000 | 9445.000 | 9495.000 |
| VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ , | 5736.230 | 5754.310 | 5736.230 |
| PESO UNITARIO Gr/Cm ³ , | 1.654 | 1.641 | 1.655 |
| PESO UNITARIO TOTAL KG/M ³ . | 1650 | | |

AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO

| MOLDE NRO. | I | II | II |
|-----------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| PESO DEL MOLDE gr. | 7350.000 | 7270.000 | 7350.000 |
| PESO MOLDE + MUESTRA gr. | 15755.000 | 15770.000 | 15675.000 |
| PESO DE LA MUESTRA gr. | 8405.000 | 8300.000 | 8325.000 |
| VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ , | 5736.230 | 5754.310 | 5736.230 |
| PESO UNITARIO Gr/Cm ³ , | 1.465 | 1.442 | 1.451 |
| PESO UNITARIO TOTAL KG/M ³ . | 1453 | | |

PESO UNITARIO COMPACTADO

| MOLDE NRO. | I | II | II |
|-----------------------------------------|-------------|-----------|-----------|
| PESO DEL MOLDE gr. | 7270.000 | 7350.000 | 7270.000 |
| PESO MOLDE + MUESTRA gr. | 16465.000 | 16520.000 | 16520.000 |
| PESO DE LA MUESTRA gr. | 9195.000 | 9170.000 | 9250.000 |
| VOLUMEN DEL MOLDE cm ³ , | 5754.310 | 5736.230 | 5754.310 |
| PESO UNITARIO Gr/Cm ³ , | 1.598 | 1.599 | 1.607 |
| PESO UNITARIO TOTAL KG/M ³ . | 1601 | | |

ANEXO A-5: CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**CONTENIDO DE HUMEDAD
 AGREGADOS GRUESO Y FINO**

"INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD
 DEL CONCRETO SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 EN LA CIUDAD DE PUNO"

TESIS :

DEL CONCRETO SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 EN LA CIUDAD DE PUNO"

TESISTAS :

BACH. ELISMAN LOPEZ AMPUERO
 BACH. JUAN JOSE MAMANI COPARI

MUESTRA: AGREGADOS

CANTERA: VILUYO

FECHA :

17 DE OCTUBRE DEL 2016

UBICACIÓN: PUNO

AGREGADO GRUESO

| Nro. De Tara | A-2 | A-4 | A-11 |
|---------------------------|-------------|--------|--------|
| Peso de Tara | 16.72 | 20.39 | 18.64 |
| Peso de Tara + M. Humeda | 128.87 | 135.65 | 139.76 |
| Peso de Tara + M. Seca | 126.51 | 134.10 | 138.23 |
| Peso de Agua | 2.36 | 1.55 | 1.53 |
| Peso Muestra Seca | 109.79 | 113.71 | 119.59 |
| Contenido de humedad W% | 2.15 | 1.36 | 1.28 |
| Promedio Cont. Humedad W% | 1.60 | | |

AGREGADO FINO

| Nro. De Tara | N-3 | A-1 | A-10 |
|---------------------------|-------------|--------|--------|
| Peso de Tara | 20.20 | 19.68 | 16.80 |
| Peso de Tara + M. Humeda | 143.98 | 137.69 | 132.85 |
| Peso de Tara + M. Seca | 142.15 | 135.08 | 129.98 |
| Peso de Agua | 1.83 | 2.61 | 2.87 |
| Peso Muestra Seca | 121.95 | 115.40 | 113.18 |
| Contenido de humedad W% | 1.50 | 2.26 | 2.54 |
| Promedio Cont. Humedad W% | 2.10 | | |

ANEXO A-6: POROSIDAD DEL CONCRETO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



POROSIDAD DEL CONCRETO

REFERENCIA :
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL C° SOMETIDOS A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 SOLICITADO POR : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Mamani Copari, JUAN JOSE
 MUESTRA : Briquetas de concreto patron
 RESPONSABLE : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 FECHA : 02 de Abril del 2017

CANTERA: VILUYO
 UBICACIÓN: PUNO

| 27 DIAS | CP-SCD | | | 0.5NS-SCD | | | 1.0NS-SCD | | | 1.5NS-SCD | | |
|---------------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | 17 | 16 | 13 | 16 | 15 | 17 | 17 | 16 | 14 | 16 | 17 | 14 |
| peso seco | 12.635 | 12.730 | 11.975 | 12.445 | 12.495 | 12.545 | 12.965 | 12.755 | 12.970 | 13.025 | 12.940 | 13.080 |
| p. sss | 12.815 | 12.915 | 12.145 | 12.535 | 12.575 | 12.640 | 13.025 | 12.820 | 13.040 | 13.105 | 13.030 | 13.150 |
| p. sumergido | 7.025 | 7.155 | 6.720 | 6.915 | 6.925 | 7.025 | 7.278 | 7.205 | 7.267 | 7.315 | 7.317 | 7.445 |
| Porosidad % | 3.109 | 3.212 | 3.134 | 1.601 | 1.416 | 1.692 | 1.044 | 1.158 | 1.213 | 1.382 | 1.575 | 1.227 |
| Prom. PORO. % | 3.151 | | | 1.570 | | | 1.138 | | | 1.395 | | |

| 43 DIAS | CP-SCD | | | 0.5NS-SCD | | | 1.0NS-SCD | | | 1.5NS-SCD | | |
|---------------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | 17 | 16 | 13 | 16 | 15 | 17 | 17 | 16 | 14 | 16 | 17 | 14 |
| peso seco | 12.584 | 12.661 | 11.924 | 12.432 | 12.484 | 12.534 | 12.959 | 12.748 | 12.964 | 13.019 | 12.935 | 13.076 |
| p. sss | 12.916 | 12.993 | 12.255 | 12.583 | 12.630 | 12.679 | 13.045 | 12.850 | 13.078 | 13.135 | 13.050 | 13.180 |
| p. sumergido | 6.985 | 7.075 | 6.630 | 6.905 | 6.915 | 7.015 | 7.262 | 7.084 | 7.250 | 7.315 | 7.297 | 7.425 |
| Porosidad % | 5.593 | 5.610 | 5.884 | 2.659 | 2.555 | 2.560 | 1.487 | 1.769 | 1.956 | 1.993 | 1.999 | 1.807 |
| Prom. PORO. % | 5.696 | | | 2.591 | | | 1.737 | | | 1.933 | | |

| 55 DIAS | CP-SCD | | | 0.5NS-SCD | | | 1.0NS-SCD | | | 1.5NS-SCD | | |
|---------------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | 17 | 16 | 13 | 16 | 15 | 17 | 17 | 16 | 14 | 16 | 17 | 14 |
| peso seco | 12.565 | 12.643 | 11.905 | 12.425 | 12.475 | 12.525 | 12.956 | 12.744 | 12.961 | 13.018 | 12.951 | 13.070 |
| p. sss | 12.925 | 13.017 | 12.266 | 12.595 | 12.645 | 12.682 | 13.043 | 12.854 | 13.086 | 13.138 | 13.060 | 13.189 |
| p. sumergido | 6.955 | 7.055 | 6.612 | 6.895 | 6.905 | 7.005 | 7.255 | 7.069 | 7.237 | 7.305 | 7.285 | 7.425 |
| Porosidad % | 6.030 | 6.273 | 6.378 | 2.982 | 2.962 | 2.771 | 1.496 | 1.901 | 2.137 | 2.057 | 1.891 | 2.065 |
| Prom. PORO. % | 6.227 | | | 2.905 | | | 1.845 | | | 2.004 | | |

ANEXO B: RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
OBJETIVO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO
 SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
ELABORADO POR : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
CONTROLADO POR : Briquetas de concreto patron, Sin aditivo
RESISTENCIA : $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
RESPONSABLE : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
FECHA DE EMISIÓN : 17 de Abril del 2017

| DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (Kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) |
|-------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|
| | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL. (gr/cm ³) | | DISEÑO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | |
| CP-01 | 01/02/2017 | 09/02/2017 | 15.26 | 30.40 | 182.89 | 12450 | 2.24 | 31890 | 210 | 174.36 | 6-7" | 7 |
| CP-02 | 01/02/2017 | 09/02/2016 | 15.21 | 30.20 | 181.70 | 12405 | 2.26 | 30200 | 210 | 166.21 | 6-7" | 7 |
| CP-03 | 01/02/2017 | 09/02/2015 | 15.21 | 30.10 | 181.70 | 12635 | 2.31 | 30100 | 210 | 165.66 | 6-7" | 7 |
| CP-04 | 01/02/2017 | 09/02/2014 | 15.33 | 30.50 | 184.46 | 12540 | 2.23 | 31330 | 210 | 169.85 | 6-7" | 7 |
| CP-05 | 01/02/2017 | 09/02/2013 | 15.28 | 30.60 | 183.37 | 12535 | 2.23 | 29780 | 210 | 162.40 | 6-7" | 7 |
| CP-06 | 01/02/2017 | 09/02/2012 | 14.95 | 29.90 | 175.54 | 12015 | 2.29 | 28390 | 210 | 161.73 | 6-7" | 7 |
| CP-07 | 01/02/2017 | 02/03/2017 | 15.32 | 29.90 | 184.34 | 12185 | 2.21 | 43780 | 210 | 237.50 | 6-7" | 28 |
| CP-08 | 01/02/2017 | 02/03/2017 | 15.30 | 30.40 | 183.73 | 12320 | 2.21 | 44980 | 210 | 244.81 | 6-7" | 28 |
| CP-09 | 01/02/2017 | 02/03/2017 | 15.27 | 30.60 | 183.01 | 12545 | 2.24 | 43140 | 210 | 235.72 | 6-7" | 28 |
| CP-10 | 01/02/2017 | 02/03/2017 | 15.27 | 30.30 | 183.13 | 12205 | 2.20 | 42160 | 210 | 230.21 | 6-7" | 28 |
| CP-11 | 01/02/2017 | 02/03/2017 | 15.33 | 30.20 | 184.58 | 12350 | 2.22 | 42560 | 210 | 230.58 | 6-7" | 28 |
| CP-12 | 01/02/2017 | 02/03/2017 | 15.28 | 30.00 | 183.37 | 12205 | 2.22 | 41090 | 210 | 224.08 | 6-7" | 28 |
| CP-13 | 01/02/2017 | 30/03/2017 | 15.35 | 30.30 | 185.06 | 12320 | 2.20 | 49780 | 210 | 269.00 | 6-7" | 56 |
| CP-14 | 01/02/2017 | 30/03/2017 | 15.35 | 30.50 | 185.06 | 12510 | 2.22 | 50980 | 210 | 275.48 | 6-7" | 56 |
| CP-15 | 01/02/2017 | 30/03/2017 | 15.23 | 30.50 | 182.06 | 12425 | 2.24 | 49140 | 210 | 269.92 | 6-7" | 56 |
| CP-16 | 01/02/2017 | 30/03/2017 | 15.27 | 30.20 | 183.01 | 12550 | 2.27 | 48160 | 210 | 263.15 | 6-7" | 56 |
| CP-17 | 01/02/2017 | 30/03/2017 | 15.29 | 30.40 | 183.49 | 12375 | 2.22 | 48560 | 210 | 264.64 | 6-7" | 56 |
| CP-18 | 01/02/2017 | 30/03/2017 | 15.27 | 30.10 | 183.01 | 12170.00 | 2.21 | 48640 | 210 | 265.77 | 6-7" | 56 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras de este ensayo.
- estos documentos no podra ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorizacion del laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES - PUNO

MSc. Ing. Gino F. Laque Córdoba
JEFE DE LABORATORIO

17 de Abril del 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO
 SOLICITADO POR : SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 MUESTRA : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
 DISEÑO : Briquetas de concreto patron. Sin aditivo SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 RESPONSABLE : F'c = 210 Kg/cm²
 FECHA DE EMISIÓN : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|-------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL (gr/cm ³) | | DESHEO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | CP,SCD-01 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.16 | 30.15 | 180.39 | 12480 | 2.29 | 24920 | 210 | 138.15 | 6-7" | 7 | 65.78 |
| 2 | CP,SCD-02 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.22 | 30.00 | 181.82 | 12485 | 2.29 | 25450 | 210 | 159.98 | 6-7" | 7 | 66.66 |
| 3 | CP,SCD-03 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.20 | 30.70 | 181.34 | 12755 | 2.29 | 24280 | 210 | 133.89 | 6-7" | 7 | 63.76 |
| 4 | CP,SCD-04 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.17 | 30.60 | 180.62 | 12710 | 2.30 | 23270 | 210 | 128.83 | 6-7" | 7 | 61.35 |
| 5 | CP,SCD-05 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.28 | 30.20 | 183.37 | 12485 | 2.25 | 23620 | 210 | 128.81 | 6-7" | 7 | 61.34 |
| 6 | CP,SCD-06 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.20 | 30.10 | 181.46 | 12505 | 2.29 | 22190 | 210 | 122.29 | 6-7" | 7 | 58.23 |
| 7 | CP,SCD-07 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.16 | 29.90 | 180.39 | 12480 | 2.31 | 32170 | 210 | 178.34 | 6-7" | 28 | 84.92 |
| 8 | CP,SCD-08 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.17 | 30.40 | 180.62 | 12585 | 2.29 | 31660 | 210 | 175.28 | 6-7" | 28 | 83.47 |
| 9 | CP,SCD-09 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.17 | 30.60 | 180.74 | 12655 | 2.29 | 34190 | 210 | 189.16 | 6-7" | 28 | 90.08 |
| 10 | CP,SCD-10 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.00 | 30.30 | 176.72 | 12020 | 2.24 | 33060 | 210 | 187.08 | 6-7" | 28 | 89.09 |
| 11 | CP,SCD-11 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.24 | 30.20 | 182.42 | 12590 | 2.29 | 33580 | 210 | 184.09 | 6-7" | 28 | 87.66 |
| 12 | CP,SCD-12 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.20 | 30.00 | 181.34 | 12356 | 2.27 | 32928 | 210 | 181.58 | 6-7" | 28 | 86.47 |
| 13 | CP,SCD-13 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.06 | 29.80 | 178.01 | 11980 | 2.26 | 36230 | 210 | 203.52 | 6-7" | 56 | 96.92 |
| 14 | CP,SCD-14 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.23 | 30.10 | 182.06 | 12445 | 2.27 | 36210 | 210 | 198.89 | 6-7" | 56 | 94.71 |
| 15 | CP,SCD-15 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.20 | 30.30 | 181.46 | 12580 | 2.29 | 38610 | 210 | 212.78 | 6-7" | 56 | 101.32 |
| 16 | CP,SCD-16 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.24 | 30.40 | 182.42 | 12730 | 2.30 | 38830 | 210 | 212.87 | 6-7" | 56 | 101.36 |
| 17 | CP,SCD-17 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.29 | 30.40 | 183.61 | 12630 | 2.26 | 37520 | 210 | 204.34 | 6-7" | 56 | 97.31 |
| 18 | CP,SCD-18 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.27 | 30.20 | 183.01 | 12645 | 2.29 | 36980 | 210 | 202.06 | 6-7" | 56 | 96.22 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras.
- Estos documentos no podran ser reproducidos total ni parcialmente, sin la autorizacion del laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 SOLICITADO POR : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
 MUESTRA : Briquetas de concreto patron + 0.5% de nanosilice
 DISEÑO : F_c = 210 Kg/cm²
 RESPONSABLE : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 FECHA DE EMISIÓN : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|-------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL. (gr/cm ³) | | DISEÑO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | 0.5NS-01 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.22 | 30.40 | 181.94 | 12655 | 2.29 | 35120 | 210 | 193.03 | 6-7" | 7 | 91.92 |
| 2 | 0.5NS-02 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.24 | 30.30 | 182.30 | 12505 | 2.26 | 36310 | 210 | 199.18 | 6-7" | 7 | 94.85 |
| 3 | 0.5NS-03 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.21 | 39.90 | 181.70 | 12424 | 1.71 | 35420 | 210 | 194.94 | 6-7" | 7 | 92.83 |
| 4 | 0.5NS-04 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.29 | 30.60 | 183.61 | 12478 | 2.22 | 37760 | 210 | 205.65 | 6-7" | 7 | 97.93 |
| 5 | 0.5NS-05 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.17 | 30.50 | 180.74 | 12705 | 2.30 | 32600 | 210 | 180.37 | 6-7" | 7 | 85.89 |
| 6 | 0.5NS-06 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.32 | 29.80 | 184.21 | 12531 | 2.28 | 33940 | 210 | 184.24 | 6-7" | 7 | 87.73 |
| 7 | 0.5NS-07 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.31 | 30.50 | 184.09 | 12755 | 2.27 | 55590 | 210 | 301.96 | 6-7" | 28 | 143.79 |
| 8 | 0.5NS-08 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.15 | 30.30 | 180.27 | 12540 | 2.30 | 57420 | 210 | 318.53 | 6-7" | 28 | 151.68 |
| 9 | 0.5NS-09 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.24 | 30.20 | 182.42 | 12485 | 2.27 | 55720 | 210 | 305.46 | 6-7" | 28 | 145.46 |
| 10 | 0.5NS-10 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.23 | 30.10 | 182.06 | 12445 | 2.27 | 54330 | 210 | 298.42 | 6-7" | 28 | 142.11 |
| 11 | 0.5NS-11 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.24 | 30.70 | 182.30 | 12755 | 2.28 | 55650 | 210 | 305.27 | 6-7" | 28 | 145.37 |
| 12 | 0.5NS-12 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.32 | 30.20 | 184.21 | 12355 | 2.22 | 55742 | 210 | 302.59 | 6-7" | 28 | 144.09 |
| 13 | 0.5NS-13 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.23 | 29.90 | 182.06 | 12385 | 2.28 | 59830 | 210 | 328.63 | 6-7" | 56 | 156.49 |
| 14 | 0.5NS-14 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.12 | 30.50 | 179.44 | 12730 | 2.33 | 57960 | 210 | 323.01 | 6-7" | 56 | 153.82 |
| 15 | 0.5NS-15 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.17 | 30.50 | 180.74 | 13640 | 2.47 | 60610 | 210 | 335.34 | 6-7" | 56 | 159.68 |
| 16 | 0.5NS-16 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.18 | 30.10 | 180.86 | 12505 | 2.30 | 58080 | 210 | 321.13 | 6-7" | 56 | 152.92 |
| 17 | 0.5NS-17 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.14 | 30.10 | 180.03 | 12530 | 2.31 | 58240 | 210 | 323.50 | 6-7" | 56 | 154.05 |
| 18 | 0.5NS-18 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.27 | 30.10 | 183.01 | 12540 | 2.28 | 59640 | 210 | 325.88 | 6-7" | 56 | 155.18 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras que se realizaron en el Laboratorio de Construcciones de la Universidad Nacional del Altiplano.
- Estos documentos no podran ser reproducidos total ni parcialmente, sin la autorización del laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Laboratorio de Construcciones - FICA
Mg. Ing. Gino F. Laque Cordova
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO
 SOLICITADO POR : SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 MUESTRA : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
 DISEÑO : Briquetas de concreto patron + 0.5% de nanosilice, SOMETIDO A CONGELAM. Y DESHIELO
 RESPONSABLE : F_c = 210 Kg/cm²
 FECHA DE EMISIÓN : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (Kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL (gr/cm ³) | | DISERO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | 0.5NS,SCD-01 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.14 | 30.20 | 179.91 | 12527 | 2.31 | 32480 | 210 | 180.53 | 6-7" | 7 | 85.97 |
| 2 | 0.5NS,SCD-02 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.40 | 180.98 | 12475 | 2.27 | 34250 | 210 | 189.25 | 6-7" | 7 | 90.12 |
| 3 | 0.5NS,SCD-03 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.25 | 30.60 | 182.65 | 12505 | 2.24 | 32580 | 210 | 178.37 | 6-7" | 7 | 84.94 |
| 4 | 0.5NS,SCD-04 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.60 | 180.86 | 12704 | 2.30 | 31220 | 210 | 172.62 | 6-7" | 7 | 82.20 |
| 5 | 0.5NS,SCD-05 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.20 | 30.30 | 181.34 | 12675 | 2.31 | 32530 | 210 | 179.39 | 6-7" | 7 | 85.42 |
| 6 | 0.5NS,SCD-06 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.15 | 30.00 | 180.27 | 12570 | 2.32 | 32580 | 210 | 180.73 | 6-7" | 7 | 86.06 |
| 7 | 0.5NS,SCD-07 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.20 | 30.20 | 181.46 | 12645 | 2.31 | 50130 | 210 | 276.26 | 6-7" | 28 | 131.55 |
| 8 | 0.5NS,SCD-08 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.13 | 30.70 | 179.67 | 12795 | 2.32 | 51780 | 210 | 288.19 | 6-7" | 28 | 137.23 |
| 9 | 0.5NS,SCD-09 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.26 | 30.90 | 182.89 | 12505 | 2.21 | 50140 | 210 | 274.15 | 6-7" | 28 | 130.55 |
| 10 | 0.5NS,SCD-10 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.12 | 30.60 | 179.44 | 12790 | 2.33 | 50240 | 210 | 279.99 | 6-7" | 28 | 133.33 |
| 11 | 0.5NS,SCD-11 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.18 | 30.20 | 180.98 | 12475 | 2.28 | 53300 | 210 | 294.51 | 6-7" | 28 | 140.24 |
| 12 | 0.5NS,SCD-12 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.18 | 30.30 | 180.86 | 12695 | 2.32 | 51118 | 210 | 282.63 | 6-7" | 28 | 134.59 |
| 13 | 0.5NS,SCD-13 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.17 | 30.40 | 180.62 | 12695 | 2.31 | 53130 | 210 | 294.15 | 6-7" | 56 | 140.07 |
| 14 | 0.5NS,SCD-14 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.20 | 30.60 | 181.46 | 12705 | 2.29 | 54500 | 210 | 300.34 | 6-7" | 56 | 143.02 |
| 15 | 0.5NS,SCD-15 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.20 | 30.10 | 181.34 | 12485 | 2.29 | 53680 | 210 | 296.02 | 6-7" | 56 | 140.96 |
| 16 | 0.5NS,SCD-16 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.05 | 29.90 | 177.90 | 12450 | 2.34 | 55240 | 210 | 310.52 | 6-7" | 56 | 147.87 |
| 17 | 0.5NS,SCD-17 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.26 | 29.90 | 182.77 | 12565 | 2.30 | 54150 | 210 | 296.27 | 6-7" | 56 | 141.08 |
| 18 | 0.5NS,SCD-18 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.26 | 30.10 | 182.89 | 12530 | 2.28 | 53240 | 210 | 291.10 | 6-7" | 56 | 138.62 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Estos documentos no podran ser reproducidos total ni parcialmente, sin la autorizacion del laboratorio de la EPIC.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Laboratorio de Construcciones S-FICA
MSc. Ing. Gino F. Laque Cordova
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO
 SOLICITADO POR : SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 MUESTRA : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
 DISEÑO : Briquetas de concreto patron + 1.0% de nanosilice
 RESPONSABLE : Fc = 210 Kg/cm²
 FECHA DE EMISIÓN : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|-------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL (gr/cm ³) | | DISEÑO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | 1.ONS-01 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.31 | 30.40 | 184 | 13027 | 2.33 | 43070 | 210 | 234.11 | 6-7" | 7 | 111.48 |
| 2 | 1.ONS-02 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.32 | 30.50 | 184 | 12887 | 2.29 | 44520 | 210 | 241.67 | 6-7" | 7 | 115.08 |
| 3 | 1.ONS-03 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.14 | 30.30 | 180 | 12865 | 2.36 | 43170 | 210 | 239.95 | 6-7" | 7 | 114.26 |
| 4 | 1.ONS-04 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.25 | 30.10 | 183 | 12776 | 2.33 | 41780 | 210 | 228.89 | 6-7" | 7 | 108.99 |
| 5 | 1.ONS-05 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.22 | 30.60 | 182 | 12844 | 2.31 | 40740 | 210 | 224.07 | 6-7" | 7 | 106.70 |
| 6 | 1.ONS-06 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.25 | 29.90 | 183 | 12905 | 2.36 | 46150 | 210 | 252.83 | 6-7" | 7 | 120.39 |
| 7 | 1.ONS-07 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.13 | 30.00 | 180 | 12355 | 2.29 | 82550 | 210 | 459.45 | 6-7" | 28 | 218.78 |
| 8 | 1.ONS-08 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.22 | 30.40 | 182 | 13085 | 2.37 | 75830 | 210 | 417.07 | 6-7" | 28 | 198.60 |
| 9 | 1.ONS-09 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.14 | 29.90 | 180 | 12785 | 2.38 | 80250 | 210 | 446.06 | 6-7" | 28 | 212.41 |
| 10 | 1.ONS-10 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.25 | 30.10 | 183 | 12695 | 2.31 | 79970 | 210 | 437.82 | 6-7" | 28 | 208.49 |
| 11 | 1.ONS-11 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.17 | 30.60 | 181 | 12815 | 2.32 | 83700 | 210 | 463.39 | 6-7" | 28 | 220.66 |
| 12 | 1.ONS-12 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.24 | 30.20 | 182 | 12455 | 2.26 | 80172 | 210 | 439.50 | 6-7" | 28 | 209.29 |
| 13 | 1.ONS-13 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.07 | 30.20 | 178 | 12805 | 2.38 | 86880 | 210 | 487.08 | 6-7" | 56 | 231.94 |
| 14 | 1.ONS-14 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.21 | 30.50 | 182 | 12935 | 2.34 | 87850 | 210 | 483.81 | 6-7" | 56 | 230.39 |
| 15 | 1.ONS-15 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.09 | 30.30 | 179 | 13855 | 2.56 | 86350 | 210 | 482.83 | 6-7" | 56 | 229.92 |
| 16 | 1.ONS-16 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.17 | 30.10 | 181 | 12790 | 2.35 | 89980 | 210 | 492.63 | 6-7" | 56 | 234.58 |
| 17 | 1.ONS-17 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.04 | 30.50 | 178 | 12730 | 2.35 | 86490 | 210 | 486.83 | 6-7" | 56 | 231.82 |
| 18 | 1.ONS-18 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.25 | 30.10 | 183 | 12740 | 2.32 | 89960 | 210 | 492.51 | 6-7" | 56 | 234.53 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Estos documentos no podran ser reproducidos total ni parcialmente, sin la autorización del laboratorio de la EPIC



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES - FICA
MSc. Ing. Gino F. Laque Cordova
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO"
 SOLICITADO POR : SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 MUESTRA : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
 DISEÑO : Briquetas de concreto patron + 1.0% de nanosilice, SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 RESPONSABLE : F_c = 210 Kg/cm²
 FECHA DE EMISIÓN : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (Kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL (gr/cm ³) | | DISEÑO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | 1.ONS,SCD-01 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.21 | 30.60 | 181.70 | 13085 | 2.35 | 41430 | 210 | 228.02 | 6-7" | 7 | 108.58 |
| 2 | 1.ONS,SCD-02 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.40 | 180.98 | 12925 | 2.35 | 42630 | 210 | 235.55 | 6-7" | 7 | 112.17 |
| 3 | 1.ONS,SCD-03 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.28 | 30.40 | 183.37 | 12975 | 2.33 | 39010 | 210 | 212.73 | 6-7" | 7 | 101.30 |
| 4 | 1.ONS,SCD-04 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.10 | 180.86 | 12754 | 2.34 | 38550 | 210 | 213.15 | 6-7" | 7 | 101.50 |
| 5 | 1.ONS,SCD-05 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.30 | 180.98 | 1305 | 0.24 | 42420 | 210 | 234.39 | 6-7" | 7 | 111.61 |
| 6 | 1.ONS,SCD-06 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.60 | 180.86 | 12855 | 2.32 | 38970 | 210 | 215.47 | 6-7" | 7 | 102.60 |
| 7 | 1.ONS,SCD-07 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.21 | 30.00 | 181.58 | 12750 | 2.34 | 75800 | 210 | 417.45 | 6-7" | 28 | 198.79 |
| 8 | 1.ONS,SCD-08 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.24 | 29.90 | 182.42 | 13860 | 2.54 | 75380 | 210 | 413.23 | 6-7" | 28 | 196.78 |
| 9 | 1.ONS,SCD-09 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.18 | 30.60 | 180.86 | 13125 | 2.37 | 75070 | 210 | 415.07 | 6-7" | 28 | 197.65 |
| 10 | 1.ONS,SCD-10 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.10 | 29.80 | 179.08 | 12735 | 2.39 | 75630 | 210 | 422.33 | 6-7" | 28 | 201.11 |
| 11 | 1.ONS,SCD-11 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.23 | 30.60 | 182.18 | 13120 | 2.35 | 74130 | 210 | 406.91 | 6-7" | 28 | 193.77 |
| 12 | 1.ONS,SCD-12 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.18 | 30.40 | 180.86 | 13020 | 2.37 | 75530 | 210 | 417.61 | 6-7" | 28 | 198.86 |
| 13 | 1.ONS,SCD-13 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.16 | 30.30 | 180.39 | 12975 | 2.37 | 77070 | 210 | 427.25 | 6-7" | 56 | 203.45 |
| 14 | 1.ONS,SCD-14 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.23 | 30.40 | 182.18 | 12975 | 2.34 | 80130 | 210 | 439.85 | 6-7" | 56 | 209.45 |
| 15 | 1.ONS,SCD-15 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.16 | 30.40 | 180.39 | 12955 | 2.36 | 85360 | 210 | 473.21 | 6-7" | 56 | 225.34 |
| 16 | 1.ONS,SCD-16 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.22 | 30.10 | 181.94 | 12755 | 2.33 | 84700 | 210 | 465.55 | 6-7" | 56 | 221.69 |
| 17 | 1.ONS,SCD-17 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.20 | 30.40 | 181.46 | 12965 | 2.35 | 81330 | 210 | 448.20 | 6-7" | 56 | 213.43 |
| 18 | 1.ONS,SCD-18 | 03/02/2017 | 03/04/2017 | 15.26 | 30.20 | 182.89 | 12895 | 2.33 | 83730 | 210 | 457.81 | 6-7" | 56 | 218.00 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Estos documentos no podran ser reproducidos total ni parcialmente, sin la autorizacion del laboratorio de la EPIC UNA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



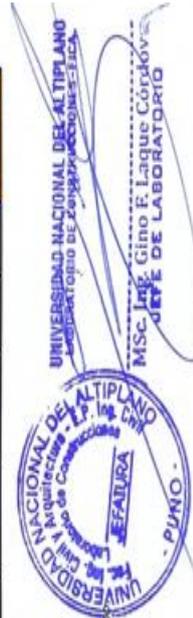
ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO
 SOLICITADO POR : SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 MUESTRA : Brich. Tercer Anillo. EL ISMAN v. Brich. Memorial Cívico HUAN HUYE
 DISEÑO : Brichetas de concreto patron + 1.5% de nanosilice
 RESPONSABLE : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 FECHA DE EMISIÓN : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|-------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL. (gr/cm ³) | | DISEÑO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | 1.5NS-01 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.16 | 30.10 | 180.51 | 13085 | 2.41 | 55490 | 210 | 307.42 | 6-7" | 7 | 146.39 |
| 2 | 1.5NS-02 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.12 | 30.20 | 179.44 | 12975 | 2.39 | 53070 | 210 | 295.76 | 6-7" | 7 | 140.84 |
| 3 | 1.5NS-03 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.16 | 30.10 | 180.51 | 13505 | 2.49 | 52790 | 210 | 292.46 | 6-7" | 7 | 139.27 |
| 4 | 1.5NS-04 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.17 | 29.90 | 180.62 | 12875 | 2.38 | 56700 | 210 | 313.91 | 6-7" | 7 | 149.48 |
| 5 | 1.5NS-05 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.18 | 30.20 | 180.98 | 12905 | 2.36 | 53910 | 210 | 297.88 | 6-7" | 7 | 141.85 |
| 6 | 1.5NS-06 | 09/02/2017 | 17/02/2017 | 15.05 | 29.80 | 177.90 | 13505 | 2.55 | 50690 | 210 | 284.94 | 6-7" | 7 | 135.69 |
| 7 | 1.5NS-07 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.22 | 30.10 | 181.94 | 12890 | 2.35 | 90340 | 210 | 496.55 | 6-7" | 28 | 236.45 |
| 8 | 1.5NS-08 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.15 | 30.00 | 180.27 | 13030 | 2.41 | 87700 | 210 | 486.50 | 6-7" | 28 | 231.67 |
| 9 | 1.5NS-09 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.21 | 30.70 | 181.58 | 13275 | 2.38 | 80750 | 210 | 444.71 | 6-7" | 28 | 211.77 |
| 10 | 1.5NS-10 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.10 | 30.10 | 179.08 | 12890 | 2.39 | 89070 | 210 | 497.38 | 6-7" | 28 | 236.85 |
| 11 | 1.5NS-11 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.05 | 30.50 | 177.90 | 12865 | 2.37 | 88900 | 210 | 499.73 | 6-7" | 28 | 237.97 |
| 12 | 1.5NS-12 | 13/02/2017 | 13/03/2017 | 15.16 | 30.40 | 180.39 | 13275 | 2.42 | 93700 | 210 | 519.44 | 6-7" | 28 | 247.35 |
| 13 | 1.5NS-13 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.04 | 30.60 | 177.66 | 13125 | 2.41 | 93540 | 210 | 526.52 | 6-7" | 56 | 250.72 |
| 14 | 1.5NS-14 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.16 | 30.60 | 180.51 | 13225 | 2.39 | 87940 | 210 | 487.19 | 6-7" | 56 | 231.99 |
| 15 | 1.5NS-15 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.00 | 30.00 | 176.72 | 12580 | 2.37 | 91630 | 210 | 518.52 | 6-7" | 56 | 246.91 |
| 16 | 1.5NS-16 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.13 | 30.30 | 179.67 | 12970 | 2.38 | 99020 | 210 | 551.11 | 6-7" | 56 | 262.44 |
| 17 | 1.5NS-17 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.13 | 30.40 | 179.67 | 13020 | 2.38 | 93270 | 210 | 519.11 | 6-7" | 56 | 247.20 |
| 18 | 1.5NS-18 | 02/02/2017 | 30/03/2017 | 15.18 | 30.50 | 180.86 | 13740 | 2.49 | 89940 | 210 | 497.28 | 6-7" | 56 | 236.80 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Estos documentos no podran ser reproducido total ni parcialmente, sin la autorizacion del laboratorio de la EPIC UNA Puno





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

REFERENCIA : ASTM C39, AASTHO T22
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO SOMETIDO A CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO EN LA CIUDAD DE PUNO"
 SOLICITADO POR : Bach. Lopez Ampuero, ELISMAN y Bach. Mamani Copari, JUAN JOSE
 MUESTRA : Briqueta de concreto patron + 1.5% de nanosilice, SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO
 DISEÑO : F_c = 210 Kg/cm²
 RESPONSABLE : Mg. Ing. Gino Laque Cordova
 FECHA DE EMISIÓN : 17 de Abril del 2017

| PROB. Nro. | DESCRIPCIÓN | FECHA DE MOLDE | FECHA DE ROTURA | DIMENSIONES | | AREA (cm ²) | PESO VOLUMETRICO | | LECTURA DEL DIAL (Kg) | RESISTENCIA | | SLUMP (PULG) | EDAD (DIAS) | % DE RESISTENCIA |
|------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|
| | | | | DIAMETRO (cm) | ALTURA (cm) | | PESO (gr) | PESO VOL (gr/cm ³) | | DISEÑO Kg/cm ² | ROTURA Kg/cm ² | | | |
| 1 | 1.5NS,SCD-01 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.30 | 180.98 | 12975 | 2.37 | 52520 | 210 | 290.20 | 6-7" | 7 | 138.19 |
| 2 | 1.5NS,SCD-02 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.22 | 30.30 | 181.94 | 13505 | 2.45 | 55080 | 210 | 302.74 | 6-7" | 7 | 144.16 |
| 3 | 1.5NS,SCD-03 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.14 | 30.10 | 180.03 | 12805 | 2.36 | 55750 | 210 | 309.67 | 6-7" | 7 | 147.46 |
| 4 | 1.5NS,SCD-04 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.15 | 30.60 | 180.15 | 13254 | 2.40 | 50450 | 210 | 280.05 | 6-7" | 7 | 133.36 |
| 5 | 1.5NS,SCD-05 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.18 | 30.00 | 180.86 | 13050 | 2.41 | 57200 | 210 | 316.26 | 6-7" | 7 | 150.60 |
| 6 | 1.5NS,SCD-06 | 08/02/2017 | 16/02/2017 | 15.06 | 30.20 | 178.01 | 12975 | 2.41 | 53940 | 210 | 303.01 | 6-7" | 7 | 144.29 |
| 7 | 1.5NS,SCD-07 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.16 | 30.20 | 180.51 | 13130 | 2.41 | 81420 | 210 | 451.07 | 6-7" | 28 | 214.79 |
| 8 | 1.5NS,SCD-08 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.11 | 30.10 | 179.20 | 12825 | 2.38 | 88580 | 210 | 494.31 | 6-7" | 28 | 235.39 |
| 9 | 1.5NS,SCD-09 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.05 | 30.50 | 177.90 | 13075 | 2.41 | 89700 | 210 | 504.23 | 6-7" | 28 | 240.11 |
| 10 | 1.5NS,SCD-10 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.21 | 30.40 | 181.58 | 13310 | 2.41 | 84950 | 210 | 467.84 | 6-7" | 28 | 222.78 |
| 11 | 1.5NS,SCD-11 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.15 | 30.30 | 180.15 | 12905 | 2.36 | 92700 | 210 | 514.58 | 6-7" | 28 | 245.04 |
| 12 | 1.5NS,SCD-12 | 14/02/2017 | 14/03/2017 | 15.17 | 30.20 | 180.74 | 12980 | 2.38 | 89140 | 210 | 493.19 | 6-7" | 28 | 234.85 |
| 13 | 1.5NS,SCD-13 | 03/02/2017 | 03/03/2017 | 15.25 | 30.50 | 182.53 | 12990 | 2.33 | 93980 | 210 | 514.86 | 6-7" | 56 | 245.17 |
| 14 | 1.5NS,SCD-14 | 03/02/2017 | 03/03/2017 | 15.23 | 30.50 | 182.18 | 13035 | 2.35 | 93060 | 210 | 510.83 | 6-7" | 56 | 243.25 |
| 15 | 1.5NS,SCD-15 | 03/02/2017 | 03/03/2017 | 15.20 | 30.60 | 181.46 | 12705 | 2.29 | 95440 | 210 | 525.96 | 6-7" | 56 | 250.46 |
| 16 | 1.5NS,SCD-16 | 03/02/2017 | 03/03/2017 | 15.24 | 30.60 | 182.42 | 13005 | 2.33 | 92040 | 210 | 504.56 | 6-7" | 56 | 240.27 |
| 17 | 1.5NS,SCD-17 | 03/02/2017 | 03/03/2017 | 15.16 | 30.40 | 180.39 | 12910 | 2.35 | 90490 | 210 | 501.65 | 6-7" | 56 | 238.88 |
| 18 | 1.5NS,SCD-18 | 03/02/2017 | 03/03/2017 | 15.17 | 30.30 | 180.62 | 12975 | 2.37 | 93120 | 210 | 515.55 | 6-7" | 56 | 245.50 |

Observaciones:

- El peso de la muestra cumple con lo especificado en la norma.
- La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.
- Estos documentos no podran ser reproducidos total ni parcialmente, sin la autorizacion del laboratorio de la EPIC.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES - PICA
MSc. ING. Gino F. Laque Cordova
JEFE DE LABORATORIO

ANEXO C: CONTROLES DE CALIDAD

ANEXO C-1: CERTIFICADO DE CALIDAD DEL CEMENTO.

CERTIFICADO DE CALIDAD



RUMI

CEMENTO PORTLAND TIPO IP

| | YURA | ASTM C 595 NTP 334.090 |
|--------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------|
| <u>REQUERIMIENTOS QUIMICOS:</u> | | |
| Óxido de Magnesio, MgO, % | 1.54 | 6.00 Máximo |
| Trióxido de Azufre, SO ₃ , % | 1.80 | 4.00 Máximo |
| Pérdida por ignición o al Fuego, P.F % | 2.33 | 5.00 Máximo |
| <u>REQUERIMIENTOS FISICOS:</u> | | |
| Peso Específico (g/cm ³) | 2.82 | No Especifica |
| Expansión en Autoclave, % | -0.03 | 0.80 Máximo |
| Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos | | |
| Tiempo de Fraguado (Inicial) | 224 | 45 Mínimo |
| Tiempo de Fraguado (Final) | 269 | 420 Máximo |
| Contenido de Aire del mortero, % | 3.59 | 12.00 Máximo |
| Superficie específica Blaine | 4961 | No Especifica |
| Resistencia a la Compresión, MPa, (Kg/cm²) | | Mínimo : |
| 01 día | 10.22 (104) | No Especifica |
| 03 días | 20.01 (204) | 13.0 (133) |
| 07 días | 24.20 (247) | 20.0 (204) |
| 28 días | 32.23 (329) | 25.0 (255) |

Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes de Diciembre confirmando que este cemento cumple especificaciones de las normas ASTM C- 595 y NTP 334.090

Arequipa, 02 de Enero 2017



Gonzalo Álvarez Cárdenas
 Jefe de Control de Calidad
 Yura S.A.

Planta: Carretera Yura Km. 26 - Arequipa
 Oficina comercial: Av. General Díaz Canevaro 527 - Arequipa
 Telf.: (51 04) 495060 / 225000

ANEXO D: ADITIVO NANOSÍLICE

ANEXO D-1: FICHA TÉCNICA DEL NANOSÍLICE AQUA 206.

Industrias Ulmen S.A. Aditivos para concreto



Aqua 206

Reductor de agua de alto poder-Acelerante

Fecha de Emisión: Sept 2, 16
Revisión: 0
Fecha de Revisión:
Página: 1 de 1

Descripción

Aqua 206 pertenece a la línea GAIA NANOSILICE, donde las reacciones químicas en la mezcla cementicia convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento.

Es adicionante, líquido, para los cementos usados en la elaboración de elementos prefabricados

Aspectos Técnicos

Aqua 206 los hemos diseñado especialmente para conseguir 300 kgf/cm² a 18 horas, sin necesidad de utilizar curado al vapor.

Aporta mantención de la trabajabilidad al concreto, sin afectar el desarrollo de las resistencias tempranas.

Reducción de costo

Permite disminuir la cantidad de cemento para cumplir con la resistencia de diseño

Elimina el uso de vapor y acorta los tiempos de desmolde. Consecuencialmente, la disminución en las actividades operacionales es notable.

Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008



Dosis

Recomendamos dosis de 0,9 a 1,5% sobre peso del cemento. A fin de optimizar la aplicación, agradecemos contactar al servicio técnico ULMEN (vía e-mail es suficiente)

Presentación

En cilindro plástico de 220 kg
En dispenser retornable de 1.000 kg

Propiedades Físicas

Color : Blanco
Densidad : 1,09 ± 0,02 g/mL
pH : 7 ± 1
Viscosidad : 97 ± 2 (s) (C. Ford No. 4)
Sólidos : 44 ± 3 %

Las Vertientes, Calle 4. Mza C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima – Perú
Teléfonos: (51-1) 719.41.26 / 719.41.27

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl

ANEXO D-2: CERTIFICADO DE CALIDAD DEL NANOSÍLICE AQUA 206.



Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento técnico de INDUSTRIAS ULMEN S.A. Certifica que el producto que se indica cumple los requisitos de uniformidad indicados en la norma ASTM C494 y con nuestros estándares de calidad.

Producto : AQUA-206
 Lote : 6780916
 Fabricado : 20/09/2016
 Vence : MARZO /2017

Los parámetros controlados se muestran a continuación

| ENSAYO | ESPECIFICACIÓN | RESULTADO |
|------------|-------------------|-----------|
| Densidad | 1,09 ±0,02 (g/mL) | 1,096 |
| Viscosidad | 97 ± 2 (seg) | 95 seg |
| pH | 7. ± 1 | 7,2 |

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008


 Encargado Control de Calidad
 Industrias Ulmen S.A.



www.ulmen.cl

ulmen@ulmen.cl

ANEXO D-3: HOJA DE SEGURIDAD DEL NANOSÍLICE AQUA 206.



HOJA DE SEGURIDAD

AQUA 206

Fecha de Emisión: Sept 2, 16
 Revisión:
 Fecha de Revisión:
 Página 1 de 2

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

| | | |
|---------------------|---|----------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del producto | : | AQUA 206 |
| Clasificación | : | Aditivo para Concretos |
| Vida útil | : | 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado |
| | : | Por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008 |
| Proveedor | : | INDUSTRIAS ULMEN S.A. |
| E-mail | : | atencionalcliente@ulmen.cl |
| Página Web | : | www.ulmen.cl |
| Fono planta | : | (51-1) 7194126 |
| Fono Emergencia | : | (56 -2) 25952838 |



Toda llamada de emergencia dentro y/o fuera del país será reembolsada previa revisión

SECCION 2: COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

| | | |
|-----------------|---|--------------------------------------------------|
| Nombre químico | : | Mezcla de nanosíllice y ácidos poli-carboxílicos |
| Fórmula química | : | Confidencial |
| Nº CAS | : | No aplica |

SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

| | | | |
|------------------------|---|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Marca en etiqueta | : | Rombo NFPA |  |
| | : | Clasificación de Salud (1) / Inflamabilidad (0) | |
| | : | Reactividad (0) / Riesgo Especial (0) | |
| Riesgos | : | Ninguno | |
| Peligros para la salud | : | Ninguno | |

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

| | | |
|-----------------------|---|------------------------------------------------------------|
| Contacto con los ojos | : | Lavar con abundante agua durante 15 min. Referir al médico |
| Contacto con la piel | : | Lavar de inmediato con agua y jabón |
| Inhalación | : | Dar aire fresco si fuese necesario |
| Ingestión | : | Enjuagar boca con agua tibia. Referir al médico |

SECCION 5: MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

| | | |
|---------------------|---|--------------------------------------------------------------------|
| Agentes extintores | : | No inflamable ni combustible. Actuar según tipo de fuego existente |
| Protección especial | : | Ninguna |
| Proce. Especiales | : | No aplica |
| Riesgo explosión | : | No aplica |

SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

| | | |
|------------------------|---|--------------------------------|
| Medidas de emergencia | : | Lavar con agua y trapear |
| Protección personal | : | Antiparras y guantes |
| Daños al ambiente | : | Ninguno, líquido inofensivo |
| Métodos de eliminación | : | Tratar como líquido inofensivo |

SECCION 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

| | | |
|----------------|---|-----------------------------------|
| Manipulación | : | Usar antiparras y guantes |
| Almacenamiento | : | Almacenar en lugar fresco y seco |
| Embalajes | : | Almacenar sólo en envase original |

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN ESPECIAL

| | | |
|-------------------------|---|----------------|
| Medidas por exposición | : | No se requiere |
| Protección respiratoria | : | No se requiere |
| Protección de los ojos | : | Antiparras |

www.cognoscibletechnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl



HOJA DE SEGURIDAD

AQUA 206

Fecha de Emisión: Sept 2, 16
Revisión:
Fecha de Revisión:
Página 2 de 2

SECCION 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

| | | |
|------------------------------------|---|---------------------------------------------|
| Estado físico | : | Líquido |
| Color | : | Café Claro |
| Olor | : | Característico |
| pH | : | 7 ± 1 |
| Densidad a 20° C | : | 1,09 ± 0,02 (g/mL) |
| Viscosidad (Copa Ford N°4) | : | 97 ± 2 seg. |
| Inflamación, Combustión, Explosión | : | No inflamable, No combustible, No explosivo |
| Solubilidad | : | Completamente soluble en agua |

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | | |
|-------------|---|-----------------------------------|
| Estabilidad | : | Estable bajo condiciones normales |
| Reactividad | : | Ninguna |

SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

| | | |
|----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Toxicidad aguda | : | Por ingestión, dosis > 4000 mg/kg |
| Efectos peligrosos para la salud | : | Ninguno |

SECCION 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

| | | |
|------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inestabilidad | : | Estable |
| Persistencia/ degradabilidad | : | Los métodos para determinación de la biodegradabilidad No son aplicables a sustancias inorgánicas |
| Bio-acumulación | : | No aplica |

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

| | | |
|------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------|
| Método de eliminación del producto | : | Debe tratarse como líquido inofensivo |
| Eliminación de envases | : | Depositar en vertedero autorizado según Legislación vigente |

SECCION 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

| | | |
|-----------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------|
| Para Transporte Marítimo | : | Sin regulación |
| Precauciones para Transporte Marítimo | : | Comprobar que el recipiente este cerrado herméticamente |
| Clasificación NFPA | : | Salud: 1/Inflamabilidad: 0/Reactividad: 0/Riesgo específico: 0 |
| Clasificación IATA (56th edition, 2015) | : | No es regulado como producto peligroso |

SECCION 15: NORMAS VIGENTES

| | | |
|-----------------------------------|---|--------------|
| Normas internacionales aplicables | : | ASTMC-494 |
| Normas nacionales aplicables | : | Ley N° 28256 |
| Marca en etiqueta | : | Código NFPA |

SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES

El formato de esta hoja de seguridad cumple con ley N° 28256, Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.

La información contenida se entrega de buena fe y voluntariamente. ULMEN S.A. no se hace responsable por el buen o mal uso de esta información. Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, ULMEN S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto. Las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

www.cognoscibletechnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl

ANEXO E: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

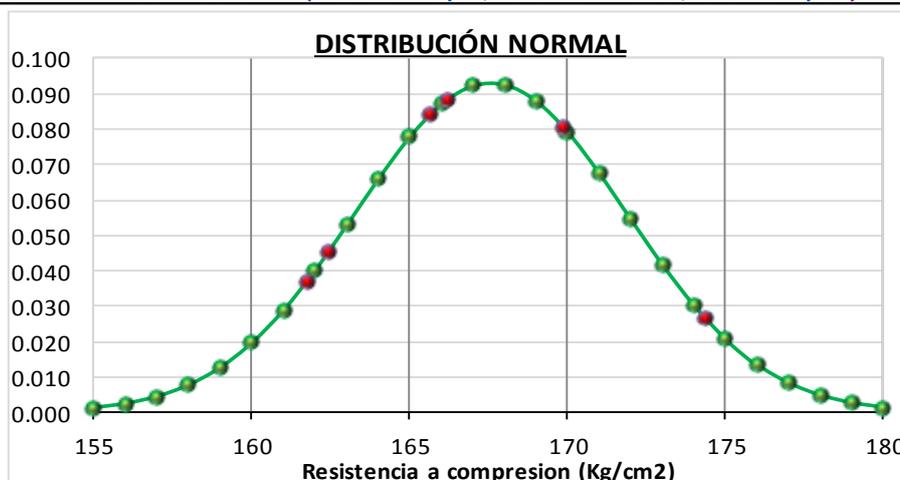
tabla 1.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------|---------|
| | | CP-01 | 174.36 |
| | | CP-02 | 166.21 |
| | | CP-03 | 165.66 |
| | | CP-04 | 169.85 |
| | | CP-05 | 162.40 |
| | | CP-06 | 161.73 |

tabla 1.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | X_i | f_i | F_i | $f_i \cdot X_i$ | $X_i - u$ | $(X_i - u)^2$ | $f_i \cdot (X_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|-------|-----------------|-----------|---------------|-------------------------|
| [161.73 165.23 > | 163.4806 | 2 | 2 | 326.9611 | -5.25 | 27.5625 | 55.125 |
| [165.23 168.73 > | 166.9806 | 2 | 4 | 333.9611 | -1.75 | 3.0625 | 6.125 |
| [168.73 172.23 > | 170.4806 | 1 | 5 | 170.4806 | 1.75 | 3.0625 | 3.0625 |
| [172.23 175.73 > | 173.9806 | 1 | 6 | 173.9806 | 5.25 | 27.5625 | 27.5625 |
| | 168.7306 | 6 | | 1005.383 | | 61.25 | 91.875 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 174.36 Xmin= 161.73 | 12.63 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 3.50 |
| MEDIA: u | | 167.56 |
| VARIANZA (S ²) | | 18.38 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 4.29 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 2.54 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 162.78 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 164.36 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 166.98 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 170.48 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 173.63 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.23 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.282 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

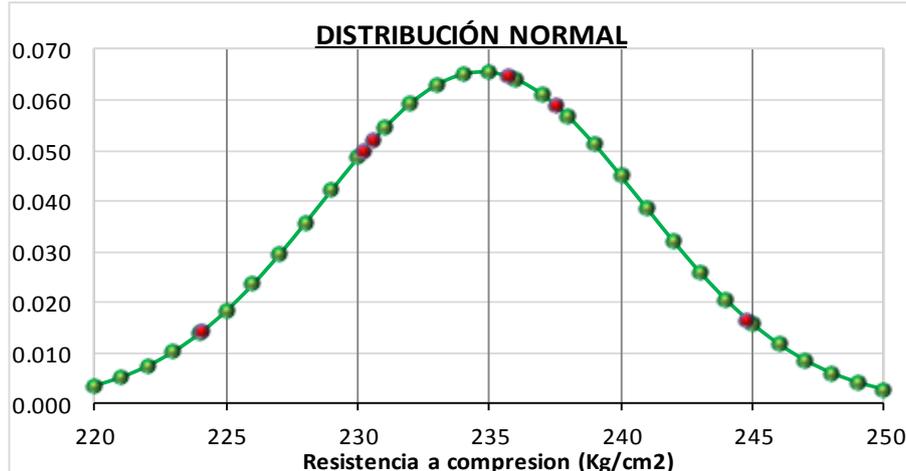
tabla 1.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------|---------|
| | | CP-07 | 237.50 |
| | | CP-08 | 244.81 |
| | | CP-09 | 235.72 |
| | | CP-10 | 230.21 |
| | | CP-11 | 230.58 |
| | | CP-12 | 224.08 |

tabla 1.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | X_i | f_i | F_i | $f_i \cdot X_i$ | $X_i - u$ | $(X_i - u)^2$ | $f_i \cdot (X_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|-------|-----------------|-----------|---------------|-------------------------|
| [224.08 229.88 > | 226.9776 | 1 | 1 | 226.9776 | -8.70 | 75.69 | 75.69 |
| [229.88 235.68 > | 232.7776 | 3 | 4 | 698.3329 | -2.90 | 8.41 | 25.23 |
| [235.68 241.48 > | 238.5776 | 1 | 5 | 238.5776 | 2.90 | 8.41 | 8.41 |
| [241.48 247.28 > | 244.3776 | 1 | 6 | 244.3776 | 8.70 | 75.69 | 75.69 |
| | 235.6776 | 6 | | 1408.266 | | 168.2 | 185.02 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 244.81 Xmin= 224.08 | 20.73 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 4.00 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 5.80 |
| MEDIA: u | | 234.71 |
| VARIANZA (S ²) | | 37.00 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 6.08 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 2.58 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 227.56 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 230.84 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 233.74 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 238.58 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 243.80 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.24 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.238 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

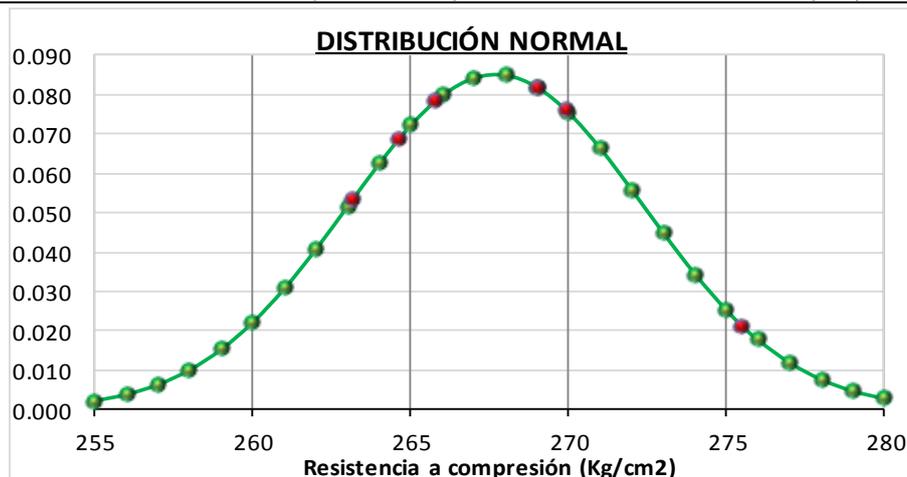
tabla 1.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------|---------|
| | | CP-13 | 269.00 |
| | | CP-14 | 275.48 |
| | | CP-15 | 269.92 |
| | | CP-16 | 263.15 |
| | | CP-17 | 264.64 |
| | | CP-18 | 265.77 |

tabla 1.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | X_i | f_i | F_i | $f_i \cdot X_i$ | $X_i - u$ | $(X_i - u)^2$ | $f_i \cdot (X_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|-------|-----------------|-----------|---------------|-------------------------|
| [263.15 266.55 > | 264.8491 | 3 | 3 | 794.5474 | -5.10 | 26.01 | 78.03 |
| [266.55 269.95 > | 268.2491 | 2 | 5 | 536.4983 | -1.70 | 2.89 | 5.78 |
| [269.95 273.35 > | 271.6491 | 0 | 5 | 0 | 1.70 | 2.89 | 0 |
| [273.35 276.75 > | 275.0491 | 1 | 6 | 275.0491 | 5.10 | 26.01 | 26.01 |
| | 269.9491 | 6 | | 1606.095 | | 57.8 | 109.82 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 275.48 Xmin= 263.15 | 12.33 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 3.40 |
| MEDIA: u | | 267.68 |
| VARIANZA (S ²) | | 21.96 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 4.69 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 1.74 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 263.83 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 264.85 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 266.55 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 269.10 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 274.71 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.50 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.195 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

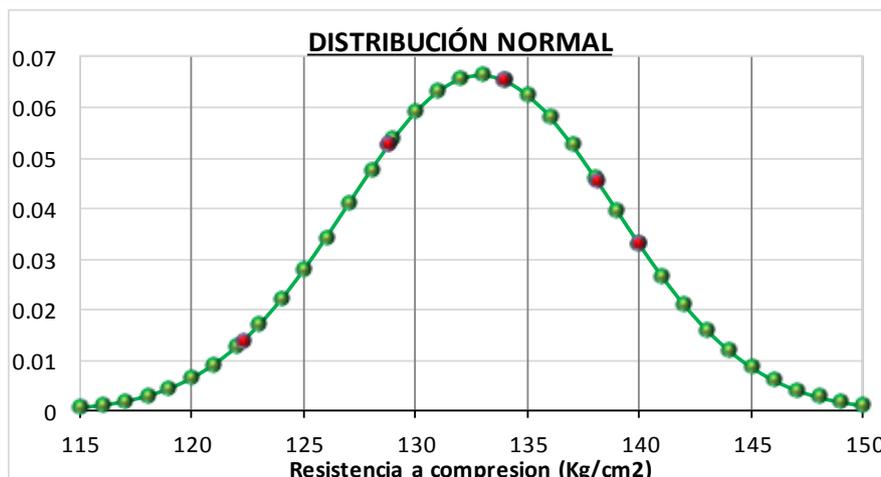
tabla 2.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|---------|
| | | CP,SCD-01 | 138.15 |
| CP,SCD-02 | 139.98 | | |
| CP,SCD-03 | 133.89 | | |
| CP,SCD-04 | 128.83 | | |
| CP,SCD-05 | 128.81 | | |
| CP,SCD-06 | 122.29 | | |

tabla 2.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | f_i | F_i | $f_i \cdot \bar{X}_i$ | $\bar{X}_i - u$ | $(\bar{X}_i - u)^2$ | $f_i \cdot (\bar{X}_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|-------|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|
| [122.29 127.19 > | 124.7367 | 1 | 1 | 124.7367 | -7.35 | 54.0225 | 54.0225 |
| [127.19 132.09 > | 129.6367 | 2 | 3 | 259.2734 | -2.45 | 6.0025 | 12.005 |
| [132.09 136.99 > | 134.5367 | 1 | 4 | 134.5367 | 2.45 | 6.0025 | 6.0025 |
| [136.99 141.89 > | 139.4367 | 2 | 6 | 278.8734 | 7.35 | 54.0225 | 108.045 |
| | 132.0867 | 6 | | 797.4202 | | 120.05 | 180.075 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 139.98 Xmin= 122.29 | 17.69 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.90 |
| MEDIA: u | | 132.90 |
| VARIANZA (S ²) | | 36.02 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 6.00 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 4.54 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 125.23 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 128.41 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 132.09 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 138.21 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 140.42 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.10 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.323 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

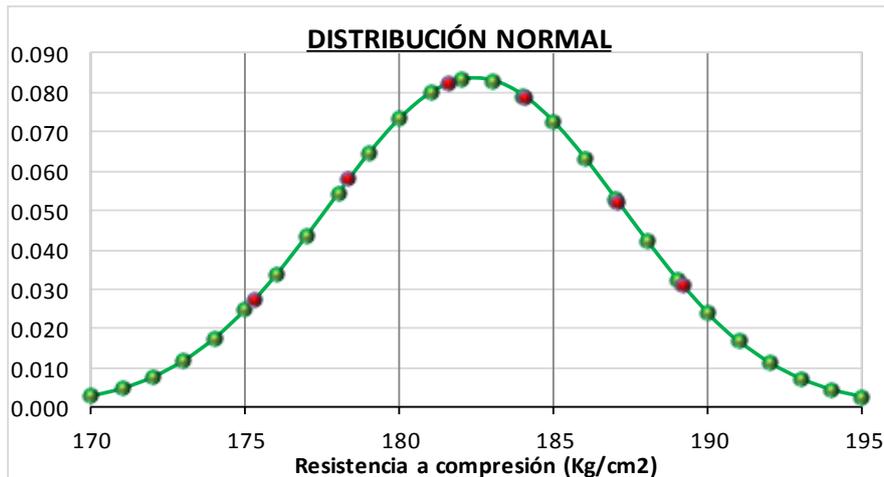
tabla 2.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|---------|
| | | CP,SCD-07 | 178.34 |
| CP,SCD-08 | 175.28 | | |
| CP,SCD-09 | 189.16 | | |
| CP,SCD-10 | 187.08 | | |
| CP,SCD-11 | 184.09 | | |
| CP,SCD-12 | 181.58 | | |

tabla 2.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | $\bar{X}_i - u$ | ($\bar{X}_i - u$) ² | fi.($\bar{X}_i - u$) ² |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| [175.28 179.18 > | 177.2311 | 2 | 2 | 354.4623 | -5.85 | 34.2225 | 68.445 |
| [179.18 183.08 > | 181.1311 | 1 | 3 | 181.1311 | -1.95 | 3.8025 | 3.8025 |
| [183.08 186.98 > | 185.0311 | 2 | 5 | 370.0623 | 1.95 | 3.8025 | 7.605 |
| [186.98 190.88 > | 188.9311 | 1 | 6 | 188.9311 | 5.85 | 34.2225 | 34.2225 |
| | 183.0811 | 6 | | 1094.587 | | 76.05 | 114.075 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 189.16 Xmin= 175.28 | 13.88 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 3.90 |
| MEDIA: u | | 182.43 |
| VARIANZA (S ²) | | 22.82 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 4.78 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 2.61 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 176.45 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 178.21 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 183.08 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 186.01 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 188.54 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | -0.10 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.323 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

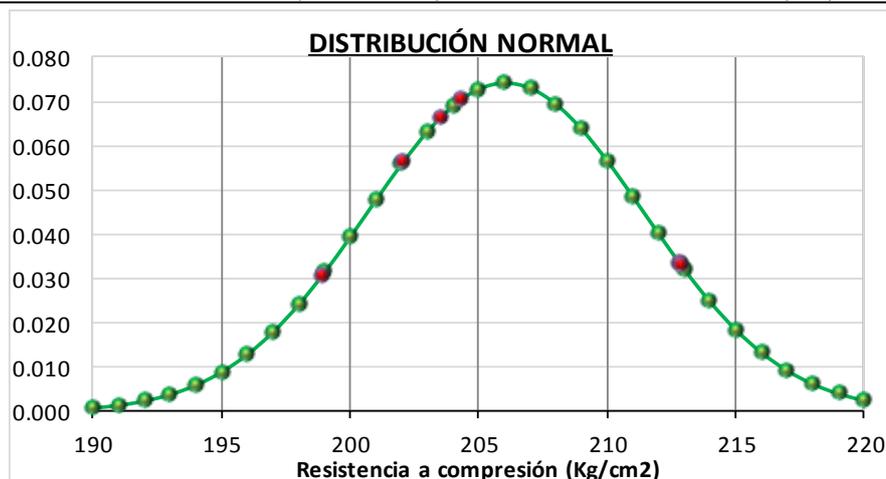
tabla 2.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|---------|
| | | CP,SCD-13 | 203.52 |
| CP,SCD-14 | 198.89 | | |
| CP,SCD-15 | 212.78 | | |
| CP,SCD-16 | 212.87 | | |
| CP,SCD-17 | 204.34 | | |
| CP,SCD-18 | 202.06 | | |

tabla 2.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | \bar{X}_i-u | $(\bar{X}_i-u)^2$ | fi.(\bar{X}_i-u) ² |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| [198.89 202.79 > | 200.8446 | 2 | 2 | 401.6892 | -5.85 | 34.2225 | 68.445 |
| [202.79 206.69 > | 204.7446 | 2 | 4 | 409.4892 | -1.95 | 3.8025 | 7.605 |
| [206.69 210.59 > | 208.6446 | 0 | 4 | 0 | 1.95 | 3.8025 | 0 |
| [210.59 214.49 > | 212.5446 | 2 | 6 | 425.0892 | 5.85 | 34.2225 | 68.445 |
| | 206.6946 | 6 | | 1236.268 | | 76.05 | 144.495 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 212.87 Xmin= 198.89 | 13.97 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.00 |
| MEDIA: u | | 3.90 |
| VARIANZA (S ²) | | 206.04 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 28.90 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 5.38 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 2.60 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 200.06 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 201.82 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 204.74 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 211.57 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 213.32 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.29 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó ;As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.368 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

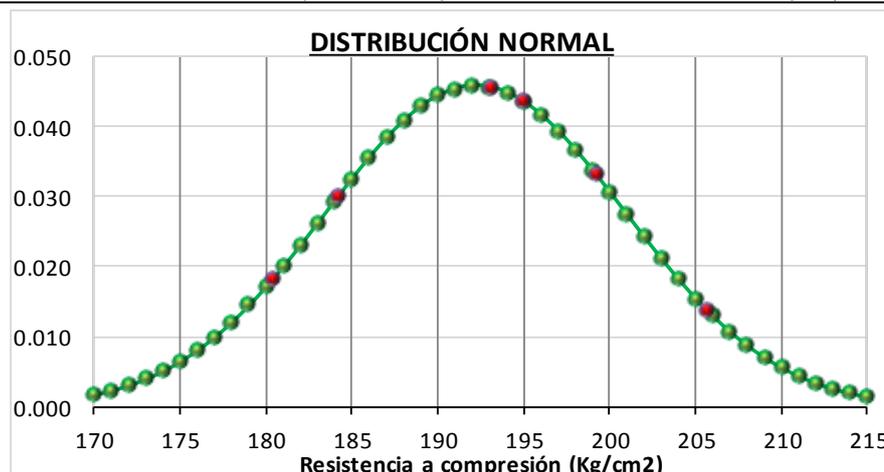
tabla 3.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 0.5% de nanosilice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 0.5NS-01 | 193.03 |
| 0.5NS-02 | 199.18 | | |
| 0.5NS-03 | 194.94 | | |
| 0.5NS-04 | 205.65 | | |
| 0.5NS-05 | 180.37 | | |
| 0.5NS-06 | 184.24 | | |

tabla 3.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|--------|---------------|----------------|
| [180.37 187.47 > | 183.9164 | 2 | 2 | 367.8327 | -10.65 | 113.4225 | 226.845 |
| [187.47 194.57 > | 191.0164 | 2 | 4 | 382.0327 | -3.55 | 12.6025 | 25.205 |
| [194.57 201.67 > | 198.1164 | 1 | 5 | 198.1164 | 3.55 | 12.6025 | 12.6025 |
| [201.67 208.77 > | 205.2164 | 1 | 6 | 205.2164 | 10.65 | 113.4225 | 113.4225 |
| | 194.5664 | 6 | | 1153.198 | | 252.05 | 378.075 |

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 205.65 Xmin= 180.37 | 25.28 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 7.10 |
| MEDIA: u | | 192.20 |
| VARIANZA (S ²) | | 75.61 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 8.70 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 4.47 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 182.50 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 185.69 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 191.02 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 198.12 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 204.51 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.23 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptos; As=0.263-->meso ;As>0.263-->platis) | 0.282 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

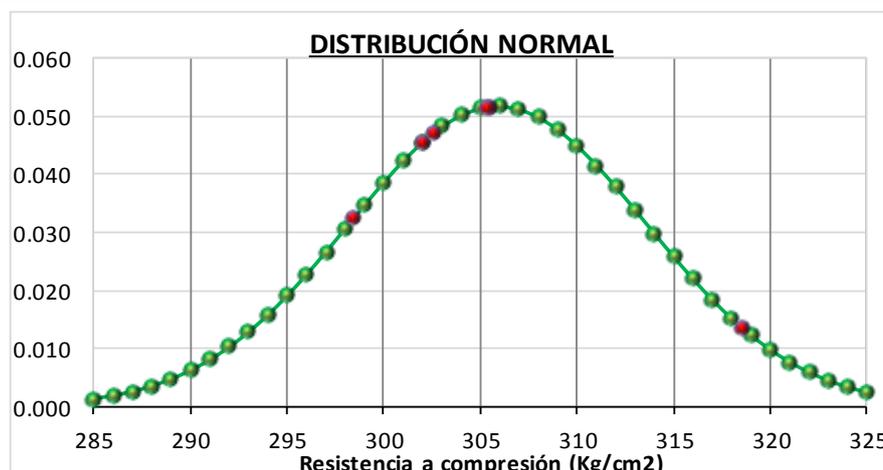
tabla 3.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 0.5% de nanosilice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 0.5NS-07 | 301.96 |
| 0.5NS-08 | 318.53 | | |
| 0.5NS-09 | 305.46 | | |
| 0.5NS-10 | 298.42 | | |
| 0.5NS-11 | 305.27 | | |
| 0.5NS-12 | 302.59 | | |

tabla 3.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | $\bar{X}_i - u$ | $(\bar{X}_i - u)^2$ | fi. $(\bar{X}_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| [298.42 304.02 > | 301.2243 | 3 | 3 | 903.6729 | -8.40 | 70.56 | 211.68 |
| [304.02 309.62 > | 306.8243 | 2 | 5 | 613.6486 | -2.80 | 7.84 | 15.68 |
| [309.62 315.22 > | 312.4243 | 0 | 5 | 0 | 2.80 | 7.84 | 0 |
| [315.22 320.82 > | 318.0243 | 1 | 6 | 318.0243 | 8.40 | 70.56 | 70.56 |
| | 309.6243 | 6 | | 1835.346 | | 156.8 | 297.92 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 318.53 Xmin= 298.42 | 20.10 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 5.60 |
| MEDIA: u | | 305.89 |
| VARIANZA (S ²) | | 59.58 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 7.72 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 2.49 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 299.54 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 301.22 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 304.02 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 312.42 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 317.46 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.50 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.313 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

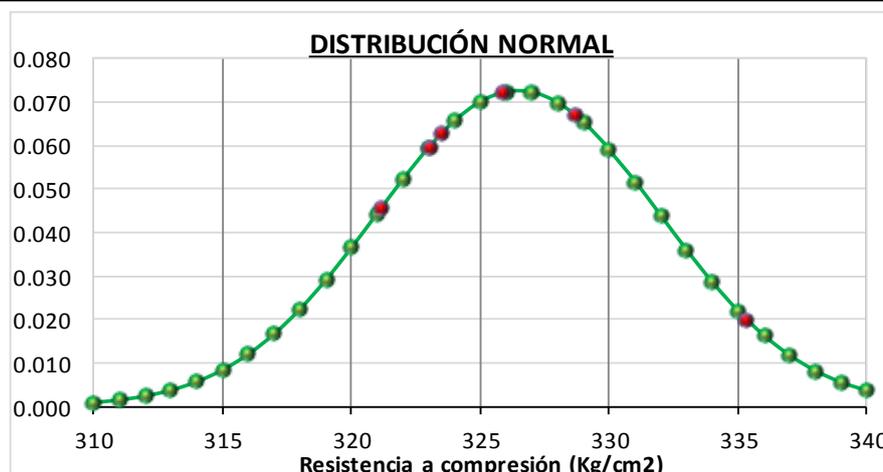
tabla 3.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 0.5% de nanosilice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 0.5NS-13 | 328.63 |
| 0.5NS-14 | 323.01 | | |
| 0.5NS-15 | 335.34 | | |
| 0.5NS-16 | 321.13 | | |
| 0.5NS-17 | 323.50 | | |
| 0.5NS-18 | 325.88 | | |

tabla 3.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-------|-----------|-------------|
| [321.13 325.13 > | 323.1281 | 3 | 3 | 969.3843 | -6.00 | 36 | 108 |
| [325.13 329.13 > | 327.1281 | 2 | 5 | 654.2562 | -2.00 | 4 | 8 |
| [329.13 333.13 > | 331.1281 | 0 | 5 | 0 | 2.00 | 4 | 0 |
| [333.13 337.13 > | 335.1281 | 1 | 6 | 335.1281 | 6.00 | 36 | 36 |
| | 329.1281 | 6 | | 1958.769 | | 80 | 152 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 335.34 Xmin= 321.13 | 14.21 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.00 |
| MEDIA: u | | 326.46 |
| VARIANZA (S ²) | | 30.40 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 5.51 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 1.68 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 321.93 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 323.13 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 325.13 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 328.13 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 334.73 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.50 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.195 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

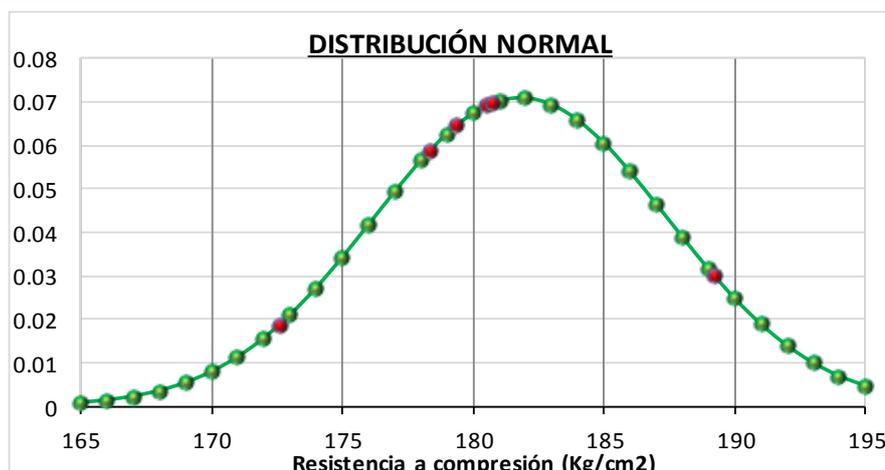
tabla 4.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 0.5% de nanosilice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|
| | | 0.5NS,SCD-01 | 180.53 |
| 0.5NS,SCD-02 | 189.25 | | |
| 0.5NS,SCD-03 | 178.37 | | |
| 0.5NS,SCD-04 | 172.62 | | |
| 0.5NS,SCD-05 | 179.39 | | |
| 0.5NS,SCD-06 | 180.73 | | |

tabla 4.1.1 Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-------|--------------|--------------|
| [172.62 177.22 > | 174.9174 | 1 | 1 | 174.9174 | -6.90 | 47.61 | 47.61 |
| [177.22 181.82 > | 179.5174 | 3 | 4 | 538.5522 | -2.30 | 5.29 | 15.87 |
| [181.82 186.42 > | 184.1174 | 0 | 4 | 0 | 2.30 | 5.29 | 0 |
| [186.42 191.02 > | 188.7174 | 2 | 6 | 377.4348 | 6.90 | 47.61 | 95.22 |
| | 181.8174 | 6 | | 1090.904 | | 105.8 | 158.7 |

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 189.25 Xmin= 172.62 | 16.63 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.60 |
| MEDIA: u | | 181.82 |
| VARIANZA (S ²) | | 31.74 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 5.63 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 3.10 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 175.38 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 177.98 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 180.28 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 187.57 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 189.64 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.31 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptos ;As=0.263-->meso ;As>0.263-->platis) | 0.336 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

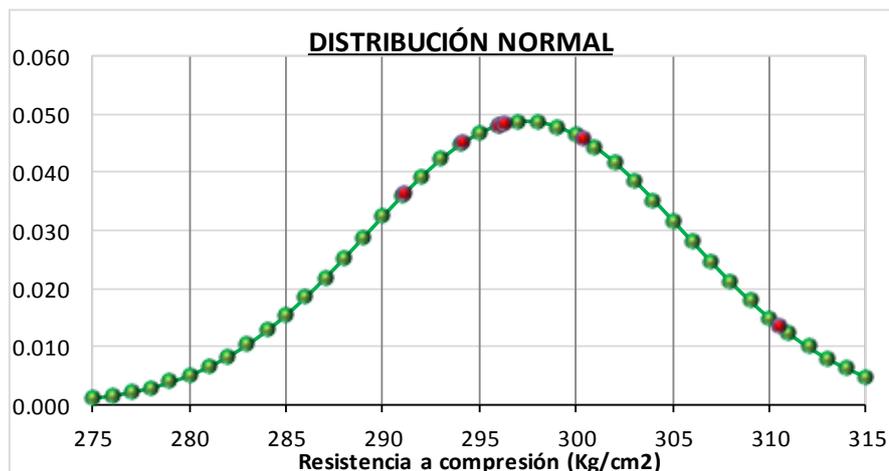
tabla 4.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 0.5% de nanosilice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------|----------------|
| | | 0.5NS,SCD-13 | 294.15 |
| | | 0.5NS,SCD-14 | 300.34 |
| | | 0.5NS,SCD-15 | 296.02 |
| | | 0.5NS,SCD-16 | 310.52 |
| | | 0.5NS,SCD-17 | 296.27 |
| | | 0.5NS,SCD-18 | 291.10 |

tabla 4.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | f_i | F_i | $f_i \cdot \bar{X}_i$ | $\bar{X}_i - u$ | $(\bar{X}_i - u)^2$ | $f_i \cdot (\bar{X}_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|-------|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|
| [291.10 296.50 > | 293.7972 | 4 | 4 | 1175.189 | -8.10 | 65.61 | 262.44 |
| [296.50 301.90 > | 299.1972 | 1 | 5 | 299.1972 | -2.70 | 7.29 | 7.29 |
| [301.90 307.30 > | 304.5972 | 0 | 5 | 0 | 2.70 | 7.29 | 0 |
| [307.30 312.70 > | 309.9972 | 1 | 6 | 309.9972 | 8.10 | 65.61 | 65.61 |
| | 301.8972 | 6 | | 1784.383 | | 145.8 | 335.34 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 310.52 Xmin= 291.10 | 19.42 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 5.40 |
| MEDIA: u | | 301.8972 |
| VARIANZA (S ²) | | 67.07 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 8.19 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 2.71 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 291.91 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 293.12 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 295.15 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 299.20 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 309.46 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.63 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó ;As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.173 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

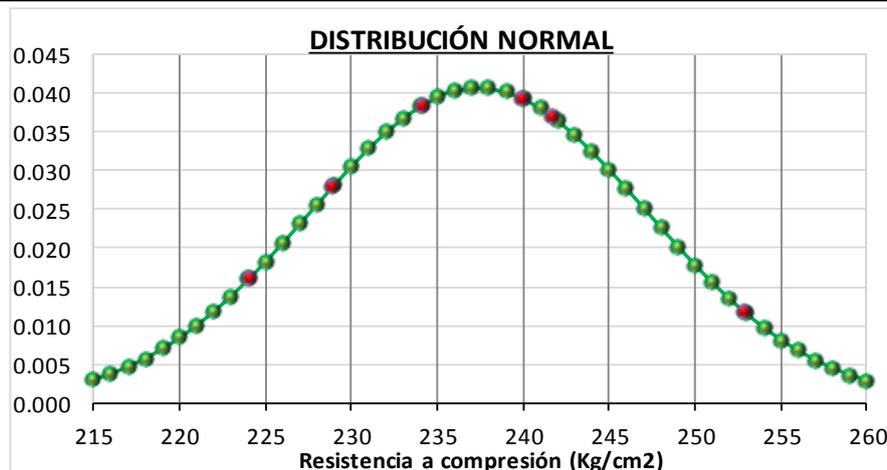
tabla 5.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón +1.0% de nanosílice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 1.0NS-01 | 234.11 |
| 1.0NS-02 | 241.67 | | |
| 1.0NS-03 | 239.95 | | |
| 1.0NS-04 | 228.89 | | |
| 1.0NS-05 | 224.07 | | |
| 1.0NS-06 | 252.83 | | |

tabla 5.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|--------|------------|-------------|
| [224.07 232.07 > | 228.0713 | 2 | 2 | 456.1426 | -12.00 | 144 | 288 |
| [232.07 240.07 > | 236.0713 | 2 | 4 | 472.1426 | -4.00 | 16 | 32 |
| [240.07 248.07 > | 244.0713 | 1 | 5 | 244.0713 | 4.00 | 16 | 16 |
| [248.07 256.07 > | 252.0713 | 1 | 6 | 252.0713 | 12.00 | 144 | 144 |
| | 240.0713 | 6 | | 1424.428 | | 320 | 480 |

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 252.83 Xmin= 224.07 | 28.76 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 8.00 |
| MEDIA: u | | 237.40 |
| VARIANZA (S ²) | | 96.00 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 9.80 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 4.08 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 226.47 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 230.07 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 236.07 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 244.07 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 251.27 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.23 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptos; As=0.263-->meso ;As>0.263-->platis) | 0.282 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

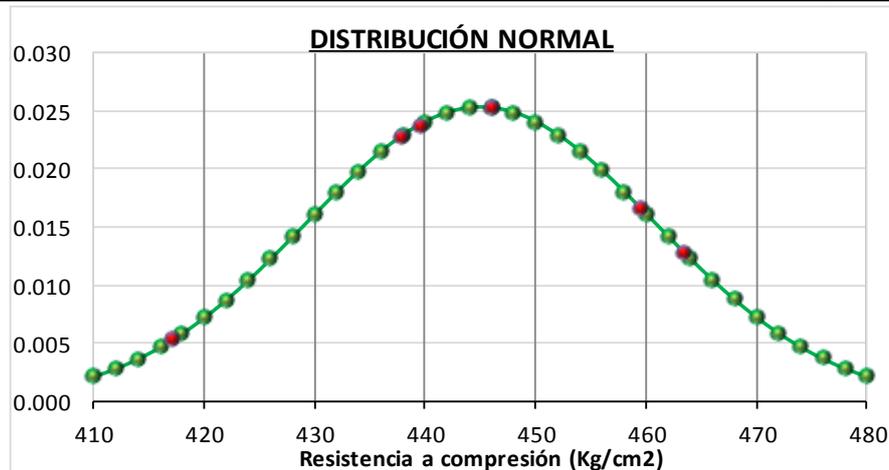
tabla 5.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón +1.0% de nanosílice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 1.0NS-07 | 459.45 |
| 1.0NS-08 | 417.07 | | |
| 1.0NS-09 | 446.06 | | |
| 1.0NS-10 | 437.82 | | |
| 1.0NS-11 | 463.39 | | |
| 1.0NS-12 | 439.50 | | |

tabla 5.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | \bar{X}_i-u | $(\bar{X}_i-u)^2$ | fi.(\bar{X}_i-u) ² |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| [417.07 429.97 > | 423.5174 | 1 | 1 | 423.5174 | -19.35 | 374.4225 | 374.4225 |
| [429.97 442.87 > | 436.4174 | 2 | 3 | 872.8348 | -6.45 | 41.6025 | 83.205 |
| [442.87 455.77 > | 449.3174 | 1 | 4 | 449.3174 | 6.45 | 41.6025 | 41.6025 |
| [455.77 468.67 > | 462.2174 | 2 | 6 | 924.4348 | 19.35 | 374.4225 | 748.845 |
| | 442.8674 | 6 | | 2670.104 | | 832.05 | 1248.075 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 463.39 | Xmin= 417.07 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.00 |
| MEDIA: u | | 445.02 |
| VARIANZA (S ²) | | 249.61 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 15.80 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 3.57 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 424.81 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 433.19 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 442.87 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 458.99 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 464.80 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.10 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.323 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

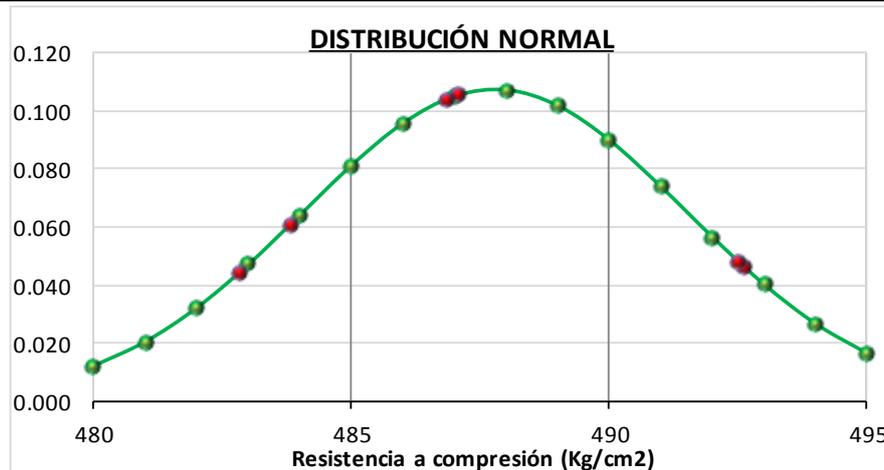
tabla 5.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón +1.0% de nanosílice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 1.0NS-13 | 487.08 |
| 1.0NS-14 | 483.81 | | |
| 1.0NS-15 | 482.83 | | |
| 1.0NS-16 | 492.63 | | |
| 1.0NS-17 | 486.83 | | |
| 1.0NS-18 | 492.51 | | |

tabla 5.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-------|--------------|---------------|
| [482.83 485.53 > | 484.1786 | 2 | 2 | 968.3572 | -4.05 | 16.4025 | 32.805 |
| [485.53 488.23 > | 486.8786 | 2 | 4 | 973.7572 | -1.35 | 1.8225 | 3.645 |
| [488.23 490.93 > | 489.5786 | 0 | 4 | 0 | 1.35 | 1.8225 | 0 |
| [490.93 493.63 > | 492.2786 | 2 | 6 | 984.5572 | 4.05 | 16.4025 | 32.805 |
| | 488.2286 | 6 | | 2926.671 | | 36.45 | 69.255 |

| | | |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 492.63 Xmin= 482.83 | 9.80 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 2.70 |
| MEDIA: u | | 487.78 |
| VARIANZA (S ²) | | 13.85 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 3.72 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 0.76 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 483.64 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 484.85 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 486.88 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 491.60 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 492.82 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.29 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó ; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.368 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

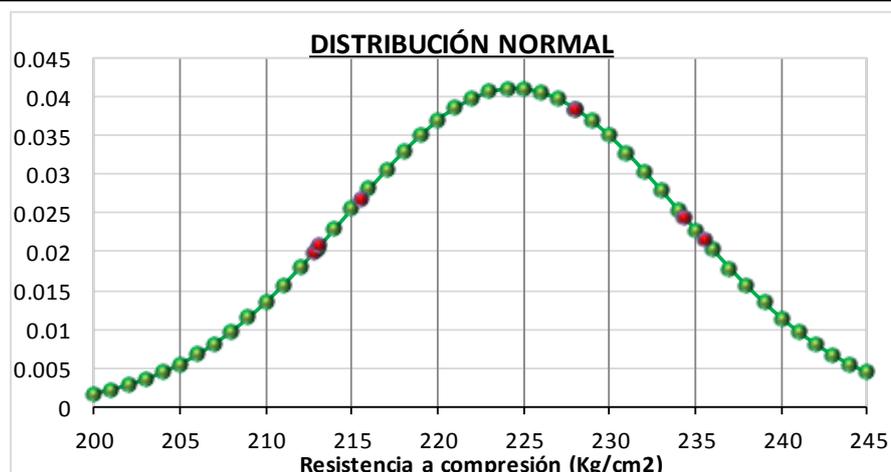
tabla 6.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón +1.0% de nanosílice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|
| | | 1.0NS,SCD-01 | 228.02 |
| 1.0NS,SCD-02 | 235.55 | | |
| 1.0NS,SCD-03 | 212.73 | | |
| 1.0NS,SCD-04 | 213.15 | | |
| 1.0NS,SCD-05 | 234.39 | | |
| 1.0NS,SCD-06 | 215.47 | | |

tabla 6.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-------|--------------|---------------|
| [212.73 219.13 > | 215.9347 | 3 | 3 | 647.8041 | -9.60 | 92.16 | 276.48 |
| [219.13 225.53 > | 222.3347 | 0 | 3 | 0 | -3.20 | 10.24 | 0 |
| [225.53 231.93 > | 228.7347 | 1 | 4 | 228.7347 | 3.20 | 10.24 | 10.24 |
| [231.93 238.33 > | 235.1347 | 2 | 6 | 470.2694 | 9.60 | 92.16 | 184.32 |
| | 225.5347 | 6 | | 1346.808 | | 204.8 | 471.04 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 235.55 Xmin= 212.73 | 22.81 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 6.40 |
| MEDIA: u | | 224.47 |
| VARIANZA (S ²) | | 94.21 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 9.71 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 4.30 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 214.01 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 215.93 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 219.13 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 233.53 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 236.41 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.54 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.393 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

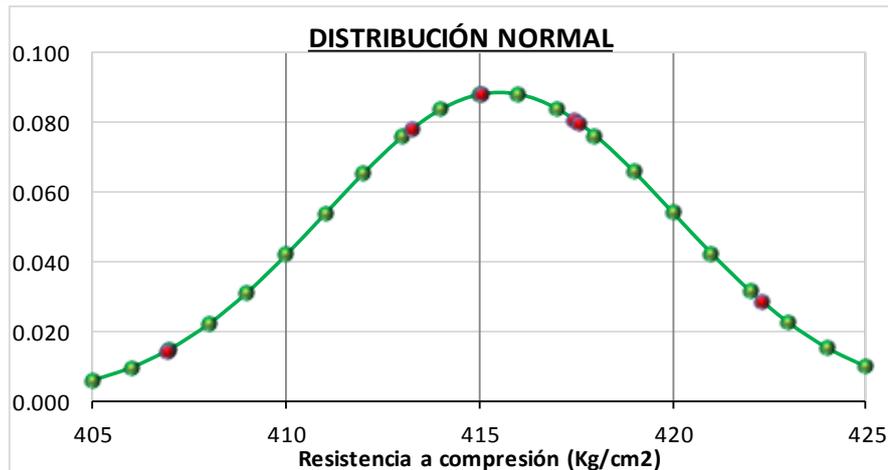
tabla 6.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón +1.0% de nanosílice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|
| | | 1.0NS,SCD-07 | 417.45 |
| 1.0NS,SCD-08 | 413.23 | | |
| 1.0NS,SCD-09 | 415.07 | | |
| 1.0NS,SCD-10 | 422.33 | | |
| 1.0NS,SCD-11 | 406.91 | | |
| 1.0NS,SCD-12 | 417.61 | | |

tabla 6.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | \bar{X}_i-u | $(\bar{X}_i-u)^2$ | fi. $(\bar{X}_i-u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| [406.91 411.21 > | 409.0646 | 1 | 1 | 409.0646 | -6.45 | 41.6025 | 41.6025 |
| [411.21 415.51 > | 413.3646 | 2 | 3 | 826.7292 | -2.15 | 4.6225 | 9.245 |
| [415.51 419.81 > | 417.6646 | 2 | 5 | 835.3292 | 2.15 | 4.6225 | 9.245 |
| [419.81 424.11 > | 421.9646 | 1 | 6 | 421.9646 | 6.45 | 41.6025 | 41.6025 |
| | 415.5146 | 6 | | 2493.088 | | 92.45 | 101.695 |

| | | |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 422.33 Xmin= 406.91 | 15.41 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.30 |
| MEDIA: u | | 415.51 |
| VARIANZA (S ²) | | 20.34 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 4.51 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 1.09 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 409.49 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 412.29 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 415.51 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 418.74 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 421.53 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.00 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó ; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.268 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

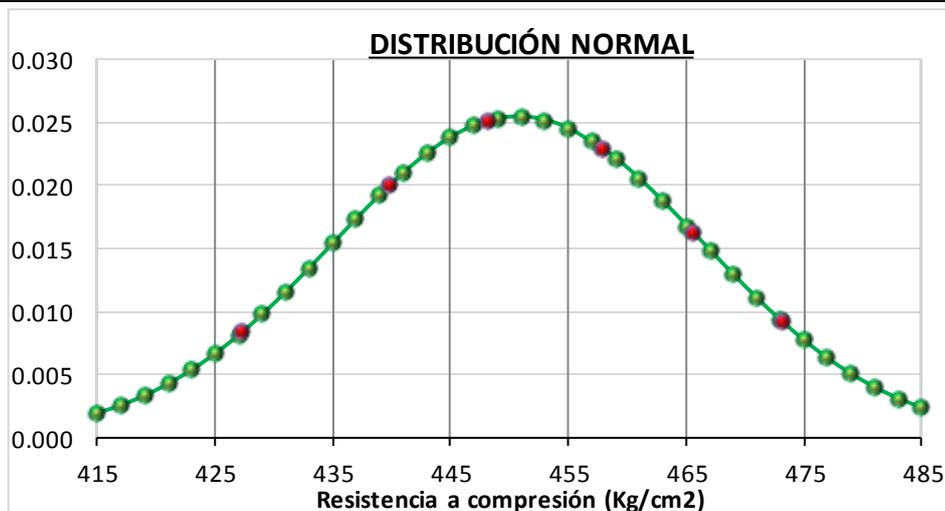
tabla 6.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón +1.0% de nanosílice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|
| | | 1.0NS,SCD-13 | 427.25 |
| 1.0NS,SCD-14 | 439.85 | | |
| 1.0NS,SCD-15 | 473.21 | | |
| 1.0NS,SCD-16 | 465.55 | | |
| 1.0NS,SCD-17 | 448.20 | | |
| 1.0NS,SCD-18 | 457.81 | | |

tabla 6.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|--------|--------------|---------------|
| [427.25 440.05 > | 433.6505 | 2 | 2 | 867.301 | -19.20 | 368.64 | 737.28 |
| [440.05 452.85 > | 446.4505 | 1 | 3 | 446.4505 | -6.40 | 40.96 | 40.96 |
| [452.85 465.65 > | 459.2505 | 2 | 5 | 918.501 | 6.40 | 40.96 | 81.92 |
| [465.65 478.45 > | 472.0505 | 1 | 6 | 472.0505 | 19.20 | 368.64 | 368.64 |
| | 452.8505 | 6 | | 2704.303 | | 819.2 | 1228.8 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 473.21 Xmin= 427.25 | 45.96 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 12.80 |
| MEDIA: u | | 450.72 |
| VARIANZA (S^2) | | 245.76 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 15.68 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 3.46 |
| PERCENTIL: P10 | >=0.60 | 431.09 |
| PERCENTIL: P25 | >=1.5 | 436.85 |
| PERCENTIL: P50 | >=3.0 | 452.85 |
| PERCENTIL: P75 | >=4.5 | 462.45 |
| PERCENTIL: P90 | >=5.4 | 470.77 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | -0.10 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->mesó ;As>0.263-->plati) | 0.323 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

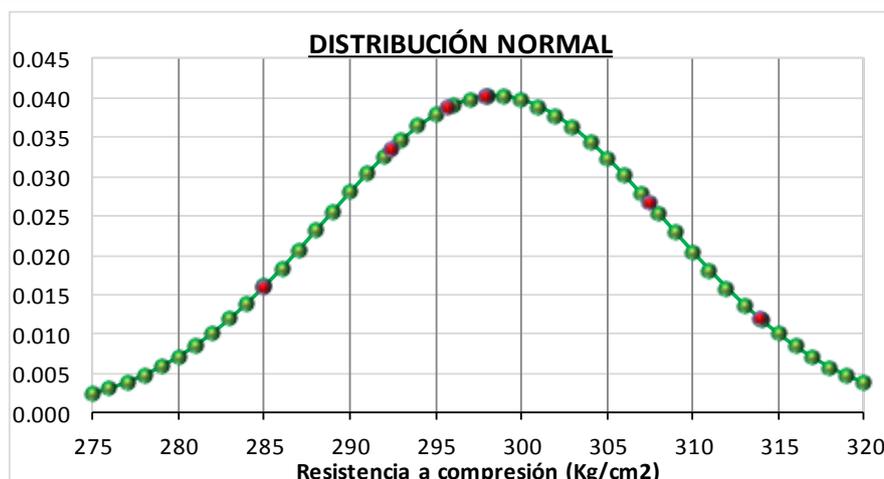
tabla 7.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 1.5% de nanosilice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 1.5NS-01 | 307.42 |
| 1.5NS-02 | 295.76 | | |
| 1.5NS-03 | 292.46 | | |
| 1.5NS-04 | 313.91 | | |
| 1.5NS-05 | 297.88 | | |
| 1.5NS-06 | 284.94 | | |

tabla 7.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | \bar{X}_i-u | $(\bar{X}_i-u)^2$ | fi.(\bar{X}_i-u) ² |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| [284.94 293.04 > | 288.9933 | 2 | 2 | 577.9865 | -12.15 | 147.6225 | 295.245 |
| [293.04 301.14 > | 297.0933 | 2 | 4 | 594.1865 | -4.05 | 16.4025 | 32.805 |
| [301.14 309.24 > | 305.1933 | 1 | 5 | 305.1933 | 4.05 | 16.4025 | 16.4025 |
| [309.24 317.34 > | 313.2933 | 1 | 6 | 313.2933 | 12.15 | 147.6225 | 147.6225 |
| | 301.1433 | 6 | | 1790.66 | | 328.05 | 492.075 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 313.91 Xmin= 284.94 | 28.97 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 4.00 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 8.10 |
| MEDIA: u | | 298.44 |
| VARIANZA (S ²) | | 98.42 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 9.92 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 3.29 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 287.37 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 291.02 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 297.09 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 305.19 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 312.48 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.23 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.282 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

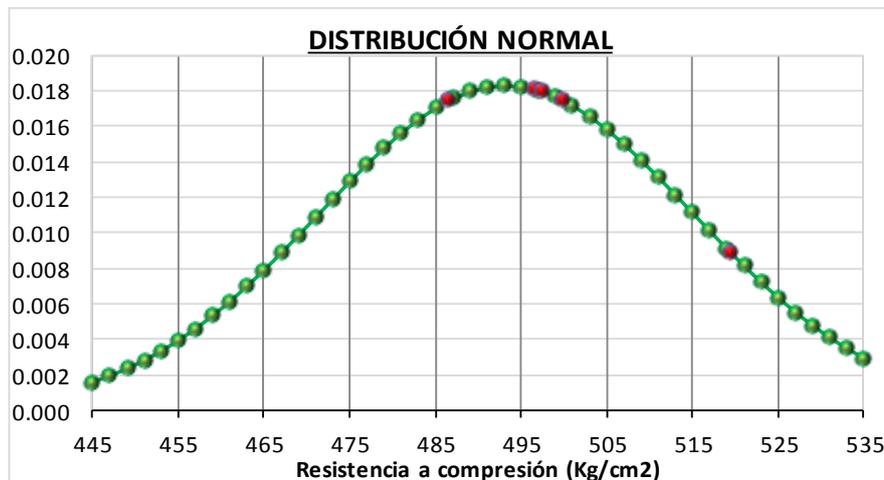
tabla 7.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 1.5% de nanosilice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 1.5NS-07 | 496.55 |
| 1.5NS-08 | 486.50 | | |
| 1.5NS-09 | 444.71 | | |
| 1.5NS-10 | 497.38 | | |
| 1.5NS-11 | 499.73 | | |
| 1.5NS-12 | 519.44 | | |

tabla 7.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | $\bar{X}_i - u$ | $(\bar{X}_i - u)^2$ | fi. $(\bar{X}_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| [444.71 465.51 > | 455.1119 | 1 | 1 | 455.1119 | -31.20 | 973.44 | 973.44 |
| [465.51 486.31 > | 475.9119 | 0 | 1 | 0 | -10.40 | 108.16 | 0 |
| [486.31 507.11 > | 496.7119 | 4 | 5 | 1986.848 | 10.40 | 108.16 | 432.64 |
| [507.11 527.91 > | 517.5119 | 1 | 6 | 517.5119 | 31.20 | 973.44 | 973.44 |
| | 486.3119 | 6 | | 2959.472 | | 2163.2 | 2379.52 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 519.44 Xmin= 444.71 | 74.73 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 20.80 |
| MEDIA: u | | 493.25 |
| VARIANZA (S ²) | | 475.90 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 21.82 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 4.49 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 457.19 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 488.91 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 496.71 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 496.71 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 515.43 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | -0.36 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.067 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

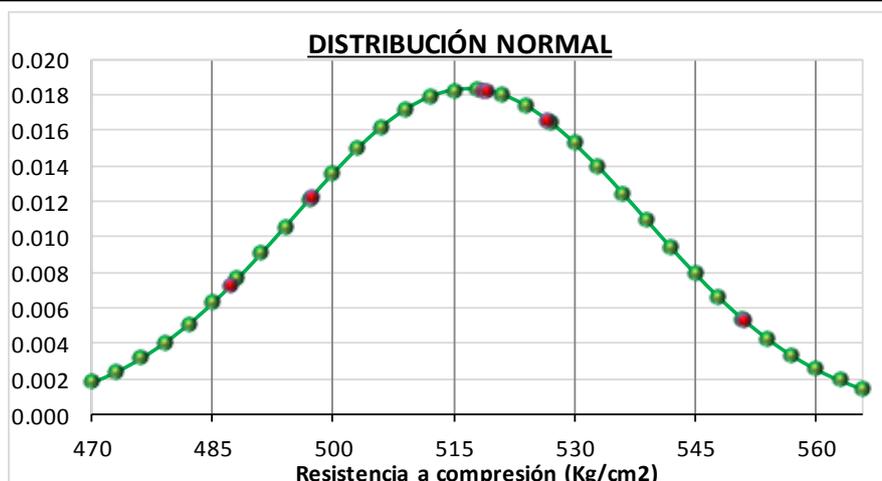
tabla 7.3. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 1.5% de nanosilice **sin someter** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 56 DIAS SIN SOMETER A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|---------|
| | | 1.5NS-13 | 526.52 |
| 1.5NS-14 | 487.19 | | |
| 1.5NS-15 | 518.52 | | |
| 1.5NS-16 | 551.11 | | |
| 1.5NS-17 | 519.11 | | |
| 1.5NS-18 | 497.28 | | |

tabla 7.3.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | f_i | F_i | $f_i \cdot \bar{X}_i$ | $\bar{X}_i - u$ | $(\bar{X}_i - u)^2$ | $f_i \cdot (\bar{X}_i - u)^2$ |
|---------------------|-----------------|----------|-------|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|
| [487.19 504.99 > | 496.0886 | 2 | 2 | 992.1773 | -26.70 | 712.89 | 1425.78 |
| [504.99 522.79 > | 513.8886 | 2 | 4 | 1027.777 | -8.90 | 79.21 | 158.42 |
| [522.79 540.59 > | 531.6886 | 1 | 5 | 531.6886 | 8.90 | 79.21 | 79.21 |
| [540.59 558.39 > | 549.4886 | 1 | 6 | 549.4886 | 26.70 | 712.89 | 712.89 |
| | 522.7886 | 6 | | 3101.132 | | 1584.2 | 2376.3 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 551.11 Xmin= 487.19 | 63.93 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 17.80 |
| MEDIA: u | | 516.86 |
| VARIANZA (S ²) | | 475.26 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 21.80 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 4.17 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 492.53 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 500.54 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 513.89 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 531.69 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 547.71 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | 0.23 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.282 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

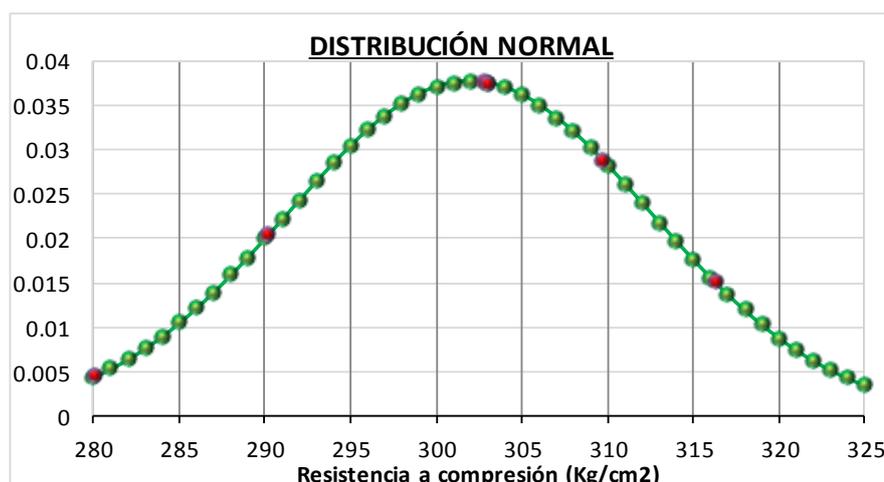
tabla 8.1. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 1.5% de nanosilice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 7 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|
| | | 1.5NS,SCD-01 | 290.20 |
| 1.5NS,SCD-02 | 302.74 | | |
| 1.5NS,SCD-03 | 309.67 | | |
| 1.5NS,SCD-04 | 280.05 | | |
| 1.5NS,SCD-05 | 316.26 | | |
| 1.5NS,SCD-06 | 303.01 | | |

tabla 8.1.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | Xi | fi | Fi | fi*Xi | Xi-u | (Xi-u)^2 | fi.(Xi-u)^2 |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|--------|---------------|----------------|
| [280.05 290.15 > | 285.0975 | 1 | 1 | 285.0975 | -15.15 | 229.5225 | 229.5225 |
| [290.15 300.25 > | 295.1975 | 1 | 2 | 295.1975 | -5.05 | 25.5025 | 25.5025 |
| [300.25 310.35 > | 305.2975 | 3 | 5 | 915.8925 | 5.05 | 25.5025 | 76.5075 |
| [310.35 320.45 > | 315.3975 | 1 | 6 | 315.3975 | 15.15 | 229.5225 | 229.5225 |
| | 300.2475 | 6 | | 1811.585 | | 510.05 | 561.055 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 316.26 Xmin= 280.05 | 36.22 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 4.00 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 10.10 |
| MEDIA: u | | 301.93 |
| VARIANZA (S ²) | | 112.21 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 10.59 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 3.53 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 286.11 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 295.20 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 303.61 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 305.30 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 314.39 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | -0.24 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó ;As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.179 |



Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión.

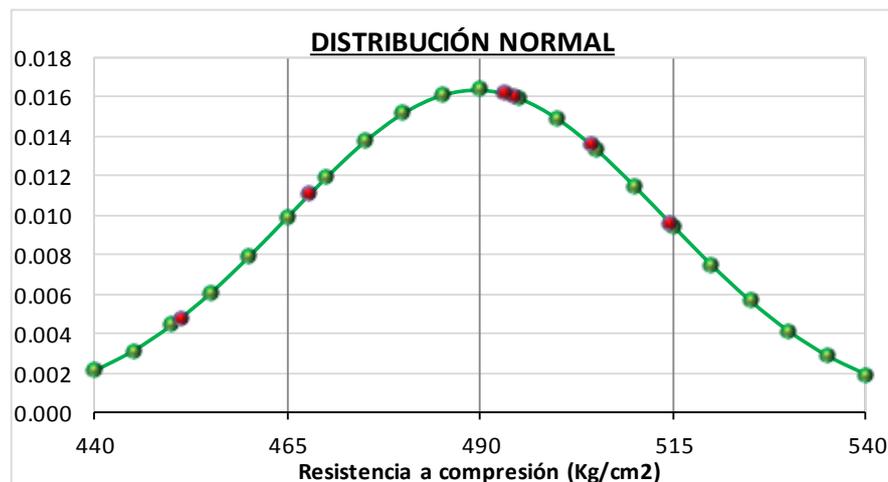
tabla 8.2. Datos de resistencia a la compresión: concreto patrón + 1.5% de nanosilice **sometido** a congelamiento y deshielo

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS SOMETIDO A CONGELAMIENTO Y DESHIELO | | MUESTRA | f'c(Xi) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|
| | | 1.5NS,SCD-07 | 451.07 |
| 1.5NS,SCD-08 | 494.31 | | |
| 1.5NS,SCD-09 | 504.23 | | |
| 1.5NS,SCD-10 | 467.84 | | |
| 1.5NS,SCD-11 | 514.58 | | |
| 1.5NS,SCD-12 | 493.19 | | |

tabla 8.2.1. Análisis estadístico

| Intervalos de Clase | \bar{X}_i | fi | Fi | fi* \bar{X}_i | \bar{X}_i-u | $(\bar{X}_i-u)^2$ | fi.(\bar{X}_i-u) ² |
|---------------------|-----------------|----------|----|-----------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|
| [451.07 468.77 > | 459.9178 | 2 | 2 | 919.8355 | -26.55 | 704.9025 | 1409.805 |
| [468.77 486.47 > | 477.6178 | 0 | 2 | 0 | -8.85 | 78.3225 | 0 |
| [486.47 504.17 > | 495.3178 | 2 | 4 | 990.6355 | 8.85 | 78.3225 | 156.645 |
| [504.17 521.87 > | 513.0178 | 2 | 6 | 1026.036 | 26.55 | 704.9025 | 1409.805 |
| | 486.4678 | 6 | | 2936.507 | | 1566.45 | 2976.255 |

| | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| NÚMERO DE MUESTRAS: n | | 6 |
| RANGO DE DATOS: Rx | Xmax= 514.58 Xmin= 451.07 | 63.51 |
| NÚMERO DE INTERVALO DE CLASE: K | | 3.59 |
| TAMAÑO DE INTERVALO DE CLASE: C | | 4.00 |
| MEDIA: u | | 489.42 |
| VARIANZA (S ²) | | 595.25 |
| DESVIACIÓN ESTÁNDAR | | 24.40 |
| COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV) | | 5.02 |
| PERCENTIL: P10 >=0.60 | | 456.38 |
| PERCENTIL: P25 >=1.5 | | 464.34 |
| PERCENTIL: P50 >=3.0 | | 495.32 |
| PERCENTIL: P75 >=4.5 | | 508.59 |
| PERCENTIL: P90 >=5.4 | | 516.56 |
| COEFICIENTE DE ASIMETRÍA: As | (As<0 --> izquierdo; As=0 ;As>0-->derecho) | -0.29 |
| COEFICIENTE DE CURTOSIS: K | (k<0.263 --> leptó; As=0.263-->meso ;As>0.263-->plati) | 0.368 |



ANEXO E: PRUEBA DE HIPÓTESIS.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 7 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **0.5NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 0.5NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 167.56 | 192.20 |
| Varianza: σ^2 | 18.38 | 75.61 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|--------|
| Prueba Z:Zo | -6.224 |
|-------------|--------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.

Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -6.224$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresion (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|----|
| CP |
|----|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-------|
| 0.5NS |
|-------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 0.5NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 234.71 | 305.89 |
| Varianza: σ^2 | 37.00 | 59.58 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:**

| |
|--------------|
| $u1 \geq u2$ |
|--------------|

 se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:**

| |
|-----------|
| $u1 < u2$ |
|-----------|

 si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia :

| | |
|---------------|------------|
| $\alpha=0.05$ | $z= 1.645$ |
|---------------|------------|

4.- Estadístico de prueba : el estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -17.741 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Zo = -17.741$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (28 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 56 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **0.5NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 0.5NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 267.68 | 326.46 |
| Varianza: σ^2 | 21.96 | 30.40 |

2.- Hipótesis : **u1**: fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho**: **$u1 \geq u2$** se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$; si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha**: **$u1 < u2$** si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : el estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -19.897 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Z_o < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Z_o = -19.897$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $H_o: u1 \geq u2$ y **se acepta** $H_a: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (56 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 7 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP-SCD**
 Muestra comparada (2) : **0.5NS-SCD**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 0.5NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 132.90 | 181.82 |
| Varianza: σ^2 | 36.02 | 31.74 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : El estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -14.556 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.

Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -14.556$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 0.5NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 0.5NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 182.43 | 283.65 |
| Varianza: σ^2 | 22.82 | 48.73 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:**

| |
|--------------|
| $u1 \geq u2$ |
|--------------|

 se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$; si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:**

| |
|-----------|
| $u1 < u2$ |
|-----------|

 si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| | |
|---------------|------------|
| $\alpha=0.05$ | $z= 1.645$ |
|---------------|------------|

4.- Estadístico de prueba : el estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -29.310 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Z_o < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Z_o = -29.310$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $H_o: u1 \geq u2$ y **se acepta** $H_a: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 56 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 0.5NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosilíce | CP-SCD | 0.5NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 206.04 | 297.40 |
| Varianza: σ^2 | 28.90 | 67.07 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:**

| |
|--------------|
| $u1 \geq u2$ |
|--------------|

 se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosilíce sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:**

| |
|-----------|
| $u1 < u2$ |
|-----------|

 si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosilíce sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| | |
|---------------|------------|
| $\alpha=0.05$ | $z= 1.645$ |
|---------------|------------|

4.- Estadístico de prueba : el estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -22.842 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Zo = -22.842$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosilíce sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 7 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **1.0NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 1.0NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 167.56 | 237.40 |
| Varianza: σ^2 | 18.38 | 96.00 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : El Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -15.996 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -15.996$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **1.0NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 1.0NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 234.71 | 445.02 |
| Varianza: σ^2 | 37.00 | 249.61 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -30.428 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -30.428$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (28 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 56 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **1.0NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 1.0NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 267.68 | 487.78 |
| Varianza: σ^2 | 21.96 | 13.85 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -90.086 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -90.086$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (56 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 7 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 1.0NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 1.0NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 132.90 | 224.47 |
| Varianza: σ^2 | 36.02 | 94.21 |

2.- Hipótesis :
u1: fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:**

| |
|--------------|
| $u1 \geq u2$ |
|--------------|

 se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$; si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:**

| |
|-----------|
| $u1 < u2$ |
|-----------|

 si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| | |
|---------------|------------|
| $\alpha=0.05$ | $z= 1.645$ |
|---------------|------------|

4.- Estadístico de prueba : El Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -19.654 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.

Rechazar Ho si: $Z_o < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|----------------|
| Se rechaza: Ho |
|----------------|

Puesto que $Z_o = -19.654$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $H_o: u1 \geq u2$ y **se acepta** $H_a: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 1.0NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 1.0NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 182.43 | 415.51 |
| Varianza: σ^2 | 22.82 | 20.34 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:**

| |
|--------------|
| $u1 \geq u2$ |
|--------------|

 se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$; si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:**

| |
|-----------|
| $u1 < u2$ |
|-----------|

 si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| | |
|---------------|------------|
| $\alpha=0.05$ | $z= 1.645$ |
|---------------|------------|

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -86.911 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Z_o < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Z_o = -86.911$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $H_o: u1 \geq u2$ y **se acepta** $H_a: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 56 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 1.0NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 1.0NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 206.04 | 450.72 |
| Varianza: σ^2 | 28.90 | 245.76 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| |
|--------------------------|
| $\alpha=0.05$ $z= 1.645$ |
|--------------------------|

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -36.163 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Zo = -36.163$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 7 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **1.5NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 1.5NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 167.56 | 298.44 |
| Varianza: σ^2 | 18.38 | 98.42 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : El Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -29.665 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -29.665$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **1.5NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 1.5NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 234.71 | 493.25 |
| Varianza: σ^2 | 37.00 | 475.90 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -27.962 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -27.962$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (28 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 56 días, **sin someter** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) : **CP**
 Muestra comparada (2) : **1.5NS**

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP | 1.5NS |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 267.68 | 516.86 |
| Varianza: σ^2 | 21.96 | 475.26 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (56 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón.

3.- Nivel de significancia : **$\alpha=0.05$ z= 1.645**

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -27.372 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación : **Se rechaza: Ho**

Puesto que $Zo = -27.372$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (56 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 7 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 1.5NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 1.5NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 132.90 | 301.93 |
| Varianza: σ^2 | 36.02 | 112.21 |

2.- Hipótesis : **u1:** fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:** $u1 \geq u2$ se rechaza la hipótesis nula, si $Zo < -Z$; si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:** $u1 < u2$ si la resistencia a la compresión (7 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| |
|--------------------------|
| $\alpha=0.05$ $z= 1.645$ |
|--------------------------|

4.- Estadístico de prueba : El Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|--------------|---------|
| Prueba Z: Zo | -34.007 |
|--------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.

Rechazar Ho si: $Zo < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Zo = -34.007$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $Ho: u1 \geq u2$ y **se acepta** $Ha: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

Prueba de Hipótesis: Resistencia a la Compresión del concreto patrón a los 28 días, **sometido** a congelamiento y deshielo

Muestra patrón (1) :

| |
|--------|
| CP-SCD |
|--------|

 Muestra comparada (2) :

| |
|-----------|
| 1.5NS-SCD |
|-----------|

1.- Parámetros de interés :

| % de Nanosílice | CP-SCD | 1.5NS-SCD |
|-----------------------|--------|-----------|
| Número de muestras: N | 6 | 6 |
| Media: u | 182.43 | 489.42 |
| Varianza: σ^2 | 22.82 | 595.25 |

2.- Hipótesis :
u1: fc promedio del grupo 1.
u2: fc promedio del grupo 2.

a.- Hipótesis nula : **Ho:**

| |
|--------------|
| $u1 \geq u2$ |
|--------------|

 se rechaza la hipótesis nula, si $Z_o < -Z$; si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congel. y deshielo, **es menor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congel. y deshielo.

a.- Hipótesis alternativa : **Ha:**

| |
|-----------|
| $u1 < u2$ |
|-----------|

 si la resistencia a la compresión (28 días) desarrollada por el concreto con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada por el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

3.- Nivel de significancia :

| |
|--------------------------|
| $\alpha=0.05$ $z= 1.645$ |
|--------------------------|

4.- Estadístico de prueba : el Estadístico de prueba usado en la prueba de hipótesis de dos poblaciones con Medias y Varianzas conocidas se denota por:

$$Z_o = \frac{u1 - u2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}$$

Donde:
 Zo: Estadístico de prueba.
 u1, u2: Resistencia promedio de grupos.
 σ_1, σ_2 : Desviación estándar de grupos.
 n1, n2: Cantidad especímenes de grupos.

| | |
|-------------|---------|
| Prueba Z:Zo | -30.247 |
|-------------|---------|

5.- Regla de decisión : Del anexo 04 Distribución Normal, se tiene para un nivel de significancia de 0.05 y nivel de confiabilidad del 95%, corresponde un valor de $Z=1.645$.
Rechazar Ho si: $Z_o < -1.645$

6.- Interpretación :

| |
|-----------------------|
| Se rechaza: Ho |
|-----------------------|

Puesto que $Z_o = -30.247$ es menor < -1.645 , **se rechaza** $H_o: u1 \geq u2$ y **se acepta** $H_a: u1 < u2$; con un nivel de significancia de 0.05, y se concluye que: La resistencia a la compresión (7 días) desarrollada con 0.5% de nanosílice sometido a congelamiento y deshielo, **es mayor** que la resistencia desarrollada con el concreto patrón sometido a congelamiento y deshielo.

ANEXO F: TABLA ESTADÍSTICA Y NIVEL DE SIGNIFICANCIA

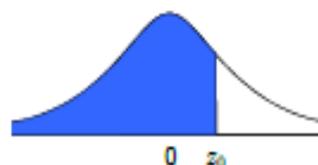
Probabilidad acumulada inferior para distribución normal N(0,1) www.vaxasoftware.com

μ = Media

σ = Desviación típica

Tipificación: $z_0 = \frac{x - \mu}{\sigma}$

$$P(z \leq z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



| z_0 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | z_0 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 0,0 | 0,5000 | 0,5040 | 0,5080 | 0,5120 | 0,5160 | 0,5199 | 0,5239 | 0,5279 | 0,5319 | 0,5359 | 0,0 |
| 0,1 | 0,5398 | 0,5438 | 0,5478 | 0,5517 | 0,5557 | 0,5596 | 0,5636 | 0,5675 | 0,5714 | 0,5753 | 0,1 |
| 0,2 | 0,5793 | 0,5832 | 0,5871 | 0,5910 | 0,5948 | 0,5987 | 0,6026 | 0,6064 | 0,6103 | 0,6141 | 0,2 |
| 0,3 | 0,6179 | 0,6217 | 0,6255 | 0,6293 | 0,6331 | 0,6368 | 0,6406 | 0,6443 | 0,6480 | 0,6517 | 0,3 |
| 0,4 | 0,6554 | 0,6591 | 0,6628 | 0,6664 | 0,6700 | 0,6736 | 0,6772 | 0,6808 | 0,6844 | 0,6879 | 0,4 |
| 0,5 | 0,6915 | 0,6950 | 0,6985 | 0,7019 | 0,7054 | 0,7088 | 0,7123 | 0,7157 | 0,7190 | 0,7224 | 0,5 |
| 0,6 | 0,7257 | 0,7291 | 0,7324 | 0,7357 | 0,7389 | 0,7422 | 0,7454 | 0,7486 | 0,7517 | 0,7549 | 0,6 |
| 0,7 | 0,7580 | 0,7611 | 0,7642 | 0,7673 | 0,7704 | 0,7734 | 0,7764 | 0,7794 | 0,7823 | 0,7852 | 0,7 |
| 0,8 | 0,7881 | 0,7910 | 0,7939 | 0,7967 | 0,7995 | 0,8023 | 0,8051 | 0,8078 | 0,8106 | 0,8133 | 0,8 |
| 0,9 | 0,8159 | 0,8186 | 0,8212 | 0,8238 | 0,8264 | 0,8289 | 0,8315 | 0,8340 | 0,8365 | 0,8389 | 0,9 |
| 1,0 | 0,8413 | 0,8438 | 0,8461 | 0,8485 | 0,8508 | 0,8531 | 0,8554 | 0,8577 | 0,8599 | 0,8621 | 1,0 |
| 1,1 | 0,8643 | 0,8665 | 0,8686 | 0,8708 | 0,8729 | 0,8749 | 0,8770 | 0,8790 | 0,8810 | 0,8830 | 1,1 |
| 1,2 | 0,8849 | 0,8869 | 0,8888 | 0,8907 | 0,8925 | 0,8944 | 0,8962 | 0,8980 | 0,8997 | 0,9015 | 1,2 |
| 1,3 | 0,9032 | 0,9049 | 0,9066 | 0,9082 | 0,9099 | 0,9115 | 0,9131 | 0,9147 | 0,9162 | 0,9177 | 1,3 |
| 1,4 | 0,9192 | 0,9207 | 0,9222 | 0,9236 | 0,9251 | 0,9265 | 0,9279 | 0,9292 | 0,9306 | 0,9319 | 1,4 |
| 1,5 | 0,9332 | 0,9345 | 0,9357 | 0,9370 | 0,9382 | 0,9394 | 0,9406 | 0,9418 | 0,9429 | 0,9441 | 1,5 |
| 1,6 | 0,9452 | 0,9463 | 0,9474 | 0,9484 | 0,9495 | 0,9505 | 0,9515 | 0,9525 | 0,9535 | 0,9545 | 1,6 |
| 1,7 | 0,9554 | 0,9564 | 0,9573 | 0,9582 | 0,9591 | 0,9599 | 0,9608 | 0,9616 | 0,9625 | 0,9633 | 1,7 |
| 1,8 | 0,9641 | 0,9649 | 0,9656 | 0,9664 | 0,9671 | 0,9678 | 0,9686 | 0,9693 | 0,9699 | 0,9706 | 1,8 |
| 1,9 | 0,9713 | 0,9719 | 0,9726 | 0,9732 | 0,9738 | 0,9744 | 0,9750 | 0,9756 | 0,9761 | 0,9767 | 1,9 |
| 2,0 | 0,9772 | 0,9778 | 0,9783 | 0,9788 | 0,9793 | 0,9798 | 0,9803 | 0,9808 | 0,9812 | 0,9817 | 2,0 |
| 2,1 | 0,9821 | 0,9826 | 0,9830 | 0,9834 | 0,9838 | 0,9842 | 0,9846 | 0,9850 | 0,9854 | 0,9857 | 2,1 |
| 2,2 | 0,9861 | 0,9864 | 0,9868 | 0,9871 | 0,9875 | 0,9878 | 0,9881 | 0,9884 | 0,9887 | 0,9890 | 2,2 |
| 2,3 | 0,9893 | 0,9896 | 0,9898 | 0,9901 | 0,9904 | 0,9906 | 0,9909 | 0,9911 | 0,9913 | 0,9916 | 2,3 |
| 2,4 | 0,9918 | 0,9920 | 0,9922 | 0,9925 | 0,9927 | 0,9929 | 0,9931 | 0,9932 | 0,9934 | 0,9936 | 2,4 |
| 2,5 | 0,9938 | 0,9940 | 0,9941 | 0,9943 | 0,9945 | 0,9946 | 0,9948 | 0,9949 | 0,9951 | 0,9952 | 2,5 |
| 2,6 | 0,9953 | 0,9955 | 0,9956 | 0,9957 | 0,9959 | 0,9960 | 0,9961 | 0,9962 | 0,9963 | 0,9964 | 2,6 |
| 2,7 | 0,9965 | 0,9966 | 0,9967 | 0,9968 | 0,9969 | 0,9970 | 0,9971 | 0,9972 | 0,9973 | 0,9974 | 2,7 |
| 2,8 | 0,9974 | 0,9975 | 0,9976 | 0,9977 | 0,9977 | 0,9978 | 0,9979 | 0,9979 | 0,9980 | 0,9981 | 2,8 |
| 2,9 | 0,9981 | 0,9982 | 0,9982 | 0,9983 | 0,9984 | 0,9984 | 0,9985 | 0,9985 | 0,9986 | 0,9986 | 2,9 |
| 3,0 | 0,9986 | 0,9986 | 0,9987 | 0,9987 | 0,9988 | 0,9988 | 0,9989 | 0,9989 | 0,9989 | 0,9990 | 3,0 |
| 3,1 | 0,9990 | 0,9990 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9991 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9992 | 0,9992 | 3,1 |
| 3,2 | 0,9993 | 0,9993 | 0,9993 | 0,9993 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9994 | 0,9995 | 3,2 |
| 3,3 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9995 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 3,3 |
| 3,4 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9996 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 3,4 |
| 3,5 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9997 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 3,5 |
| 3,6 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 0,9998 | 3,6 |
| 3,7 | 0,9998 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 3,7 |
| 3,8 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 3,8 |
| 3,9 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 0,9999 | 3,9 |

| $1-\alpha$ | 90% | 92% | 94% | 95% | 96% | 97% | 98% | 99% |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| α | 10% | 8% | 6% | 5% | 4% | 3% | 2% | 1% |
| $z_{1-\alpha}$ | 1,645 | 1,751 | 1,881 | 1,960 | 2,054 | 2,170 | 2,326 | 2,576 |
| z_{α} | 1,282 | 1,405 | 1,555 | 1,645 | 1,751 | 1,881 | 2,054 | 2,326 |

Siendo:
 $1-\alpha$ = Nivel de confianza
 α = Nivel de significación

**ANEXO G: GUÍA PARA HALLAR EL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL
NANOSÍLICE**

De: Jose Sierra S. [mailto:jose.sierra@ulmen.cl]
Enviado el: miércoles, 14 de junio de 2017 3:47 p. m.
Para: 'Alvaro'
CC: 'Paula Avalos'
Asunto: RE: Precio del Aqua 206

Alvaro,

El precio mínimo de venta es US\$ 2,06/kg + IGV

Atentamente,

José Sierra S.
Ulmen S.A.
Cel. 9 5400 4039





AREQUIPA EXPRESO MARVISUR EIRL

TODA CARGA A NIVEL NACIONAL

RUC: 20498189637

www.expresomarvisur.com

ABANCAY - ADOQUAYLAS - ADOQUERA - AUCATACU - AYACUCHO - BARRANCA - BELLAVISTA - CAJAMARCA - CAMANA - CARBETE - CARLA - CHALLHUAFUQUO (Luzmila) - CHILKATO - CHIBETE - CHIVCHA - CURCO - DESAGUADERO - ESPINAR - HUACHI - HUANCAYUBICA - HUANCAYO - HUARICO - HUARAZ - ICA - LAJE - LLO - NAWANAWA (MADICO) - QUITO - JAEN - JURJAN - JULACA - LIMA - MARGENA - MOLLAGA - MOTOBARRA - NAJCA - PATA - PALPA - PERISSAL - PIUTA - PISCO - PUNO - PUCALLPA - PUNO - SULLABAMBA - SICUANI - SULLANA - TACNA - TALARIA - TAMBOPATA (PUERTO WALDONADO) - TARIAPATA - TINGO MARIA - TUCUCANI - TUCULLO - TUMES - YUMBAY

COTIZACION N° 0341 0000 25 - 2017.

CLIENTE: JUAN JOSE MARIANI CAPANI
 DIRECCION: _____
 EMAIL: _____ TELF: _____
 PERSONAL DE CONTACTO: DANIEL (MARVISUR) TELF: 958325615
 PUNTO DE INICIO DE TRASLADO: _____
 PUNTO DE LLEGADA: _____
 MODALIDAD DE ENTREGA: _____
 FECHA DE INICIO DE TRASLADO: _____ FECHA REFERENCIAL DE LLEGADA: 04 DIAS MAX.

RELACION DE BIENES

| | |
|----|------------------------------------------------------------|
| 1 | ADITIVOS SEGUN INDICA PESO 220KG5. |
| 2 | PRECIO POR KILO 0.50 CENTAVOS LITRO - PUNO |
| 3 | PRECIO POR VOLUMEN 3/150 POR M ³ = METRO CUBICO |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | |
| 15 | |
| 16 | |
| 17 | |
| 18 | |
| 19 | |
| 20 | |
| 21 | |
| 22 | |

TOTAL S/ _____ SOLES APROXIMADO.

DS. 017-2009-MTC. SON OBLIGACIONES DE LOS USUARIOS
 77.3.1.3 - ENTREGAR AL TRANSPORTISTA AUTORIZADO LAS MERCANCIAS DEBIDAMENTE ROTULADAS Y EMBALADAS, ENCAJONADAS, ENFARDADAS, EN BARRICAS O EN CONTENEDORES, CONFORME A LAS EXIGENCIAS DE SU NATURALEZA, CON ESCRIPCION DE LA CARGA LIQUIDA Y A GRANEL.
 77.3.1.8 - DECLARAR, VERADAMENTE, EN LOS DOCUMENTOS DEL TRANSPORTE, LA IDENTIFICACION Y EL CONTENIDO DE LAS MERCANCIAS EMBALADAS, ENCAJONADAS, ENFARDADAS, EN BARRICAS O EN CONTENEDORES Y DE SER EL CASO, LAS CONDICIONES PARA SU MANEJO, ASI COMO TODA OTRA INFORMACION DE SU RESPONSABILIDAD QUE DEBA CONSTAR EN LOS INDICADOS DOCUMENTOS.
 * LA EMPRESA NO SE RESPONSABILIZA POR VIDRIOS, CERAMICOS, PORCELANA, MATERIAL COMPROMIDO O POR CONSECUENCIA DEL EMBALAJE.
 OF. PRINCIPAL: Gerol Carbajal 5111V Centenario - Arequipa. Telf. 004 200730 - 004 233225 - 004 232479 OF. JULACA: Jr. Miller 730 Julaca - San Roman - Puno. Telf. 001 322372 RPC 991754974 RPM 8995001514 OF. PUNO: Jr. Primero de Mayo 644 Puno - Puno - Puno. Telf. 001 356185 RPC 958325615 OF. LAJE: Av. Panamericana 114 (Ive) - El Coto - Puno. Telf. 001 202210 RPC 953000258 OF. DESAGUADERO: Av. 28 de Julio 564,566 Desaguadero - Chuco - Puno. Telf. 001 40903 RPC 974792478

ESTRUCTURA TARIFARIA VIGENTE AL 13/12/2016 - PUNO

| Tarifa | Volumen Asignado | Consumo Mínimo | Tasa Alcant. | Renta Básica | N° de Rangos | Primer Rango | | Segundo Rango | | Tercer Rango | | Cuarto Rango | |
|-------------------|------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|---------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | | | | | | Volumen | Precio | Volumen | Precio | Volumen | Precio | Volumen | Precio |
| Doméstico | | | | | | | | | | | | | |
| 101 DOMI-A(No | 13 | 0 | 0% | 2.02 | 4 | 0 a 10 | 1.1260 | 11 a 20 | 1.1890 | 21 a 25 | 2.4190 | 26 a 999999 | 2.6500 |
| | | | | | | | 0.3510 | | 0.3710 | | 0.7540 | | 0.8270 |
| 121 DOMESTICO | 13 | 0 | 0% | 2.02 | 4 | 0 a 10 | 1.1260 | 11 a 20 | 1.1890 | 21 a 25 | 2.4190 | 26 a 999999 | 2.6500 |
| | | | | | | | 0.3510 | | 0.3710 | | 0.7540 | | 0.8270 |
| Comercial | | | | | | | | | | | | | |
| 231 COMERCIAL | 30 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 30 | 1.8480 | 31 a 999999 | 3.9410 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 0.5760 | | 1.2290 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| Industrial | | | | | | | | | | | | | |
| 361 INDUSTRIAL | 60 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 60 | 3.5970 | 61 a 999999 | 5.4230 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 1.1210 | | 1.6910 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| 362 INDUSTRIAL | 60 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 60 | 3.5970 | 61 a 999999 | 5.4230 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 1.1210 | | 1.6910 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| 411 INDUSTRIAL | 60 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 60 | 3.5970 | 61 a 999999 | 5.4230 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 1.1210 | | 1.6910 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| 412 INDUSTRIAL | 60 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 60 | 3.5970 | 61 a 999999 | 5.4230 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 1.1210 | | 1.6910 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| Estatal | | | | | | | | | | | | | |
| 551 ESTATAL I-A | 40 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 35 | 1.6440 | 36 a 999999 | 2.6500 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 0.5120 | | 0.8270 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| 552 ESTATAL I-B | 90 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 35 | 1.6440 | 36 a 999999 | 2.6500 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 0.5120 | | 0.8270 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| 611 ESTATAL II-A | 90 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 35 | 1.6440 | 36 a 999999 | 2.6500 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 0.5120 | | 0.8270 | | 0.0000 | | 0.0000 |
| 612 ESTATAL II-B | 150 | 0 | 0% | 2.02 | 2 | 0 a 35 | 1.6440 | 36 a 999999 | 2.6500 | ----- | 0.0000 | ----- | 0.0000 |
| | | | | | | | 0.5120 | | 0.8270 | | 0.0000 | | 0.0000 |