

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'c=210$ KG/CM² Y 280KG/CM² ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND IP, AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE VICHO Y AGREGADO FINO DE LA CANTERA DE CUNYAC; CUANDO SE CURA A DIFERENTES TEMPERATURAS E INTERVALOS DE TIEMPO CON VAPOR DE AGUA, EN LA CIUDAD DE CUSCO 2023

PRESENTADO POR:

BACH. FRANK SAMUEL ARZAPALO PANDURO

BACH. RODRIGO AARON MACHACA CONDE

**PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

ING. JOSÉ FELIPE AZPILCUETA CARBONELL

**CUSCO – PERÚ
2024**

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:

"ANALISIS DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO DE F'C=210 KG/CM2 Y 280 KG/CM2 ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND IP, AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE VICHO Y AGREGADO FINO DE LA CANTERA DE CUNYAC; CUANDO SE CURA A DIFERENTES TEMPERATURAS E INTERVALOS DE TIEMPO CON VAPOR DE AGUA, EN LA CIUDAD DEL CUSCO 2023"

presentado por: ARZAPALO PANDURO FRANK SAMUEL con DNI Nro.: 76162376

presentado por: MACHACA CONDE RODRIGO AARON con DNI Nro.: 70401701

para optar el título profesional de: INGENIERO CIVIL

.....
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 06 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de diciembre de 2024



.....
Firma

Post firma: Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell

Nro. de DNI 23881345

ORCID del Asesor: 0000-0003-3954-4737

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: trn:oid::27259:412700010

<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:412700010?locale=es-MX>

FRANK - RODRIGO ARZAPALO - MACHACA

ANALISIS DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACION DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL C. FC 210 Y 280 KG_CM2

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:412700010

Fecha de entrega

4 dic 2024, 5:21 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 dic 2024, 5:39 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis Curado Vapor I.F. v1.7.pdf

Tamaño de archivo

11.5 MB

303 Páginas

77,647 Palabras

388,482 Caracteres

6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A Dios, fuente de amor y sabiduría, le dedicamos este logro con profundo agradecimiento. Su guía constante y su amor incondicional nos han brindado la fuerza y la determinación para alcanzar nuestros objetivos. Agradecemos su presencia en cada paso de este camino académico.

A nuestros queridos familiares, docentes y colegas, les expresamos nuestra más sincera gratitud. Su apoyo inquebrantable, sus palabras de aliento y su compañía han sido fundamentales en este viaje. Gracias por creer en nosotros, por inspirarnos y por caminar a nuestro lado en este emocionante recorrido.

Con gratitud y humildad

Atte. Frank Samuel Arzapalo Panduro

A Dios, por haberme guiado durante toda mi vida, a mis padres Eriberto e Hilda por acompañarme en cada momento, a mis hermanos Iván, Herbert y Lillian por su apoyo incondicional.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por brindarnos su conocimiento durante nuestro paso por esta hermosa facultad.

Atte. Rodrigo Aaron Machaca Conde

Tabla de Contenido

Introducción	1
Resumen	3
Abstract	4
1. Capítulo I: Formulación de la Investigación	5
1.1. Planteamiento del Problema.....	5
1.1.1. Problema General.....	6
1.1.2. Problemas Específicos	6
1.2. Objetivos de la Investigación	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivo Específico.....	7
1.3. Justificación de la Investigación	7
1.3.1. Justificación Teórica	8
1.3.2. Justificación Práctica.....	8
1.3.3. Justificación Metodológica	9
1.4. Hipótesis de la Investigación.....	10
1.4.1. Hipótesis General	10
1.4.2. Hipótesis Especificas	10
1.5. Variables	11
1.5.1. Variable Independiente (X): Curado con Vapor de Agua.....	11
1.5.2. Variable Dependiente (Y): Resistencia a la Compresión del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ²	11
1.5.3. Operacionalización de las Variables	12
1.5.4. Matriz de Consistencia.....	14
1.6. Viabilidad.....	16
1.7. Limitaciones	16
2. Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual	17
2.1. Marco Teórico.....	17
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	17

2.1.2.	Antecedentes Nacionales	17
2.2.	Marco Conceptual	18
2.2.1.	Conceptos Fundamentales del Concreto	18
2.2.2.	Componentes del Concreto	23
2.2.3.	Concreto Prefabricado.....	28
2.2.4.	Curado del Concreto	33
2.2.5.	Hidratación del Concreto	37
2.2.6.	Fraguado del Cemento	37
2.2.7.	Fraguado del Concreto	38
2.2.8.	Procesos Químicos Durante el Fraguado del Cemento.....	38
2.2.9.	Interacción de los Niveles de Energía Durante el Proceso de Fraguado	42
2.2.10.	Proceso del Calor de Hidratación.....	43
2.2.11.	Curado del Concreto en Canadá.....	45
2.2.12.	Curado del Concreto en el Reino Unido	46
2.2.13.	Curado del Concreto en Rusia.....	47
2.2.13.3.	Curado por Calefacción (Heated Curing).....	47
2.2.14.	Curado del Concreto en Climas Fríos	48
2.2.15.	Variaciones de Temperatura en el Perú – Región Sierra.....	49
2.2.16.	Razones para Utilizar el Curado con Vapor en la Sierra.....	50
2.2.17.	Diseño de Mezclas – Metodología ACI 211.1	51
2.2.18.	Fallas Obtenidas en las Roturas de Briquetas de Concreto	52
2.2.19.	Ensayos para los Agregados.....	55
2.2.20.	Equipos e Instrumentos para los Ensayos de los Agregados.....	57
2.2.21.	Ensayo para la Fabricación de Probetas de Concreto.....	61
2.2.22.	Equipos e Instrumentos para la Fabricación de Probetas de Concreto	61
2.2.23.	Ensayo de Refrendado de Testigos de Concreto (CAPPING)	62
2.2.24.	Equipos e Instrumentos para Refrendado de Testigos de Concreto	62

2.2.25.	Ensayo de Cono de Abrams (Prueba de Asentamiento).....	63
2.2.26.	Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Cono de Abrams.....	63
2.2.27.	Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto	63
2.2.28.	Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto.....	63
2.2.29.	Ensayo de Curado con Vapor de Agua	64
2.2.30.	Equipos Específicos para Curado con Vapor.....	64
2.2.31.	Especificaciones de los Partes de la Cámara de Vapor	66
2.2.32.	Ensayo de Curado con Agua Tradicional.....	73
2.2.33.	Equipos Específicos para Curado con Agua Tradicional	73
2.2.34.	Especificaciones de las Partes de la Cámara de curado con agua a 23°C	74
3.	Capitulo III: Diseño Metodológico	78
3.1.	Tipo de Investigación	78
3.2.	Nivel de Investigación.....	78
3.3.	Población y Muestra.....	79
3.3.1.	Población.....	79
3.3.2.	Muestra.....	79
3.4.	Selección de Materiales.....	80
3.4.1.	Cemento	80
3.4.2.	Agregado Fino.....	81
3.4.3.	Agregado Grueso	81
3.4.4.	Agua	81
3.5.	Determinación de las Propiedades de los Agregados.....	82
3.5.1.	Agregado Grueso	82
3.5.2.	Agregado Fino.....	97
3.6.	Diseño de Mezclas	112
3.6.1.	Selección de la Resistencia Promedio a Partir de la Resistencia en Compresión Especificada.....	112

3.6.2.	Selección de Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	113
3.6.3.	Selección del Asentamiento	114
3.6.4.	Selección del Volumen Unitario de Agua	114
3.6.5.	Selección del Contenido de Aire Atrapado	115
3.6.6.	Selección de la Relación Agua-Cemento por Resistencia y por Durabilidad	115
3.6.7.	Determinación del Factor Cemento	116
3.6.8.	Determinación del Contenido de Agregado Grueso	116
3.6.9.	Determinación de la Suma de los Volúmenes Absolutos de Cemento, Agua de Diseño, Aire y Agregado Grueso	117
3.6.10.	Determinación del Volumen Absoluto de Agregado Fino	118
3.6.11.	Determinación del Peso Seco del Agregado Fino	118
3.6.12.	Determinación de los Valores de Diseño del Cemento, Agua, Aire, Agregado Grueso y Agregado Fino	119
3.6.13.	Corrección de los Valores de Diseño por Humedad y Absorción del Agregado	120
3.6.14.	Determinación de la Proporción en Peso del Diseño	122
3.7.	Construcción de los Equipos para Curado Tradicional y para Curado con Vapor de Agua	123
3.7.1.	Construcción de la cámara de vapor de agua	123
3.7.2.	Construcción de estanque metálico de curado a 23°C	124
3.8.	Procedimiento Experimental	125
3.8.1.	Procedimiento de Elaboración de Especímenes	125
3.8.2.	Ensayos de Concreto en Estado Fresco	140
3.8.3.	Curado Convencional con Agua	142
3.8.4.	Curado con Vapor de Agua	147
3.8.5.	Datos del curado con vapor de agua	153
3.8.6.	Refrendado de Testigos de Concreto (CAPPING)	157
3.8.7.	Ensayos de Concreto en Estado Endurecido	158

4.	Capitulo IV: Resultados de la Investigación	173
4.1.	Ensayos de Prueba de Asentamiento.....	173
4.2.	Resistencia a la Compresión de Concreto Curado por Inmersión en Agua a 23°C	174
4.2.1.	Resistencia a la Compresión de Especímenes para Validación de Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	174
4.2.2.	Resistencia a la Compresión de Especímenes para Validación de Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$	176
4.2.3.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 7 días	178
4.2.4.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 28 días	179
4.2.5.	Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 28 días	179
4.2.6.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Desmoldado a 24 Horas.....	180
4.2.7.	Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Desmoldado a 24 Horas.....	180
4.3.	Resistencia a la Compresión de Concreto Curado con Vapor de Agua a 70°C.....	181
4.3.1.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70 °C-6H.....	181
4.3.2.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70 °C-14H.....	182
4.3.3.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70 °C-18H.....	183
4.3.4.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Óptimo Con Vapor de Agua a 70 °C-16H.....	184
4.3.5.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H, 28 Días Después.....	186
4.3.6.	Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H, 28 días después	187
4.4.	Resistencia a la Compresión de Concreto Curado con Vapor de Agua a 50°C.....	188

4.4.1.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50 °C-8H.....	188
4.4.2.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50 °C-12H.....	189
4.4.3.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50 °C-16H.....	190
4.4.4.	Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Óptimo Con Vapor de Agua a 50 °C-48H.....	191
5.	Capitulo V: Análisis y Discusión de los Resultados	194
5.1.	Análisis de los Resultados del Asentamiento del Concreto	194
5.2.	Análisis de los Resultados de la Resistencia a la Compresión de los Especímenes Curados por Inmersión en Agua a 23°C	194
5.2.1.	Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua a 23°C	195
5.2.2.	Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua a 23°C	196
5.3.	Análisis del Procedimiento de Curado con Vapor de Agua a 50°C y a 70°C.....	197
5.3.1.	Procedimiento de Curado.....	197
5.3.2.	Parámetros de Curado	197
5.3.3.	Tiempo de Curado.....	197
5.4.	Análisis de los Resultados de la Resistencia a la Compresión de los Especímenes Curados con Vapor de Agua a 50°C.....	197
5.4.1.	Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado con Vapor de Agua a 50 °C	197
5.4.2.	Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado con Vapor de Agua a 50 °C	198
5.4.3.	Determinación de la Ecuación de Madurez para la Obtención del Curado Optimo para la Temperatura de 50 °C	199
5.4.4.	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Curado Optimo con Vapor de Agua.....	202
5.5.	Análisis de los Resultados de la Resistencia a la Compresión de los Especímenes Curados con Vapor de Agua a 70°C.....	203

5.5.1.	Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto f'c=280 kgf/cm ² Curado con Vapor de Agua a 70 °C	203
5.5.2.	Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto f'c=210 kgf/cm ² Curado con Vapor de Agua a 70 °C	204
5.5.3.	Determinación de la Ecuación de Madurez para la Obtención del Curado Optimo para la Temperatura de 70 °C	205
5.5.4.	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Curado Optimo con Vapor de Agua.....	208
5.6.	Análisis de la Resistencia a la Compresión después de 28 días del Curado Optimo con Vapor de Agua	209
5.7.	Comparación de la resistencia a compresión entre el método de curado con vapor de agua y el método tradicional	209
5.8.	Discusión de Resultados en Función de las Hipótesis Planteadas.	211
5.9.	Identificación de las Condiciones Óptimas de Temperatura y Tiempo de Curado con Vapor de Agua para Alcanzar la Resistencia a Compresión Deseada.	213
5.10.	Validación de los Ensayos de la Resistencia a la Compresión del Concreto f'c=210 kgf/cm ²	214
5.11.	Validación de los Ensayos de la Resistencia a la Compresión del Concreto f'c=280 kgf/cm ²	221
5.12.	Análisis de Costos	228
6.	Capítulo VI: Observaciones, Conclusiones y Recomendaciones	236
6.1.	Observaciones	236
6.2.	Conclusiones	238
6.3.	Recomendaciones.....	243
6.4.	Implicancias y Aplicaciones Prácticas	245
6.5.	Recomendaciones para Futuras Investigaciones	246
6.6.	Bibliografía	247
7.	Anexos.....	253

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de las Variables	13
Tabla 2 Matriz de Consistencia	14
Tabla 3 Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico	58
Tabla 4 Numero de esferas por tipo de gradación	60
Tabla 5 Gradación de las muestras de ensayo	61
Tabla 6 Cantidad total de muestra	80
Tabla 7 Medida de las muestras	82
Tabla 8 Análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho.....	84
Tabla 9 Tamaño de la muestra de agregado	86
Tabla 10 Contenido de humedad del agregado grueso de Vicho	87
Tabla 11 Cantidad mínima de muestra.....	87
Tabla 12 Porcentaje que pasa la malla 200 (%)	88
Tabla 13 Masa mínima de muestra según TMN	89
Tabla 14 Peso Específico del Agregado grueso de Vicho.....	91
Tabla 15 Peso unitario suelto del Agregado grueso de Vicho.....	93
Tabla 16 Peso unitario Compactado del Agregado grueso de Vicho	95
Tabla 17 Absorción del Agregado grueso de Vicho	96
Tabla 18 Resultados del ensayo de abrasión del agregado grueso de Vicho.....	97
Tabla 19 Masa mínima para muestra de campo	98
Tabla 20 Granulometría del agregado fino de la cantera de Cunyac.....	99
Tabla 21 Granulometría corregida del agregado fino de la cantera de Cunyac.....	100
Tabla 22 Tamaño de la muestra de agregado	102
Tabla 23 Contenido de Humedad del agregado fino de Cunyac	103
Tabla 24 Cantidad mínima de muestra.....	103
Tabla 25 Porcentaje que pasa la malla 200 (%) del agregado fino de Cunyac.....	104
Tabla 26 Peso específico del agregado fino de Cunyac	107
Tabla 27 Peso unitario suelto del agregado fino de Cunyac.....	109
Tabla 28 Peso unitario compactado del agregado fino de Cunyac.....	111
Tabla 29 Absorción del agregado fino de Cunyac	112
Tabla 30 Resistencia promedio requerida a la compresión	113
Tabla 31 Huso granulométrico utilizado según la NTP400.037	113
Tabla 32 Selección de Asentamiento según ACI 211.1-91	114
Tabla 33 Selección de Volumen Unitario de Agua según ACI 211.1-91.....	115

Tabla 34 Selección de Volumen Contenido de Aire Atrapado según ACI 211.1-91	115
Tabla 35 Selección de la Relación Agua-Cemento según ACI 211.1-9.....	116
Tabla 36 Determinación del contenido de agregado grueso según ACI 211.1-9	117
Tabla 37 Determinación de volúmenes según ACI 211.1-9. Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	117
Tabla 38 Determinación de volúmenes según ACI 211.1-9. Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	118
Tabla 39 Determinación del Peso Seco del Agregado Fino. Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	119
Tabla 40 Determinación del Peso Seco del Agregado Fino. Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	119
Tabla 41 Determinación de los valores de diseño del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	119
Tabla 42 Determinación de los valores de diseño del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	120
Tabla 43 Corrección de valores de diseño por humedad del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	121
Tabla 44 Corrección de valores de diseño por humedad del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	121
Tabla 45 Corrección de valores de diseño por absorción del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	121
Tabla 46 Corrección de valores de diseño por absorción del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	122
Tabla 47 Diseño final del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	122
Tabla 48 Diseño final del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	122
Tabla 49 Programa de curado con vapor de agua de especímenes de concreto	126
Tabla 50 Programa de Vaciado de Especímenes de Concreto $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ²	133
Tabla 51 Programa de curado de briquetas por inmersión en agua.....	146
Tabla 52 Programa de curado con vapor de agua.....	151
Tabla 53 Detalle del curado con vapor de agua en los especímenes de concreto $f'c= 280$ kgf/cm ² ...	154
Tabla 54 Detalle del curado con vapor de agua en los especímenes de concreto $f'c= 210$ kgf/cm ² ...	155
Tabla 55 Edades de ensayo y tolerancias permisibles	158
Tabla 56 Programa de Ensayo a compresión de los especímenes de concreto.....	160
Tabla 57 Slump de los vaciados de concreto realizados durante la investigación	173
Tabla 58 Resultado de rotura de briquetas para Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c= 210$ kgf/cm ²	174
Tabla 59 Resultado de rotura de briquetas para Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c= 280$ kgf/cm ²	176
Tabla 60 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c= 210$ kgf/cm ² y $f'c= 280$ kgf/cm ² Curado de Manera Tradicional a los 7 días	178
Tabla 61 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c= 210$ kgf/cm ² Curado de Manera Tradicional a los 28 días.....	179
Tabla 62 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c= 280$ kgf/cm ² Curado de Manera Tradicional a los 28 días.....	179
Tabla 63 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c= 210$ kgf/cm ² desmoldado a 24 Horas ...	180

Tabla 64 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ desmoldado a 24 Horas ...	180
Tabla 65 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -6H.....	181
Tabla 66 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -14H.....	182
Tabla 67 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -18H.....	183
Tabla 68 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -16H.....	184
Tabla 69 Resultados de ensayo a la compresión del Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H, 28 días después	186
Tabla 70 Resultados de ensayo a la compresión del Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H, 28 días después	187
Tabla 71 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50°C -8H.....	188
Tabla 72 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50°C -12H.....	189
Tabla 73 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50°C -16H.....	190
Tabla 74 Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50°C -48H.....	191
Tabla 75 Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua	195
Tabla 76 Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua	196
Tabla 77 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ para cada tiempo de curado (50°C)	200
Tabla 78 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ para cada tiempo de curado (50°C)	200
Tabla 79 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$	202
Tabla 80 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$	203
Tabla 81 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ para cada tiempo de curado (70°C)	206
Tabla 82 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ para cada tiempo de curado (70°C)	206

Tabla 83 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'_c=280$ kgf/cm ²	208
Tabla 84 Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'_c=210$ kgf/cm ²	209
Tabla 85 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=210$ kgf/cm ² , curadas con vapor a 70°C a 6, 14 y 18 horas.....	214
Tabla 86 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=210$ kgf/cm ² , curadas con vapor de agua a 50°C a 48 horas	216
Tabla 87 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=210$ kgf/cm ² , curadas con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas	217
Tabla 88 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=210$ kgf/cm ² , ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16h.....	218
Tabla 89 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=210$ kgf/cm ² , curadas de manera tradicional	219
Tabla 90 <i>Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=210$kgf/cm² para diseño de mezclas, curadas de manera tradicional</i>	220
Tabla 91 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² , curadas con vapor de agua a 70°C a 6, 14 y 18 horas	221
Tabla 92 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² , curadas con vapor de agua a 70°C a 16 horas	222
Tabla 93 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² , curadas con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas	223
Tabla 94 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² , curadas con vapor de agua a 50°C a 48 horas	224
Tabla 95 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² , curadas de manera tradicional	225
Tabla 96 Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² , ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16h.....	226
Tabla 97 <i>Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'_c=280$kgf/cm² para diseño de mezclas, curadas de manera tradicional</i>	227
Tabla 98 Análisis de precios unitarios de elaboración de concreto $f'_c=210$ kgf/cm ²	228
Tabla 99 Análisis de precios unitarios de elaboración de concreto $f'_c=280$ kgf/cm ²	229
Tabla 100 Análisis de precios unitarios de zarandeo de agregado grueso	230
Tabla 101 Análisis de precios unitarios de zarandeo de agregado fino.....	230

Tabla 102 Análisis de precios unitarios de curado por inmersión en agua a 23°C, para 10 briquetas de concreto.....	232
Tabla 103 Análisis de precios unitarios de curado de concreto con vapor de agua a 70°C por 16 horas, para 10 briquetas de concreto.....	233
Tabla 104 Análisis de precios unitarios de curado de concreto con vapor de agua a 50°C por 48 horas, para 10 briquetas de concreto.....	234
Tabla 105 <i>Costo directo de los 3 tipos de curado que se realizaron en la presente investigación.....</i>	235
Tabla 106 Influencia del curado con vapor en la evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ²	238
Tabla 107 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² curado con vapor a 50°C y 70°C.....	239
Tabla 108 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=280$ kgf/cm ² curado con vapor a 50°C y 70°C.....	240
Tabla 109 Comparación de la resistencia a la compresión de concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² cuando se cura con vapor respecto al curado por inmersión a 28 días.....	241

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Características Técnicas del Cemento Yura	25
Ilustración 2 Tipos de fractura de una briqueta de concreto.....	53
Ilustración 3 Detalle de los componentes del sistema de control de la cámara de vapor	65
Ilustración 4 Detalle de los componentes de la cámara de vapor	66
Ilustración 5 Detalle de los parámetros de la pantalla de datos de la cámara de vapor.....	66
Ilustración 6 Detalle de los componentes del recipiente metálico para el curado tradicional	74
Ilustración 7 Detalle de los parámetros de la pantalla de datos del recipiente metálico para el curado tradicional.....	74
Ilustración 8 Ubicación geográfica de la tienda de cemento PROMART.....	80
Ilustración 9 Ubicación geográfica de la cantera de Cunyac.....	81
Ilustración 10 Ubicación geográfica de la cantera de Vicho.....	81
Ilustración 11 Análisis fisicoquímico del agua del laboratorio de mecánica de suelos.....	82
Ilustración 12 Diagrama del procedimiento del ensayo de granulometría de agregado grueso	83
Ilustración 13 Análisis granulométrico del agregado grueso de vicho.....	84
Ilustración 14 Agregado grueso debidamente tamizado y distribuido en sus respectivas mallas	85
Ilustración 15 Diagrama del procedimiento del ensayo de módulo de fineza del agregado grueso.....	85
Ilustración 16 Diagrama del procedimiento del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso	86
Ilustración 17 Diagrama del procedimiento del ensayo de pasante de malla N°200 para el agregado grueso	88
Ilustración 18 Diagrama del procedimiento del ensayo del peso específico del agregado grueso.....	89
Ilustración 19 Diagrama del procedimiento del peso unitario suelto para el agregado grueso	91
Ilustración 20 Diagrama del procedimiento para el ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso	93
Ilustración 21 Diagrama del procedimiento para el ensayo de absorción de agregado grueso	95
Ilustración 22 Diagrama del procedimiento para el ensayo de abrasión de agregado grueso	97
Ilustración 23 Diagrama del procedimiento para el ensayo de granulometría del agregado fino	98
Ilustración 24 Resultado del análisis granulométrico del agregado fino.....	99
Ilustración 25 Curva de la granulometría del agregado fino de Cunyac	100
Ilustración 26 Curva de la granulometría corregida del agregado fino de Cunyac	101
Ilustración 27 Diagrama del procedimiento para el ensayo de módulo de fineza para el agregado fino	101

Ilustración 28 Diagrama del procedimiento para el ensayo de contenido de humedad del agregado fino	102
Ilustración 29 Diagrama del procedimiento del ensayo de pasante de la malla N°200 del agregado fino	104
Ilustración 30 Diagrama del procedimiento para el ensayo de peso específico del agregado fino	105
Ilustración 31 Peso del picnómetro con la muestra y agua a 23°C libre de aire.....	106
Ilustración 32 Diagrama del procedimiento para el ensayo de peso unitario suelto del agregado fino	107
Ilustración 33 Diagrama del procedimiento del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino	109
Ilustración 34 Diagrama del procedimiento del ensayo de absorción del agregado fino	111
Ilustración 35 Determinación de la Corrección de Humedad para el Agregado Fino.....	120
Ilustración 36.....	123
Ilustración 37 Almacenamiento del agregado grueso correspondiente a ½” y ¾” de acuerdo la gradación del Huso Granulométrico Nro. 6	127
Ilustración 38 Incorporación de materiales en la mezcladora de concreto en funcionamiento	128
Ilustración 39 Nomenclatura para las briquetas del diseño de mezclas del concreto f' c=210 kgf/cm ² y f' c=280 kgf/cm ²	129
Ilustración 40 Nomenclatura para briquetas de concreto f' c=210 kgf/cm ² y f' c=280 kgf/cm ² curadas de manera tradicional	129
Ilustración 41 Nomenclatura para briquetas de concreto f' c=210 kgf/cm ² y f' c=280 kgf/cm ² curadas con vapor de agua.....	130
Ilustración 42 Nomenclatura para briquetas de concreto f' c=210 kgf/cm ² y f' c=280 kgf/cm ² curadas con vapor de agua con el tiempo optimo.....	130
Ilustración 43 Nomenclatura para briquetas de concreto f' c=210 kgf/cm ² y f' c=280 kgf/cm ² desmoldadas y ensayas 24 horas después.....	131
Ilustración 44 Nomenclatura para briquetas de concreto f' c=210 kgf/cm ² y f' c=280 kgf/cm ² después de 28 días del curado optimo con 70°C.....	131
Ilustración 45 Nomenclatura de las briquetas curadas a vapor a 70 °C a 16H previo al ensayo a compresión.	132
Ilustración 46 Primer vaciado de prueba – Concreto f' c=210kgf/cm ² y f' c=280kgf/cm ²	134
Ilustración 47 Segundo vaciado de prueba - Concreto f' c=210kgf/cm ² y f' c=280kgf/cm ²	134
Ilustración 48 Vaciado del diseño de mezclas del concreto de f' c=210 kgf/cm ²	135
Ilustración 49 Vaciado del diseño de mezclas del concreto de f' c=280 kgf/cm ² - Ensayo de prueba de asentamiento (Cono de Abrams)	135
Ilustración 50 Ensayo de asentamiento del concreto f' c=210 kgf/cm ² para el curado tradicional.....	136

Ilustración 51 Ensayo de asentamiento del concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ de concreto para curado con vapor de agua a $70^\circ\text{C} - 14$ horas.....	136
Ilustración 52 Ensayo de asentamiento (Cono de Abrams) – Vaciado para curado con vapor 70°C a 18H.....	137
Ilustración 53 Ensayo de prueba de asentamiento (Cono de Abrams) – Curado a vapor de $70^\circ\text{C} - 6$ H.....	137
Ilustración 54 Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $70^\circ\text{C} - 16$ H.....	137
Ilustración 55 Vaciado de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $70^\circ\text{C} - 16$ H.....	138
Ilustración 56 Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor de $50^\circ\text{C} - 12$ H.....	138
Ilustración 57 Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor de $50^\circ\text{C} - 8$ H.....	138
Ilustración 58 Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor de $50^\circ\text{C} - 16$ H.....	139
Ilustración 59 Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $50^\circ\text{C} - 48$ H.....	139
Ilustración 60 Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $50^\circ\text{C} - 48$ H.....	139
Ilustración 61 Enrasado de Cono de Abrams – Diseño de mezclas $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	141
Ilustración 62 Cubrimiento de la briqueta de concreto luego del moldeado.....	142
Ilustración 63 Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en el estanque metálico de curado – Curado tradicional por inmersión en agua a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$	144
Ilustración 64 Verificación de la temperatura de curado tradicional por inmersión en agua a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$	144
Ilustración 65 Curado tradicional por inmersión en agua a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$	145
Ilustración 66 Curado tradicional por inmersión en agua a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en el estanque metálico de curado.....	145
Ilustración 67 Inicio del curado tradicional por inmersión en agua a $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ para diseño de mezclas.....	146
Ilustración 68 Configuración de los parámetros en la interfaz para el curado con vapor de agua.....	150
Ilustración 69 Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado a vapor a $70^\circ\text{C} - 14$ H.....	150
Ilustración 70 Parámetros configurados en la interfaz para el curado con vapor de agua.....	151
Ilustración 71 Verificación de los datos de temperatura y humedad dentro de la cámara de vapor....	152

Ilustración 72 Extracción de briquetas de concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ de la cámara de vapor-Curado a vapor a $70\text{ }^\circ\text{C} - 18\text{H}$	153
Ilustración 73 Refrendado con CAPPING de las briquetas – Segundo vaciado de prueba.....	158
Ilustración 74 Ensayo de compresión para el primer vaciado de prueba – 7 días	160
Ilustración 75 Ensayo de compresión para el segundo vaciado de prueba – 7 días	161
Ilustración 76 Fallas de rotura – diseño de mezclas de 210kgf/cm^2 y 280kgf/cm^2	161
Ilustración 77 Briquetas después del ensayo de compresión – diseño de mezclas de 210 kgf/cm^2 y 280kgf/cm^2	163
Ilustración 78 Fallas de rotura para el concreto curadas a vapor 70°C a 14H	163
Ilustración 79 Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a $70\text{ }^\circ\text{C}-18\text{H}$	164
Ilustración 80 Fallas de rotura del concreto curadas con vapor $70\text{ }^\circ\text{C}$ a 6H	164
Ilustración 81 Fallas de rotura del concreto curadas con vapor $70\text{ }^\circ\text{C}$ a 6H	165
Ilustración 82 Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a $50\text{ }^\circ\text{C}$ a 12H	165
Ilustración 83 Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a $50\text{ }^\circ\text{C}$ a 8H	166
Ilustración 84 Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a $50\text{ }^\circ\text{C}$ a 16H	166
Ilustración 85 Falla de roturas de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ ensayadas a compresión 1 después del moldeado.....	167
Ilustración 86 Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a $70\text{ }^\circ\text{C}$ a 16H	167
Ilustración 87 Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=280\text{ kgf/cm}^2$ curadas a Vapor a $70\text{ }^\circ\text{C}$ a 16H	168
Ilustración 88 Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas por inmersión en agua a $23\text{ }^\circ\text{C}$ por 28 días.....	168
Ilustración 89 Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=280\text{ kgf/cm}^2$ curadas a vapor a $50^\circ\text{C} - 48\text{H}$	169
Ilustración 90 Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ ensayadas 1 después del moldeado.	170
Ilustración 91 Falla de roturas de briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor $70\text{ }^\circ\text{C} - 16\text{H}$	170
Ilustración 92 Falla de Roturas de briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor $50\text{ }^\circ\text{C} - 48\text{H}$	171
Ilustración 93 Falla de roturas de briquetas de concreto de $f'c=280\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor $70\text{ }^\circ\text{C} - 16\text{H}$, ensayadas a compresión 28 días después.	171
Ilustración 94 Falla de roturas de briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor $70\text{ }^\circ\text{C} - 16\text{H}$, ensayadas a compresión 28 días después.	172

Ilustración 95 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 70 °C-16H de 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara	181
Ilustración 96 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 70 °C-14H de 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara	182
Ilustración 97 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 70 °C-18H de 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor	183
Ilustración 98 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 70 °C-16H de 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor.....	185
Ilustración 99 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 70 °C-16H de 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor.....	185
Ilustración 100 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 50 °C-8H de 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor	188
Ilustración 101 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 50 °C-12H de 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor	189
Ilustración 102 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 50 °C-16H de 210 kgf/cm ² y 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor	190
Ilustración 103 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 50 °C-48H de 280 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor.....	192
Ilustración 104 Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 50 °C-48H de 210 kgf/cm ² extraído del sistema de la cámara de vapor.....	192
Ilustración 105 Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto f'c=210 kgf/cm ² curado por Inmersión en Agua a 23°C	195
Ilustración 106 Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto f'c=280 kgf/cm ² curado por Inmersión en Agua a 23°C	196
Ilustración 107 Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto f'c=280 kgf/cm ² Curado con Vapor de Agua a 50°C	198
Ilustración 108 Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto f'c=210 kgf/cm ² Curado con Vapor de Agua a 50°C	199
Ilustración 109 Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto Curado con Vapor de Agua a 50°C.....	201
Ilustración 110 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto f'c=280 kgf/cm ² curado con vapor de agua a 70°C	204
Ilustración 111 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto f'c=210 kgf/cm ² curado con vapor de agua a 70°C	205

Ilustración 112 Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto Curado con Vapor de Agua a 70°C.....	207
Ilustración 113 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kgf/cm ²	210
Ilustración 114 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=280$ kgf/cm ²	211
Ilustración 115 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=280$ kgf/cm ² curado con vapor de agua a 50°C y 70°C	212
Ilustración 116 Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kgf/cm ² curado con vapor de agua a 50°C y 70°C	213

Introducción

En el vasto campo de la Ingeniería Civil, el adecuado curado del concreto desempeña un papel fundamental en el desarrollo de sus propiedades y resistencia. El curado convencional, que implica la aplicación de agua para mantener una humedad constante, es un método ampliamente utilizado. Sin embargo, en ciertas situaciones, como en climas fríos o en proyectos con requisitos de resistencia a compresión específicos, es necesario explorar alternativas que aceleren el proceso de curado sin comprometer la calidad del concreto. En este contexto, el curado con vapor de agua ha surgido como una técnica prometedora.

Es importante mencionar que, como resultado de la alta demanda de concreto en la industria de la construcción, el uso de concreto prefabricado se ha vuelto cada vez más popular debido a sus ventajas en términos de calidad, eficiencia y sostenibilidad. El concreto prefabricado se produce en instalaciones controladas, lo que permite un mejor control de calidad y una mayor uniformidad en las propiedades del material. Además, la fabricación en serie de elementos prefabricados reduce los tiempos de construcción y los costos asociados.

Como se sabe una de las propiedades más importantes del concreto es su resistencia a compresión, que se ve afectada por diversos factores, incluido el proceso de curado. El curado es una etapa crucial en la vida del concreto, ya que permite que el material alcance su resistencia y durabilidad óptimas. Tradicionalmente, el concreto se cura sumergiéndolo en agua durante 28 días; sin embargo, este proceso puede ser ineficiente en términos de tiempo y recursos, especialmente en el caso del concreto prefabricado.

El curado con vapor de agua es una alternativa prometedora que permite acelerar el proceso de curado y reducir el consumo de agua y energía. Además, al tener acceso a datos confiables sobre las condiciones óptimas tanto de temperatura y tiempo de curado con vapor, los ingenieros y técnicos de control de calidad pueden realizar análisis y evaluaciones más rápidas de las muestras de concreto. Esto les permite verificar rápidamente si cualquier diseño de mezclas de concreto cumplen con los estándares de calidad especificados en los expedientes técnicos, facilitando una respuesta ágil ante posibles desviaciones y la implementación oportuna de medidas correctivas. Asimismo, la capacidad de diseñar mezclas de concreto con rapidez y precisión acorta significativamente el tiempo necesario para alcanzar la resistencia requerida del material. Esto permite analizar con mayor rapidez las propiedades del concreto con diferentes características, como distintas granulometrías, tipos de agregados y relaciones agua/cemento. Además, se puede considerar la implementación de materiales alternativos que reemplacen al cemento o a los agregados, lo que contribuye a la innovación y eficiencia en el diseño de mezclas de concreto.

El objetivo de esta investigación es analizar el efecto de la temperatura y el tiempo de curado con vapor de agua en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, utilizando especímenes de concreto cilíndrico de 30cm de altura y 15cm de diámetro, para luego determinar la combinación óptima de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua que permita alcanzar una resistencia a compresión equivalente o mayor a la obtenida mediante el curado tradicional en agua durante 28 días. Además, se busca mejorar la comprensión de los efectos del curado con vapor de agua en las propiedades del concreto y promover prácticas de construcción más sostenibles y eficientes en la ciudad de Cusco y otras regiones con condiciones similares.

Resumen

El objetivo principal de este trabajo de investigación es analizar cómo varían los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se somete a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo de curado con vapor de agua.

Para el tema de investigación, se empleó la metodología del ACI 211.1 para el diseño de mezclas de ambas resistencias, por otro lado, la construcción del estanque metálico de agua a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ se basó en la NTP 334.077 y la cámara de vapor se basó en el ASTM 517.2R. Las temperaturas de curado con vapor de agua se determinaron siguiendo los estándares ACI 308, ASTM 517.2R y CIRSOC 201, siendo $50 \text{ }^\circ\text{C}$ y $70 \text{ }^\circ\text{C}$ las temperaturas elegidas como mínima y máxima respectivamente.

En el desarrollo del estudio, se procedió a curar briquetas de concreto de ambas resistencias tanto de manera tradicional con agua a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 28 días, como con vapor de agua. Los tiempos de curado con vapor fueron de 6, 14, 16 y 18 horas para la temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, y 8, 12, 16 y 48 horas para la temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Para cada temperatura y tiempo determinado se elaboraron especímenes de concreto tanto para la resistencia de 210 kgf/cm^2 y de 280 kgf/cm^2 , las cuales fueron sometidos a ensayos de estado fresco y estado endurecido.

Posteriormente, se identificó mediante ecuaciones de madurez (ecuaciones de regresión) el tiempo óptimo de curado con vapor de agua para ambas temperaturas, el cual garantiza el desarrollo de la resistencia a compresión del concreto equivalente al desarrollo proporcionado con 28 días de curado por inmersión con agua a $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Se concluyó que el tiempo óptimo para el curado con vapor de agua a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ es de 16 horas, y para el de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ es de 48 horas, tanto para la resistencia de diseño de 210 kgf/cm^2 como para 280 kgf/cm^2 . Para analizar cuanto es el aumento de resistencia que incrementa el curado con vapor de agua, se sometió a ensayos de compresión especímenes de concreto después de 24 horas del moldeado, a partir de lo cual se obtuvo que el curado óptimo con vapor de agua a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 16 horas ocasiona en promedio un desarrollo de la resistencia de 80.4% para el concreto de $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y de 78.8% para el concreto de $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, tomando como el 100% la resistencia promedio alcanzada luego del curado con vapor.

Este estudio proporciona información valiosa para entender cómo diferentes condiciones de curado con vapor de agua afectan al desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto a edades tempranas, lo que puede ser de gran utilidad y logra optimizar el proceso de curado en la industria del concreto.

Palabras clave: Concreto, curado a vapor, temperatura, resistencia a la compresión.

Abstract

The main objective of this research work is to analyze how the results of the compressive strength of concrete of $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ and $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ vary when subjected to different temperatures and time intervals of curing with water vapor.

For the research topic, the ACI 211.1 methodology was used for the design of mixtures of both resistances, on the other hand, the construction of the metal water tank at $23 \text{ }^\circ\text{C}$ was based on NTP 334.077 and the steam chamber was based on ASTM 517.2R. The water vapor curing temperatures were determined following the ACI 308, ASTM 517.2R and CIRSOC 201 standards, with $50 \text{ }^\circ\text{C}$ and $70 \text{ }^\circ\text{C}$ being the minimum and maximum temperatures respectively.

During the development of the study, concrete briquettes of both strengths were cured both in the traditional way with water at $23 \text{ }^\circ\text{C}$ for 28 days, and with water vapor. The curing times with steam were 6, 14, 16 and 18 hours for the temperature of $70 \text{ }^\circ\text{C}$, and 8, 12, 16 and 48 hours for the temperature of $50 \text{ }^\circ\text{C}$. For each temperature and time determined, concrete specimens were prepared for both the strength of 210 kgf/cm^2 and 280 kgf/cm^2 , which were subjected to tests in the fresh state and hardened state.

Subsequently, the optimum steam curing time for both temperatures was identified using maturity equations (regression equations), which guarantees the development of the compressive strength of the concrete equivalent to the development provided by 28 days of curing by immersion with water at $23 \text{ }^\circ\text{C}$. It was concluded that the optimum time for steam curing at $70 \text{ }^\circ\text{C}$ is 16 hours, and for $50 \text{ }^\circ\text{C}$ it is 48 hours, both for the design strength of 210 kgf/cm^2 and for 280 kgf/cm^2 . To analyze how much is the increase in strength that increases the curing with water vapor, concrete specimens were subjected to compression tests after 24 hours of molding, from which it was obtained that the optimal curing with water vapor at $70 \text{ }^\circ\text{C}$ for 16 hours causes on average a development of the strength of 80.4% for the concrete of $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ and of 78.8% for the concrete of $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, taking as 100% the average strength reached after curing with steam.

This study provides valuable information to understand how different water vapor curing conditions affect the development of concrete compressive strength at early ages, which can be very useful and help optimize the curing process in the concrete industry.

Keywords: Concrete, steam curing, temperature, compressive strength.

1. Capítulo I: Formulación de la Investigación

1.1. Planteamiento del Problema

El sector de la construcción enfrenta desafíos constantes en términos de eficiencia, sostenibilidad y calidad de los materiales empleados. El concreto prefabricado ha surgido como una solución viable en la industria, gracias a sus ventajas en control de calidad y uniformidad en las propiedades del material, lo que se traduce en estructuras más resistentes y duraderas. Sin embargo, el proceso de curado, fundamental para que el concreto alcance su resistencia y durabilidad óptimas, es un aspecto que requiere una atención especial en el caso del concreto prefabricado.

El curado tradicional del concreto, mediante su inmersión en agua durante 28 días, puede resultar en un consumo excesivo de recursos, tiempo y energía. Además, el proceso de curado en agua no siempre es factible en el caso de elementos prefabricados de concreto o para el caso de investigaciones de nuevos tipos de concreto o pruebas de estándares de calidad en el concreto, debido a que este método puede resultar ineficiente en términos de tiempo y recursos especialmente en zonas con escasez de agua o limitaciones logísticas. Por lo tanto, es necesario investigar métodos alternativos de curado que puedan proporcionar resultados equivalentes o superiores en términos de resistencia a compresión y durabilidad del concreto. lo que plantea la necesidad de comprender su impacto en la resistencia del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², con la finalidad de optimizar costos y tiempos de producción.

El curado con vapor de agua es un método prometedor que ha demostrado acelerar el proceso de curado en el aspecto de que acelera el tiempo de fraguado y la adquisición de resistencia, además de reducir el consumo de agua y energía. A pesar de su potencial, el proceso de curado con vapor de agua aún no está completamente comprendido, y es fundamental identificar la combinación óptima de temperatura y tiempo de curado para garantizar que el concreto alcance su resistencia a compresión deseada.

En este contexto, surge la necesidad de explorar y comprender cómo estas diferentes condiciones de curado con vapor de agua impactan la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm². Esta situación plantea un desafío importante en la industria, ya que la optimización de los procesos de curado podría significar una mejora sustancial en la optimización de costos y tiempos de producción.

El problema que se plantea en esta investigación radica en determinar la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad de Cusco en 2023.

1.1.1. Problema General

¿Cuál es la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad de Cusco en 2023?

1.1.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cuál es la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas con vapor de agua?
- b) ¿Cuál es la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes intervalos de tiempo con vapor de agua?
- c) ¿Cuál es la temperatura óptima de curado con vapor de agua del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días?
- d) ¿Cuál es el tiempo de curado óptimo del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días?
- e) ¿Qué equivalencia en términos de resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, existe entre las pruebas de las probetas expuestas a diferentes temperaturas y tiempos de curado con vapor de agua?

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Determinar la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad de Cusco en 2023

1.2.2. Objetivo Específico

- a) Evaluar la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas, mediante la realización de pruebas de resistencia a compresión en probetas expuestas a distintos tiempos de curado.
- b) Analizar la variación en la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes intervalos de tiempo, mediante la realización de pruebas de resistencia a la compresión en probetas expuestas a distintas temperaturas de curado.
- c) Determinar la temperatura óptima de curado con vapor de agua del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, necesaria para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a diferentes temperaturas de curado.
- d) Establecer el tiempo óptimo de curado con vapor de agua del concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, necesario para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a diferentes tiempos de curado.
- e) Comparar los resultados de resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, obtenidos en las pruebas de las probetas expuestas a diferentes temperaturas y tiempos de curado con vapor de agua con los resultados de las probetas curadas convencionalmente con agua a los 28 días, para determinar la equivalencia en términos de resistencia a la compresión.

1.3. Justificación de la Investigación

La justificación teórica de esta investigación se basa en la necesidad de ampliar el conocimiento científico sobre el efecto de la temperatura y el tiempo de curado con vapor de agua en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto. Desde una perspectiva práctica, los hallazgos de esta investigación podrían tener un impacto significativo en la industria de la construcción en la ciudad de Cusco. Si se demuestra que el curado con vapor de agua es una técnica

viable y efectiva para acelerar el desarrollo de resistencia del concreto de resistencia de 210 kgf/cm² y de 280 kgf/cm², se abrirán oportunidades para optimizar los tiempos de construcción, reducir los costos asociados y mejorar la eficiencia de los proyectos de ingeniería civil en la región. A continuación, se presentan algunos aspectos relevantes que respaldan la importancia de esta investigación desde un enfoque teórico, práctico y metodológico.

1.3.1. Justificación Teórica

- a) Contribución al conocimiento científico: Esta investigación busca generar nueva información en el campo de la construcción de concreto, específicamente en la influencia del curado con vapor de agua en la resistencia a la compresión del concreto de resistencia 210 kgf/cm² y de 280 kgf/cm². La obtención de datos específicos para la ciudad de Cusco en 2023 enriquecerá el conocimiento científico existente en esta área y contribuirá al avance del estado del arte en la tecnología del concreto prefabricado.
- b) Eficiencia en la elaboración de concreto prefabricado: El uso de concreto prefabricado ha demostrado ser una alternativa eficiente y sostenible en comparación con el concreto convencional en diversas aplicaciones de la construcción. Este estudio busca optimizar el proceso de curado con vapor de agua para así mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de producción de elementos prefabricados, lo que se traduce en ahorros en costos y tiempo de construcción.
- c) Relevancia para la región de Cusco: Esta investigación recoge datos específicos de Cusco para optimizar el curado del concreto, garantizando la seguridad y calidad de las construcciones en la región.
- d) Transferencia de conocimientos: Los resultados de esta investigación podrían ser utilizados por profesionales de la Ingeniería civil y la construcción para optimizar el uso del concreto de resistencia de 210 kgf/cm² y de 280 kgf/cm² elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac en la ciudad del Cusco, mejorando la calidad y durabilidad de las estructuras construidas.

1.3.2. Justificación Práctica

- a) Optimización de procesos de elaboración de elementos de concreto prefabricado: La investigación propuesta tiene como objetivo evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de curado con vapor de agua en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto prefabricado. Los resultados obtenidos permitirán identificar el mejor método de curado para obtener un concreto de alta calidad en el menor tiempo posible. Esto podría tener un impacto directo en la optimización de los procesos de construcción, al permitir acelerar el proceso de

endurecimiento del concreto y reducir los tiempos de curado, lo cual podría resultar en una mayor eficiencia en la ejecución de proyectos de construcción.

- b) Reducción de costos y riesgos en la construcción al utilizar elementos de concreto prefabricado: El uso de métodos de curado inadecuados puede resultar en una disminución de la resistencia y durabilidad del concreto, lo cual puede generar costos adicionales en términos de reparaciones o reemplazo de elementos prefabricados. La propuesta de investigación busca identificar el método de curado más eficiente en términos de tiempo y temperatura, lo cual podría contribuir a reducir los costos asociados con posibles fallas en el concreto y los riesgos de disminución de la calidad en la construcción de los elementos de concreto prefabricado.
- c) Aplicación en la industria de concreto prefabricado: Los resultados de esta investigación tendrán una aplicación directa en la industria de prefabricados, especialmente en la selección de los métodos de curado más adecuados en la industria de prefabricados. Los fabricantes de concreto prefabricado, los contratistas y los profesionales de la construcción podrán utilizar los resultados obtenidos en esta investigación para mejorar la calidad y durabilidad de los prefabricados, lo cual podría tener un impacto positivo en la satisfacción del cliente y en la reputación de las empresas involucradas en la construcción de proyectos con concreto prefabricado.
- d) Control de calidad en expedientes técnicos: Acceder a datos confiables sobre las condiciones óptimas de curado permite a los ingenieros y técnicos de control de calidad realizar análisis y evaluaciones más rápidas de las muestras de concreto. Esto se traduce en una respuesta más rápida ante posibles desviaciones en la calidad del concreto, lo que a su vez conduce a una implementación oportuna de medidas correctivas. En consecuencia, se mejora la eficiencia en la verificación del cumplimiento de los estándares de calidad especificados en los expedientes técnicos.
- e) Elaboración de diseños de mezclas: La capacidad de diseñar mezclas de concreto con rapidez y precisión tiene un impacto significativo en la optimización del proceso de producción. Al reducir el tiempo requerido para obtener la resistencia requerida del concreto, se agilizan los procesos de diseño y fabricación. Además, la capacidad de analizar rápidamente las propiedades del concreto con diferentes características, como distintas granulometrías y relaciones agua/cemento, permite una adaptación más ágil a los requisitos específicos de cada proyecto.

1.3.3. Justificación Metodológica

- a) Diseño experimental adecuado: La investigación propuesta se llevará a cabo mediante un diseño experimental que permitirá manipular y controlar variables independientes como la

temperatura y el tiempo de curado con vapor de agua, y medir su efecto en la variable dependiente, que es la resistencia a la compresión del concreto. Este diseño experimental permite establecer relaciones de causa y efecto entre las variables, lo cual fortalecerá la validez interna de los resultados obtenidos.

- b) Utilización de técnicas de medición confiables: La medición de la resistencia a la compresión del concreto es un aspecto crítico en esta investigación. Se utilizarán técnicas de medición confiables y ampliamente aceptadas en la industria de la construcción, como ensayos de laboratorio de acuerdo con normas internacionales como ASTM o ACI. Esto garantizará la precisión y validez de los resultados obtenidos, lo cual fortalecerá la confiabilidad de la investigación.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis General

Sí se produce una variación en la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad del Cusco en 2023.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- a) A mayor temperatura de curado con vapor de agua, se obtendrá una mayor resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, debido a la aceleración del proceso de hidratación del cemento.
- b) El tiempo de curado con vapor de agua necesario para alcanzar una resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, será menor al utilizado para el curado convencional con agua a los 28 días, debido a la mayor velocidad de adquisición de resistencia del concreto expuesto a temperaturas elevadas.
- c) Existe una temperatura óptima de curado con vapor de agua necesario para alcanzar una resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, la cual será mayor a la utilizada en el curado convencional con agua a los 28 días, debido a la activación adecuada de la hidratación del cemento.
- d) El curado con vapor de agua a tiempos específicos puede lograr resultados equivalentes en resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado

con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, en comparación con el curado convencional con agua a los 28 días.

- e) Existe una equivalencia en términos de resistencia a la compresión ya que el uso de temperaturas de curado con vapor de agua y tiempos de exposición específicos permitirá obtener un concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, con propiedades de resistencia a la compresión similares al curado convencional con agua a los 28 días, lo cual será verificado mediante pruebas de resistencia a la compresión de probetas de concreto.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente (X): Curado con Vapor de Agua

Dada nuestra investigación sobre el impacto del curado con vapor de agua en el concreto de resistencia 210 kgf/cm² y de 280 kgf/cm², la variable independiente es el curado con vapor, el cual comprende dos aspectos principales que se controlan y manipulan:

1.5.1.1. Temperatura de Curado con Vapor

Es uno de los componentes fundamentales de la variable independiente. Esta variable involucra la aplicación de temperaturas específicas, controladas y reguladas durante el proceso de curado del concreto. En nuestro caso, se establecerán diferentes temperaturas de curado con vapor, como 50°C y 70°C se compararían los efectos de cada una en la resistencia a la compresión del concreto de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm²

1.5.1.2. Tiempo de Curado con Vapor

El tiempo durante el cual se aplica el curado con vapor también constituye una parte crucial de la variable independiente. Se refiere a la duración en la que las muestras de concreto se someten al ambiente de vapor a temperaturas específicas. Este tiempo variaría en lapsos de determinadas horas y días, con el fin de evaluar cómo la duración del curado afecta la resistencia a la compresión del concreto.

1.5.2. Variable Dependiente (Y): Resistencia a la Compresión del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm²

1.5.2.1. Resistencia a la Compresión del Concreto

Esta variable dependiente representa una medida de su capacidad para soportar cargas de compresión. En este caso, se trata específicamente de la resistencia del concreto con una especificación de 210 kgf/cm² y de 280 kgf/cm². Durante el estudio, se evaluarán varios indicadores de resistencia a la compresión para cada combinación de temperaturas y tiempos de curado con vapor. El análisis de esta variable proporcionará información crucial sobre cómo estas variaciones en el proceso

de curado pueden impactar la resistencia final del concreto de resistencia de 210 kgf/cm² y de 280 kgf/cm², lo que permitirá comprender qué condiciones de curado podrían resultar en la máxima resistencia a la compresión.

1.5.3. Operacionalización de las Variables

1.5.3.1. Dimensiones

Como dimensiones de la variable independiente se tiene:

- X1: Temperatura de curado con vapor de agua
- X2: Tiempo de curado con vapor de agua

Como dimensiones de la variable dependiente se tiene:

- Y1: Resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm²
- Y2: Resistencia a la compresión del concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

1.5.3.2. Indicadores

Como indicadores de la variable independiente se tiene:

- X11: Diferentes valores de temperatura (50°C y 70°C)
- X21: Diversos intervalos de tiempo (8 horas, 12 horas, etc.)

Como indicadores de la variable dependiente se tiene:

- Y11: Los diferentes valores de resistencia a la compresión obtenidos bajo las diversas condiciones de curado con vapor de agua para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²
- Y21: Los diferentes valores de resistencia a la compresión obtenidos bajo las diversas condiciones de curado con vapor de agua para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

1.5.3.3. Unidades

Las unidades de la variable independiente son:

- X111: Grados Celsius (°C)
- X211: Horas (h.)

La unidad de la variable dependiente es:

- Y111: kgf/cm² o MPa
- Y211: kgf/cm² o MPa

Tabla 1*Operacionalización de las Variables*

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Variable Independiente: Curado con Vapor de Agua	Temperatura	Diferentes Valores de Temperatura	Grados Celsius (°C)
	Tiempo	Diferentes Intervalos de Tiempo	Horas (h)
Variable Dependiente: Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ²	Resistencia a la Compresión del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	Diferentes Valores de Resistencia a la Compresión para el Concreto de $f'c=210$ kgf/cm ²	kgf/cm ²
	Resistencia a la Compresión del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	Diferentes Valores de Resistencia a la Compresión para el Concreto de $f'c=280$ kgf/cm ²	kgf/cm ²

Nota. Fuente: Elaboración propia

1.5.4. Matriz de Consistencia

Tabla 2

Matriz de Consistencia

TITULO: "ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C. 210KG/CM ² Y 280 KG/CM ² ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND IP, AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE VICHO Y AGREGADO FINO DE LA CANTERA DE CUNYAC; CUANDO SE CURA A DIFERENTES TEMPERATURAS E INTERVALOS DE TIEMPO CON VAPOR DE AGUA, EN LA CIUDAD DE CUSCO 2023"					
PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACION
¿Cuál es la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad de Cusco en 2023?	Determinar la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad de Cusco en 2023	Si se produce una variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas e intervalos de tiempo con vapor de agua, en la ciudad del Cusco en 2023.	Curado con Vapor de Agua	x1: Diferente Niveles de Temperatura x2: Diferentes Intervalos de Tiempo	Es de tipo experimental porque involucra el diseño y ejecución de experimentos controlados en un laboratorio, donde se someterán probetas de concreto prefabricado a diferentes condiciones de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua. Es de tipo aplicada se centra en la resolución de problemas específicos en la práctica profesional o en la mejora de procesos y técnicas en un campo determinado Es de tipo cuantitativa porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar la relación entre variables y generar conclusiones basadas en evidencia empírica
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICO	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE	NIVEL DE INVESTIGACION
1. ¿Cuál es la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas con vapor de agua? 2. ¿Cuál es la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes intervalos de tiempo con vapor de agua?	1. Evaluar la variación los resultados de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes temperaturas, mediante la realización de pruebas de resistencia en probetas expuestas a distintas temperaturas de curado. 2. Analizar la variación en los resultados de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, cuando se cura a diferentes intervalos de tiempo, mediante la realización de pruebas de resistencia a la	1. A mayor temperatura de curado con vapor de agua, se obtendrá una mayor resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, debido a la aceleración del proceso de hidratación del cemento. 2. El tiempo de curado con vapor de agua necesario para alcanzar una resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ² , elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, será menor al utilizado para el curado convencional con agua a los 28 días, debido a la mayor velocidad de adquisición de	Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=210$ kgf/cm ² y $f'c=280$ kgf/cm ²	y1: Diferentes Valores de Resistencia a la Compresión de $f'c=210$ kgf/cm ² y2: Diferentes Valores de Resistencia a la compresión de $f'c=280$ kgf/cm ²	En primer lugar, es descriptiva porque se centra en describir y documentar las características de un fenómeno o situación en estudio. En segundo lugar, es correlacional porque se enfoca en establecer relaciones entre variables y determinar si existe una asociación significativa entre ellas.

<p>3. ¿Cuál es la temperatura óptima de curado con vapor de agua del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días?</p> <p>4. ¿Cuál es el tiempo de curado óptimo del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días?</p> <p>5. ¿Qué equivalencia en términos de resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, existe entre las pruebas de las probetas expuestas a diferentes temperaturas y tiempos de curado con vapor de agua?</p>	<p>compresión en probetas expuestas a distintos tiempos de curado.</p> <p>3. Determinar la temperatura óptima de curado con vapor de agua del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, necesario para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a diferentes temperaturas de curado.</p> <p>4. Establecer el tiempo de curado con vapor de agua del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, necesario para alcanzar una resistencia a la compresión equivalente al curado convencional con agua a los 28 días, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión a diferentes tiempos de curado.</p> <p>5. Comparar los resultados de resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, obtenidos en las pruebas de las probetas expuestas a diferentes temperaturas y tiempos de curado con vapor de agua con los resultados de las probetas curadas convencionalmente con agua a los 28 días, para determinar la equivalencia en términos de resistencia a la compresión.</p>	<p>resistencia del concreto expuesto a temperaturas elevadas.</p> <p>3. Existe una temperatura óptima de curado con vapor de agua necesario para alcanzar una resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, la cual será mayor a la utilizada en el curado convencional con agua a los 28 días, debido a la activación adecuada de la hidratación del cemento.</p> <p>4. El curado con vapor de agua a tiempos específicos puede lograr resultados equivalentes en resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, en comparación con el curado convencional con agua a los 28 días.</p> <p>5. Existe una equivalencia en términos de resistencia a la compresión ya que el uso de temperaturas de curado con vapor de agua y tiempos de exposición específicos permitirá obtener un concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², elaborado con agregado grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, con propiedades de resistencia a la compresión similares al curado convencional con agua a los 28 días, lo cual será verificado mediante pruebas de resistencia a la compresión de probetas de concreto.</p>
--	---	--

Nota. Fuente: Elaboración propia

1.6. Viabilidad

- a) Viabilidad técnica: La investigación cuenta con el respaldo de normativas internacionales y locales, lo que asegura la utilización de técnicas e instrumentos de medición adecuados y reconocidos en el campo de la ingeniería civil y la construcción. La disponibilidad de equipos y laboratorios para la fabricación y ensayo de probetas de concreto, así como la realización del curado con vapor de agua, garantiza la viabilidad técnica del estudio.
- b) Viabilidad económica: La investigación se centrará en la utilización de materiales y procesos que sean económicamente viables en el contexto de la ciudad de Cusco y la industria de la construcción. A pesar de que algunos equipos y pruebas pueden tener costos asociados, estos gastos pueden ser justificados por los beneficios potenciales en términos de eficiencia energética, sustentabilidad y optimización del proceso de curado del concreto.
- c) Viabilidad temporal: El estudio se llevará a cabo en un marco temporal adecuado que permita realizar los experimentos y análisis necesarios sin comprometer la calidad y validez de los resultados. El tiempo requerido se ajustará a las exigencias y plazos establecidos.
- d) Viabilidad social y académica: La investigación aborda una problemática relevante en el campo de la ingeniería civil y la construcción en la ciudad de Cusco, lo que asegura el interés y la aceptación por parte de la comunidad académica y profesional. Además, los resultados obtenidos podrían contribuir al mejoramiento de las prácticas de curado en la industria de la construcción prefabricada en la región.

1.7. Limitaciones

- a) Disponibilidad de materiales: La disponibilidad de los materiales utilizados en la investigación puede ser una limitación importante. En particular, los materiales específicos utilizados en esta investigación, como el cemento Multipropósito Yura, agregados grueso de la cantera de Vicho y agregado fino de la cantera de Cunyac, pueden no estar disponibles en todo momento y lugar, es decir fuera de la ciudad del Cusco. Además, la calidad de los materiales puede variar entre diferentes lotes o suministradores, lo que podría afectar los resultados obtenidos.
- b) Limitaciones en la reproducibilidad: La complejidad de ciertos procesos o la necesidad de equipamiento especializado podría dificultar la reproducción exacta de las condiciones experimentales, lo que a su vez podría limitar la verificación y repetición de los resultados por otros investigadores.

2. Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes Internacionales

- **Niño Parra, P. (2014)**, “realizó 2 diseño de concreto de ultra alto desempeño con materiales de Colombia, a los cuales sometió al curado normalizado a 28 días a una temperatura de 23°C, curado al ambiente, curado con vapor (60°C y 90°C) y tratamiento con calor (60°C y 90°C), con el fin de estudiar la influencia de estos en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto elaborado, durante su investigación resalta que las condiciones de temperatura, humedad y el tiempo de curado fueron fundamentales al momento de la evolución de la resistencia del concreto. Como conclusiones indica que el curado con vapor a 90°C fue el que mostró un rápido desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto desempeño, a comparación de los regímenes de curado. Indica finalmente que la hidratación del cemento es el factor principal que determina la evolución positiva o negativa del desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto de ultra alto desempeño.”
- **Pan Zou, Hui-Juan Chang, Fei Wang, Yu-Liang Cai, Zhe Zhang, Zhou Zhao, Zhong-Da Lv (2023)**, “en su investigación realizaron experimentos y simulaciones numéricas con el fin de esquematizar un efectivo régimen de curado con vapor para vigas T de concreto prefabricado. El estudio se realizó en vigas T de concreto armado de 30m con resistencia a la compresión de diseño de 50MPa, elaborado con cemento Portland de grado 42.5, cenizas volantes F Clase II y escoria en polvo de grado S95, con lo que se produjo un concreto de resistencia a la compresión de 60.4MPa a los 28 días. Se sometió las vigas T a un régimen de curado con vapor de agua a la temperatura de 53°C durante 10 horas. Finalmente concluyen indicando que el curado con vapor acelera considerablemente la hidratación del cemento lo cual a su vez produce el incremento de la resistencia a la compresión del concreto a edades tempranas, además observan que un régimen de curado con vapor de agua a 60°C puede producir un agrietamiento en la superficie del concreto debido a la diferencia de temperatura entre esta última y el medio ambiente.”

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- **Valdivia Torres, G. (2018)**, “desarrolla los métodos de curado acelerado descritos en la norma NTP 339.213, en 63 diseños de mezclas donde utilizó 3 tipos de cementos y 7 relaciones agua-cemento. Durante su investigación realizaron el curado acelerado a las temperaturas de 35°C, 60°C, para el método de agua caliente y 100°C para el método de Ebullición modificado, en probetas cilíndricas de concreto que se ensayaron a 1 día y 28 días. Como resultado de su investigación, indica que usando método de curado acelerado Ebullición

Modificada a 100°C, se logra una resistencia a la compresión equivalente al 65% que la resistencia que se logra con un curado tradicional de 28 días en agua. Indica además una ecuación de correlación con la cual se puede predecir la resistencia a la compresión de un concreto a 28 días de curado normal, utilizando los resultados del curado acelerado a 100°C de la norma NTP 339.213.”

- **Caparó Guevara, A. (2017)**, “elaboró 26 diseños de mezclas, utilizando 4 tipos de cementos y 4 relaciones agua-cemento, y adición de microsílíce para obtener concretos de resistencias a la compresión mayores a 400 kgf/cm², a los especímenes de concreto que se elaboró, se le sometió al curado a vapor a 60°C y al curado adiabático a una temperatura entre 37°C y 50°C, se realizó el ensayo de compresión a 1, 3 y 28 días, con el fin de obtener concretos con resistencias a la compresión mayores a 400 kgf/cm² a edades tempranas. Como conclusiones indica que el método de curado a vapor produce una resistencia temprana mayor a la del curado adiabático y al método de curado convencional a 1 día, sin embargo, indica que a largo plazo el curado con vapor frenó el desarrollo de la resistencia a la compresión.”

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Conceptos Fundamentales del Concreto

2.2.1.1. Definición

“El concreto es un material compuesto muy utilizado en la industria de la construcción, formado por una mezcla de diferentes ingredientes como áridos (gruesos y finos), cemento, agua y en ocasiones aditivos químicos y minerales. El material es conocido por su versatilidad, resistencia y durabilidad, lo que lo convierte en una opción popular para la construcción de edificios, puentes, carreteras, presas y muchas otras infraestructuras.” (Gúzman, 2001)

2.2.1.2. Propiedades en Estado Fresco

“Las propiedades del concreto en estado fresco son fundamentales para garantizar una adecuada colocación, compactación y acabado del material. Estas propiedades influyen en la trabajabilidad del concreto, su capacidad para ser moldeado en formas y su resistencia final. Algunas de las propiedades más importantes del concreto en estado fresco incluyen:”

- a) “Manejabilidad: La manejabilidad o trabajabilidad es una medida de la facilidad con la que el concreto puede ser manipulado y colocado en su forma final. La trabajabilidad está influenciada por la proporción de los componentes del concreto, como la cantidad de agua, el tamaño y la forma de los agregados, y la presencia de aditivos. Un concreto con buena trabajabilidad es fácil de mezclar, transportar, colocar y compactar sin experimentar una excesiva segregación o sangrado.” (Gúzman, 2001)

- b) “Consistencia: La consistencia es una medida del flujo del concreto y se relaciona estrechamente con la trabajabilidad. La consistencia puede medirse utilizando diferentes ensayos, como el cono de Abrams, el ensayo de asentamiento y el ensayo de flujo. Un concreto con una consistencia adecuada es fácil de trabajar y se adapta bien a las formas y refuerzos sin experimentar una excesiva segregación o sangrado.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- c) “Tiempo de fraguado (Proceso de Fraguado): El tiempo de fraguado es el tiempo que tarda el concreto en pasar del estado fresco al estado endurecido. El tiempo de fraguado inicial es el momento en el que el concreto comienza a endurecerse y perder su plasticidad, mientras que el tiempo de fraguado final es el momento en el que el concreto alcanza una resistencia suficiente para soportar cargas. El tiempo de fraguado está influenciado por la composición del concreto, la temperatura y la presencia de aditivos. Un tiempo de fraguado adecuado permite suficiente tiempo para mezclar, transportar, colocar y compactar el concreto antes de que comience a endurecer.” (Pasquel Carbajal, 1998)
- d) “Segregación: La segregación es la separación de los componentes del concreto, como los agregados y el agua, lo que resulta en una mezcla no uniforme. La segregación puede ocurrir durante el transporte, la colocación o la compactación del concreto y puede afectar negativamente la resistencia y la durabilidad del concreto endurecido. Para evitar la segregación, es importante utilizar una mezcla de concreto con una proporción adecuada de agua y agregados, así como un proceso de mezclado y colocación cuidadoso.” (Porrero S., Ramos R., Grases G., & J. Velazco, 2014)
- e) “Exudación o sangrado: La exudación o sangrado es la migración del agua hacia la superficie del concreto durante la compactación y el fraguado. El sangrado puede causar la formación de canales de agua en el concreto, lo que puede reducir su resistencia y durabilidad. Para minimizar el sangrado, es importante utilizar una mezcla de concreto con una proporción adecuada de agua y agregados, así como un proceso de compactación adecuado.” (Porrero S., Ramos R., Grases G., & J. Velazco, 2014)

2.2.1.3. Propiedades en Estado Endurecido

“Las propiedades del concreto en estado endurecido son cruciales para determinar el rendimiento y la durabilidad de las estructuras de concreto. Algunas de las propiedades clave del concreto en estado endurecido incluyen”: (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

- a) “Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión es una medida de la capacidad del concreto para resistir cargas de compresión. Es una propiedad fundamental del concreto

endurecido y se utiliza ampliamente en el diseño de estructuras de concreto. La resistencia a la compresión del concreto depende de varios factores, como la relación agua/cemento, el tipo y cantidad de cemento, los agregados y los aditivos utilizados en la mezcla.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

- b) “Resistencia a la tracción: La resistencia a la tracción es la capacidad del concreto para resistir cargas de tracción o estiramiento. Aunque la resistencia a la tracción del concreto es menor que su resistencia a la compresión es importante en el diseño de elementos estructurales sometidos a cargas de flexión o torsión, como vigas y losas.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- c) “Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez del concreto, que indica la relación entre la tensión y la deformación en el material. Un alto módulo de elasticidad implica una mayor rigidez y una menor deformación bajo carga. El módulo de elasticidad del concreto depende principalmente de la composición y la densidad de la mezcla de concreto.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- d) “Deformación por fluencia: La deformación por fluencia es el aumento gradual de la deformación del concreto bajo cargas sostenidas a lo largo del tiempo. La fluencia puede causar problemas en las estructuras de concreto, como la deformación excesiva, la fisuración y el colapso. Para minimizar los efectos de la fluencia, los ingenieros deben tener en cuenta este fenómeno al diseñar estructuras de concreto y seleccionar materiales.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- e) “Permeabilidad: La permeabilidad es la capacidad del concreto para permitir el paso de agua y otros líquidos a través de su estructura. La permeabilidad del concreto está relacionada con su porosidad y la continuidad de los poros en el material. Un concreto de baja permeabilidad es esencial para proteger las estructuras de concreto de la infiltración de agua y la corrosión del refuerzo de acero. La permeabilidad del concreto se puede reducir mediante el uso de una baja relación agua/cemento, aditivos impermeabilizantes y técnicas de curado adecuadas.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- f) “Retracción: La retracción es la reducción del volumen del concreto después de su fraguado y endurecimiento. La retracción puede ser causada por la pérdida de humedad debido a la evaporación, la reacción química entre el cemento y el agua, y la contracción térmica durante el enfriamiento. La retracción puede provocar fisuras y deformaciones en las estructuras de concreto, lo que puede afectar su estabilidad y durabilidad. Para minimizar la retracción, se pueden utilizar aditivos reductores de retracción, una relación agua/cemento adecuada y

técnicas de curado apropiadas.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

- g) “Durabilidad: La durabilidad es la capacidad del concreto para mantener sus propiedades y resistir la degradación en el tiempo bajo las condiciones de exposición específicas del entorno en el que se encuentra la estructura. La durabilidad del concreto está influenciada por factores como la calidad y la composición de la mezcla, el proceso de curado y la exposición a agentes químicos y ambientales, como la carbonatación, la penetración de cloruros, la acción del hielo y la exposición a sulfatos. Para garantizar una mayor durabilidad del concreto, es importante seleccionar los materiales y procesos adecuados y llevar a cabo un mantenimiento y monitoreo regulares de las estructuras de concreto.” (Gúzman, 2001)
- h) “Compacidad: La compacidad es la capacidad de acomodamiento que tienen los ingredientes del concreto, en este caso el agregado fino, el agregado grueso y el cemento, esta propiedad depende de la calidad y características de sus ingredientes, lo cual afecta directamente en la solidez del concreto. Se define como la cantidad de volumen sólido por unidad de volumen de concreto, es decir el volumen del concreto menos la cantidad de poros dentro de este.” (Gúzman, 2001)

2.2.1.4. Propiedades Físicas del Concreto

“Las propiedades físicas del concreto son fundamentales para comprender su comportamiento en términos de durabilidad, trabajabilidad y desempeño en aplicaciones estructurales. A continuación, se detallan algunas de las propiedades físicas más importantes del concreto:” (Mehta & Monteiro, 2014)

- a) “Densidad: La densidad del concreto es la masa por unidad de volumen y depende de la composición de la mezcla, incluidos los agregados, el cemento y el agua. La densidad del concreto puede variar ampliamente, desde alrededor de 1.800 kg/m³ para el concreto ligero hasta más de 2.400 kg/m³ para el concreto convencional. La densidad influye en la resistencia, la durabilidad y el aislamiento térmico y acústico del concreto.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- b) “Trabajabilidad: La trabajabilidad del concreto se refiere a la facilidad con la que puede ser mezclado, transportado, colocado y compactado sin segregación ni exudación. La trabajabilidad del concreto depende de la relación agua/cemento, la gradación y forma de los agregados, la cantidad y tipo de aditivos y la consistencia de la mezcla. La trabajabilidad es importante para garantizar una colocación adecuada del concreto y una buena calidad superficial de los elementos de concreto.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- c) “Contracción: La contracción del concreto es la reducción del volumen del material durante el proceso de endurecimiento y secado. La contracción puede ser causada por la pérdida de agua

por evaporación (contracción por secado) o por la hidratación del cemento (contracción autógena). La contracción puede generar tensiones internas en el concreto que pueden resultar en agrietamiento y disminución de la durabilidad. El diseño adecuado de la mezcla, el curado y la utilización de juntas de contracción pueden ayudar a controlar la contracción del concreto.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

- d) “Absorción de agua: La absorción de agua es la capacidad del concreto para absorber y retener agua. Esta propiedad está relacionada con la porosidad y la permeabilidad del concreto y puede afectar su durabilidad, resistencia a la congelación y deshielo, y resistencia a la penetración de agentes agresivos como cloruros y sulfatos. Un diseño adecuado de la mezcla y un curado eficiente pueden ayudar a reducir la absorción de agua y mejorar la durabilidad del concreto.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

2.2.1.5. Propiedades Químicas del Concreto

“Las propiedades químicas del concreto son fundamentales para comprender su comportamiento en términos de resistencia, durabilidad y reacciones a largo plazo con el medio ambiente. A continuación, se detallan algunas de las propiedades químicas más importantes del concreto:” (Neville, 1999)

- a) “Hidratación del cemento: La hidratación del cemento es una serie de reacciones químicas que ocurren cuando el cemento Portland entra en contacto con el agua. Durante la hidratación, se forman productos de hidratación, como el silicato de calcio hidratado (CSH) y el hidróxido de calcio (CH), que contribuyen a la resistencia y la durabilidad del concreto. La velocidad y la extensión de la hidratación pueden verse afectadas por factores como la temperatura, la relación agua/cemento y la presencia de aditivos.” (Neville, 1999)
- b) “Resistencia a los sulfatos: La resistencia a los sulfatos es la capacidad del concreto para resistir el ataque químico de los iones sulfato presentes en suelos, agua subterránea o ambientes industriales. La penetración de los sulfatos en el concreto puede causar la expansión y el agrietamiento del material debido a la formación de productos expansivos como el etringita y el yeso. Para mejorar la resistencia a los sulfatos, se pueden utilizar cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C3A) y aditivos como el humo de sílice y la escoria granulada de alto horno.” (Neville, 1999)
- c) “Resistencia a la carbonatación: La carbonatación es un proceso químico en el que el dióxido de carbono (CO₂) presente en la atmósfera reacciona con el hidróxido de calcio (CH) en el concreto para formar carbonato de calcio (CaCO₃). La carbonatación puede reducir el pH del concreto, lo que puede provocar la corrosión del acero de refuerzo. Para mejorar la resistencia

a la carbonatación, se pueden emplear concretos con baja permeabilidad y una cobertura adecuada del acero de refuerzo.” (Neville, 1999)

- d) “Resistencia a la reacción álcali-agregado: La reacción álcali-agregado (RAA) es una reacción química entre los álcalis solubles presentes en el cemento y ciertos tipos de agregados reactivos, como la sílice amorfa o ciertas formas de sílice cristalina. La RAA puede provocar la expansión y el agrietamiento del concreto, lo que resulta en una disminución de la resistencia y la durabilidad. Para prevenir la RAA, se pueden utilizar agregados no reactivos, cementos con bajo contenido de álcalis y aditivos como el humo de sílice y la escoria granulada de alto horno.” (Neville, 1999)
- e) “Resistencia a la corrosión: La resistencia a la corrosión es la capacidad del concreto para proteger el acero de refuerzo de la corrosión electroquímica causada por la penetración de cloruros o la carbonatación. Un diseño adecuado de la mezcla de concreto, una baja relación agua/cemento, una cobertura adecuada del acero de refuerzo y la utilización de aditivos inhibidores de la corrosión pueden ayudar a mejorar la resistencia a la corrosión del concreto. Además, también se pueden emplear aceros de refuerzo resistentes a la corrosión, como aceros inoxidables o recubiertos de epóxico.” (Neville, 1999)
- f) “Resistencia a la congelación y deshielo: La resistencia a la congelación y deshielo es la capacidad del concreto para resistir ciclos repetidos de congelación y deshielo sin experimentar daños significativos, como agrietamiento o escamas. La congelación del agua dentro de los poros del concreto puede generar presiones internas que pueden causar daños. Para mejorar la resistencia a la congelación y deshielo, se pueden emplear concretos con baja relación agua/cemento, baja permeabilidad y una distribución adecuada de los poros. También se pueden utilizar aditivos como aireantes para introducir pequeñas burbujas de aire en la mezcla, lo que proporciona espacio para la expansión del agua al congelarse.” (Neville, 1999)

2.2.2. Componentes del Concreto

2.2.2.1. El Cemento

2.2.2.1.1. Definición

“El cemento es un material aglomerante que actúa como el principal componente en la mezcla de concreto. Su función es unir los agregados y formar una matriz sólida y resistente una vez que se mezcla con agua y endurece. El cemento más comúnmente utilizado en la industria de la construcción es el cemento Portland, que se fabrica a partir de la molienda de Clinker (producto obtenido al calcinar una mezcla de piedra caliza, arcilla y otros minerales) y otros aditivos, como yeso, puzolanas y escorias.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

2.2.2.1.2. Cemento Portland y sus Tipos

“El Cemento Portland es un tipo de cemento hidráulico, lo que significa que cuando se mezcla con agua, endurece y adquiere resistencia debido a las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de hidratación. Es el cemento más comúnmente utilizado en la construcción debido a sus propiedades de resistencia, durabilidad y versatilidad.” (Pasquel Carbajal, 1998)

Hay varios tipos de Cemento Portland, clasificados según su composición química, propiedades y aplicaciones:

- 1) “Cemento Portland tipo I: Es el cemento Portland común o general y se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones de construcción. Este tipo de cemento es adecuado para la mayoría de las estructuras de concreto y mortero donde no se requieren propiedades especiales.” (Gúzman, 2001)
- 2) “Cemento Portland tipo II: Este cemento tiene una resistencia moderada a los sulfatos y un calor de hidratación moderado. Se utiliza en aplicaciones donde se requiere una resistencia adicional a la degradación por sulfatos y en estructuras de concreto masivas donde se desea un menor desarrollo de calor.” (Gúzman, 2001)
- 3) “Cemento Portland tipo III: También conocido como cemento de alta resistencia temprana, este tipo de cemento tiene una mayor finura y cantidad de C3S (silicato tricálcico), lo que acelera el proceso de hidratación y proporciona resistencia temprana más alta. Se utiliza en aplicaciones donde se requiere un rápido desarrollo de resistencia, como en reparaciones de emergencia, prefabricados y construcción en climas fríos.” (Gúzman, 2001)
- 4) “Cemento Portland tipo IV: Este cemento tiene un bajo calor de hidratación y se utiliza en aplicaciones donde se desea minimizar el desarrollo de calor, como en estructuras de concreto masivas y en climas cálidos. Sin embargo, este tipo de cemento es menos común en la actualidad debido a la disponibilidad de cementos compuestos que ofrecen propiedades similares.” (Gúzman, 2001)
- 5) “Cemento Portland tipo V: Este cemento tiene una alta resistencia a los sulfatos y se utiliza en aplicaciones donde se requiere una mayor protección contra la degradación por sulfatos, como en estructuras expuestas a suelos o agua con alto contenido de sulfatos, como alcantarillados y estructuras subterráneas.” (Gúzman, 2001)
- 6) “Cemento Portland tipo IP: Este cemento es conocido por tener dentro de su composición alrededor del 40% de puzolana de origen volcánico, lo que produce un bajo calor de hidratación y una alta durabilidad respecto al cemento Portland Tipo I” (Gúzman, 2001)

2.2.2.1.3. *Cemento Multipropósito YURA IP y su Caracterización Técnica*

“Este innovador cemento es altamente recomendado para cualquier tipo de construcción debido a su fórmula única, la cual le proporciona propiedades excepcionales al concreto, permitiéndole desarrollar una resistencia y durabilidad elevadas. Estas características únicas del cemento ayudan a prolongar la vida útil de las estructuras construidas con este material.” (Cemento YURA, s.f.)

Ilustración 1

Características Técnicas del Cemento Yura

REQUISITOS		CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595	
REQUISITOS QUÍMICOS					
MgO (%)				6.00 Máx.	
SO ₃ (%)	1.5 a 3.0			4.00 Máx.	
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 4.0			5.00 Máx.	
REQUISITOS FÍSICOS					
Peso específico (gr/cm ³)	2.75 a 2.85			-	
Expansión en autoclave (%)	0.07 a 0.03			-0.20 a 0.80	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270			45 a 420	
Contenido de aire	2.5 a 8.0			12 Máx	
Resistencia a la compresión		Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6		133 Min	13
7 días	225 a 255	22 a 25		204 Min	20
28 días	306 a 340	30 a 33.3		255 Min	25
Resistencia a los sulfatos		%		%	
% Expansión a los 6 meses	< 0.04			0.05 Máx	
% Expansión a 1 año	< 0.05			0.10 Máx	

REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

Nota. Fuente: Cemento YURA, s.f.

2.2.2.1.4. *Composición química del Cemento según normativa*

La composición química del cemento varía según la normativa de cada país y el tipo de cemento. Sin embargo, la norma ASTM C150, que es ampliamente utilizada y referenciada en todo el mundo, establece la composición química del cemento Portland común en términos de sus óxidos principales:

- Óxido de calcio (CaO): 60-67%
- Sílice (SiO₂): 17-25%
- Alúmina (Al₂O₃): 3-8%
- Óxido de hierro (Fe₂O₃): 0.5-6%
- Óxido de magnesio (MgO): 0.1-5%
- Óxido de sodio y potasio (Na₂O y K₂O): 0.1-1.5%
- Óxido de azufre (SO₃): 1-3%

- Pérdida al calcinado (LOI): 1-3%

Además, el cemento también puede contener pequeñas cantidades de otros compuestos, como óxido de titanio (TiO₂), óxido de fósforo (P₂O₅) y óxido de manganeso (MnO).

Cabe destacar que estas cifras son aproximadas y pueden variar ligeramente según el tipo de cemento y la normativa específica aplicable en cada país.

2.2.2.1.5. Propiedades Generales del Cemento

“El cemento es un material ampliamente utilizado en la construcción debido a sus propiedades únicas que lo hacen adecuado para una variedad de aplicaciones. Algunas de las propiedades generales son:” (Mehta & Monteiro, 2014)

- “Hidraulicidad: La capacidad del cemento para endurecerse y ganar resistencia al mezclarse con agua es una propiedad fundamental que lo hace adecuado para la construcción. Esta hidraulicidad permite al cemento formar una masa sólida y resistente al agua cuando se mezcla con agregados, como arena y grava, para crear concreto o mortero.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- “Adhesividad: El cemento tiene la capacidad de unir y adherirse a diferentes materiales de construcción, como ladrillos, bloques y barras de refuerzo. Esta adhesividad permite al cemento actuar como un aglutinante en concreto y mortero, proporcionando cohesión y resistencia a las estructuras construidas.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- “Resistencia a la compresión: El cemento tiene una alta resistencia a la compresión, lo que le permite soportar cargas significativas sin romperse o deformarse. Esta propiedad es crucial en la construcción de estructuras resistentes y duraderas.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- “Resistencia al fuego: El cemento es inherentemente resistente al fuego y no se quema ni libera humo tóxico cuando se expone a altas temperaturas. Esta propiedad lo convierte en un material de construcción seguro y confiable en caso de incendio.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- “Versatilidad: El cemento se puede combinar con diferentes tipos de agregados y aditivos para crear una amplia variedad de concretos y morteros con propiedades específicas, como resistencia a la compresión, permeabilidad, trabajabilidad y durabilidad. Esta versatilidad permite adaptar el cemento a diferentes aplicaciones de construcción y requisitos de desempeño.” (Mehta & Monteiro, 2014)
- “Durabilidad: Cuando se utiliza correctamente, el cemento puede proporcionar estructuras de concreto y mortero con una vida útil prolongada y una excelente resistencia a factores ambientales, como la humedad, los cambios de temperatura y la corrosión.” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.2.1.6. Normativa para el Cemento

Existen varias normativas internacionales y locales que rigen la clasificación, fabricación y uso de los diferentes tipos de cemento. En cuanto a la normativa peruana, se encuentran las siguientes normas técnicas relacionadas con los tipos de cemento:

Norma Técnica Peruana (NTP) 334.009: Esta norma establece los requisitos para el cemento Portland, incluyendo la clasificación, composición química, propiedades físicas y desempeño. La NTP 334.009 está basada en la norma ASTM C150 y clasifica los cementos Portland en tipos I, II, III, IV y V, según sus propiedades y aplicaciones.

Norma Técnica Peruana (NTP) 334.010: Esta norma especifica los requisitos para el cemento Portland puzolánico (cemento Portland con adición de puzolanas), incluyendo la clasificación, composición química, propiedades físicas y desempeño.

2.2.2.2. Agua

“El agua es un componente esencial en la mezcla de concreto, ya que participa en la reacción de hidratación del cemento, lo que a su vez contribuye al desarrollo de la resistencia y durabilidad del concreto. La calidad del agua utilizada en el concreto puede afectar significativamente las propiedades y el comportamiento del concreto endurecido. A continuación, se detallan los aspectos clave relacionados con el agua para el concreto:” (Porrero S., Ramos R., Grases G., & J. Velazco, 2014)

- a) “Pureza: El agua en la mezcla de concreto debe ser limpia y libre de impurezas que puedan afectar sus propiedades. Se recomienda el uso de agua potable y realizar pruebas de calidad si es necesario.” (Gúzman, 2001)
- b) “Temperatura: La temperatura del agua afecta la velocidad de hidratación del cemento y, por ende, el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto. El agua fría retrasa la hidratación y el fraguado, mientras que el agua caliente acelera ambos procesos, requiriendo ajustes en la mezcla o aditivos en condiciones climáticas extremas.” (Gúzman, 2001)
- c) “Relación agua-cemento (A/C): La relación agua-cemento (A/C) influye en la trabajabilidad y resistencia del concreto: una A/C baja aumenta la resistencia, pero disminuye la trabajabilidad, mientras que una A/C alta mejora la trabajabilidad, pero puede reducir la resistencia.” (Gúzman, 2001)
- d) “Agua de amasado y agua de curado: El agua de curado, esencial para mantener la humedad y permitir la hidratación del cemento, debe ser de calidad similar al agua de amasado, aplicada uniformemente para evitar deshidratación y grietas en el concreto.” (Gúzman, 2001)

2.2.2.2.1. Normativa-Requisitos de Calidad

“La calidad del agua utilizada en la producción del concreto es crucial para garantizar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad adecuadas de la mezcla” (Pasquel Carbajal, 1998). La normativa que rige la calidad del agua para el concreto varía según el país o región, pero a nivel nacional, la norma que rige es la “NTP 339.088: Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos”

2.2.2.3. Agregados

2.2.2.3.1. Agregado Grueso

“El agregado grueso es otro componente fundamental del concreto que ocupa aproximadamente el 40-60% del volumen total de la mezcla. Estos agregados tienen un tamaño de partícula mayor que el del agregado fino, generalmente entre 4.75 mm (malla N.º 4) y 50 mm, según las especificaciones de las normas internacionales y nacionales.” (Gúzman, 2001)

2.2.2.3.2. Agregado Fino

“El agregado fino, también conocido como arena, es un componente esencial del concreto que ocupa aproximadamente el 25-40% del volumen total de la mezcla. Estos agregados tienen un tamaño de partícula menor al del agregado grueso, generalmente entre 0.075 mm (malla N° 200) y 4.75 mm (malla N.º 4), según las especificaciones de las normas internacionales y nacionales.” (Gúzman, 2001)

2.2.2.3.3. Canteras utilizadas

Cantera de Vicho:

La cantera está ubicada al sureste de la ciudad del Cusco, a aproximada 41.5 km de distancia, en el distrito de San Salvador, provincia de Calca y región del Cusco; a una altura aproximada de 3 000 msnm.

Cantera de Cunyac:

Está localizada al Oeste de la ciudad del Cusco y a una distancia aproximada de 106 km de este, en el distrito de Curahuasi, provincia de Abancay y región de Apurímac; a una altura promedio aproximada de 2680 msnm.

2.2.3. Concreto Prefabricado

2.2.3.1. Definición

El concreto prefabricado se refiere a los elementos de concreto que se fabrican en un ambiente controlado, fuera de la ubicación final de la construcción, y luego se transportan al sitio de construcción para su montaje e instalación. Este proceso contrasta con el concreto in situ o tradicional, donde el concreto se mezcla y se vierte directamente en el lugar de construcción. El concreto

prefabricado ofrece una serie de ventajas en términos de calidad, eficiencia y sostenibilidad en comparación con el concreto in situ. (Von Halasz & Tantow, 1982)

2.2.3.2. Ventajas y Desventajas

2.2.3.2.1. Ventajas

“Las ventajas de utilizar concreto prefabricado en proyectos de construcción son numerosas y se centran en aspectos como la calidad, la eficiencia, la sostenibilidad y la flexibilidad en el diseño. A continuación, se detallan algunas de las ventajas clave del concreto prefabricado:

- a) **Control de calidad mejorado:** La fabricación de elementos de concreto prefabricado en un ambiente controlado permite un mayor control sobre el proceso de producción y el cumplimiento de estándares de calidad rigurosos. Esto se traduce en productos de concreto con propiedades más consistentes, tolerancias más estrechas y un mejor rendimiento en la estructura final.
- b) **Eficiencia en la construcción:** La producción de concreto prefabricado puede realizarse de forma concurrente con la preparación del sitio de construcción, lo que permite reducir el tiempo total de construcción. Además, la estandarización y fabricación en serie de componentes de concreto prefabricado pueden generar ahorros en mano de obra y materiales.
- c) **Sostenibilidad:** El uso de concreto prefabricado puede disminuir la cantidad de residuos en el sitio de construcción, ya que se minimiza el exceso de material y los errores de construcción. Además, la fabricación en un entorno controlado permite una utilización más eficiente de la energía y una optimización del consumo de recursos, lo que contribuye a una construcción más sostenible y ecológica.
- d) **Flexibilidad en diseño:** Los elementos de concreto prefabricado se pueden fabricar en una amplia gama de formas y tamaños, lo que brinda una gran flexibilidad en el diseño arquitectónico y estructural. La posibilidad de incorporar acabados y texturas en los elementos prefabricados también reduce la necesidad de revestimientos y acabados adicionales en el sitio de construcción.
- e) **Resistencia al fuego y durabilidad:** El concreto prefabricado, al ser un material no combustible, ofrece una excelente resistencia al fuego, lo que aumenta la seguridad y protección de las estructuras. Además, el control de calidad en la fabricación y el uso de aditivos y tratamientos específicos pueden mejorar la durabilidad del concreto prefabricado, reduciendo los costos de mantenimiento y extendiendo la vida útil de la estructura.

- f) Reducción de imprevistos en obra: Al fabricar los elementos de concreto prefabricado en un ambiente controlado, se disminuyen las posibles interrupciones en la construcción causadas por factores climáticos adversos, lo que reduce los retrasos y los costos asociados.
- g) Precisión en la ejecución: La fabricación de elementos de concreto prefabricado permite una mayor precisión en la ejecución y montaje de las estructuras, lo que se traduce en una construcción más rápida y eficiente, así como en una mejor calidad en la obra terminada.”
(Von Halasz & Tantow, 1982)

2.2.3.2.2. Desventajas

“A pesar de las ventajas del concreto prefabricado, también existen algunas desventajas y limitaciones asociadas con su uso. A continuación, se detallan algunas de las desventajas clave del concreto prefabricado:

- a) Costos iniciales: La inversión inicial en la infraestructura necesaria para la producción de elementos de concreto prefabricado, como las instalaciones de fabricación, los moldes y el equipo, puede ser alta. Sin embargo, estos costos pueden compensarse con el tiempo gracias a la eficiencia y los ahorros en mano de obra y materiales que ofrece el concreto prefabricado.
- b) Transporte y manejo: El transporte de elementos de concreto prefabricado desde la planta de producción hasta el sitio de construcción puede ser costoso y complicado, especialmente en casos de elementos de gran tamaño o peso. Además, el manejo e instalación de estos elementos requiere de maquinaria especializada y personal capacitado, lo que puede aumentar los costos del proyecto.
- c) Limitaciones en el diseño: Aunque el concreto prefabricado ofrece una gran flexibilidad en el diseño, la necesidad de fabricar elementos en un ambiente controlado puede imponer ciertas restricciones en cuanto a la complejidad y la singularidad de las formas y tamaños de los componentes. Esto puede limitar la creatividad en el diseño arquitectónico en comparación con el concreto in situ.
- d) Juntas y conexiones: La presencia de juntas y conexiones entre los elementos de concreto prefabricado puede ser una preocupación en términos de la estética, la durabilidad y la resistencia al agua. Sin embargo, el uso de técnicas y materiales adecuados para la ejecución de juntas y conexiones puede ayudar a minimizar estos problemas.
- e) Capacidad de adaptación en obra: A diferencia del concreto in situ, los elementos de concreto prefabricado no se pueden modificar fácilmente en el sitio de construcción si se requieren ajustes debido a errores en el diseño o cambios en las condiciones del proyecto. Esto puede generar demoras y costos adicionales si es necesario reemplazar o modificar los elementos prefabricados.

- f) Disponibilidad local: En áreas donde no hay instalaciones de producción de concreto prefabricado o no están disponibles proveedores locales, el transporte de los elementos prefabricados desde ubicaciones lejanas puede aumentar significativamente los costos del proyecto y afectar la viabilidad económica de la construcción con concreto prefabricado.” (Von Halasz & Tantow, 1982)

2.2.3.3. Aplicaciones

“El concreto prefabricado se utiliza ampliamente en la industria de la construcción debido a sus numerosas ventajas en términos de calidad, eficiencia, durabilidad y sostenibilidad. Las aplicaciones del concreto prefabricado son diversas y abarcan una amplia gama de estructuras y elementos de construcción. A continuación, se detallan algunas de las aplicaciones más comunes:

- a) Estructuras de edificios: El concreto prefabricado se emplea en la construcción de edificios residenciales, comerciales e industriales. Los elementos estructurales como columnas, vigas, losas, muros y paneles de cerramiento pueden fabricarse con concreto prefabricado, lo que permite acelerar el proceso de construcción y mejorar la calidad de las estructuras.
- b) Puentes: Los elementos prefabricados de concreto, como vigas, losas, pilas y estribos, se utilizan ampliamente en la construcción de puentes de carreteras y ferrocarriles. Estos elementos permiten reducir los tiempos de construcción y minimizar las molestias al tráfico durante las obras.
- c) Infraestructura vial: El concreto prefabricado se emplea en la construcción de elementos de infraestructura vial como barreras de contención, muros de contención, bordillos, canaletas y cunetas, así como en pavimentos de carreteras y calles urbanas.
- d) Infraestructura ferroviaria: El concreto prefabricado se utiliza en la construcción de elementos de infraestructura ferroviaria como durmientes, puentes, túneles y plataformas de estaciones.
- e) Infraestructura hidráulica: Los elementos prefabricados de concreto se emplean en la construcción de infraestructura hidráulica, como canales, diques, presas, alcantarillas y sistemas de drenaje pluvial y sanitario.
- f) Estructuras marítimas y portuarias: El concreto prefabricado se utiliza en la construcción de muelles, rompeolas, plataformas y otros elementos marítimos y portuarios.
- g) Estructuras de almacenamiento: El concreto prefabricado se emplea en la construcción de silos, depósitos, almacenes y otras estructuras de almacenamiento de productos agrícolas, químicos o industriales.

- h) Estructuras deportivas y recreativas: Estadios, graderías, piscinas, pistas de atletismo y otros elementos de instalaciones deportivas y recreativas pueden construirse con concreto prefabricado.
- i) Elementos arquitectónicos y decorativos: El concreto prefabricado también se utiliza en la producción de elementos arquitectónicos y decorativos, como fachadas, molduras, cornisas, celosías y mobiliario urbano.
- j) Estructuras de energía y telecomunicaciones: Las torres de transmisión de energía eléctrica, postes de alumbrado público y antenas de telecomunicaciones también pueden fabricarse con concreto prefabricado.” (Von Halasz & Tantow, 1982)

2.2.3.4. Proceso de fabricación

“El proceso de fabricación del concreto prefabricado se lleva a cabo en instalaciones especializadas llamadas plantas de prefabricación, donde los componentes de concreto se producen en serie antes de ser transportados al sitio de construcción para su ensamblaje. A continuación, se detallan las etapas clave en el proceso de fabricación del concreto prefabricado:

- a) Diseño y planificación: Antes de comenzar la fabricación, es necesario diseñar y planificar los elementos de concreto prefabricado. Esto implica la selección de materiales, proporciones de la mezcla de concreto, dimensiones de los elementos, refuerzos y detalles de conexión, entre otros. Es fundamental que estos diseños cumplan con las normas y especificaciones técnicas aplicables para garantizar la calidad y seguridad del producto final.
- b) Preparación de moldes y encofrados: Los moldes y encofrados son estructuras que dan forma al concreto durante el proceso de endurecimiento. Estos pueden ser de madera, acero, plástico o materiales compuestos, y generalmente son reutilizables. Los moldes deben ser cuidadosamente diseñados y contruidos para garantizar que los elementos de concreto prefabricado tengan las dimensiones y formas especificadas.
- c) Preparación de las armaduras: Las armaduras de acero, que proporcionan resistencia a la tracción y flexión al concreto, deben ser cortadas, dobladas y ensambladas de acuerdo con los detalles de diseño. Una vez preparadas, las armaduras se colocan en el encofrado en la posición adecuada y se sujetan con separadores y ataduras para mantenerlas en su lugar durante la colocación del concreto.
- d) Mezclado del concreto: El concreto se mezcla en la planta de prefabricación utilizando los ingredientes seleccionados (cemento, agregados, agua y aditivos) en las proporciones especificadas. La mezcla de concreto debe ser homogénea y tener la trabajabilidad adecuada para garantizar una buena compactación y un acabado sin defectos.

- e) Colocación y compactación del concreto: El concreto se vierte en los moldes y encofrados, asegurando que las armaduras estén completamente cubiertas y que no queden huecos o bolsas de aire. La compactación del concreto se realiza utilizando vibradores internos o externos para eliminar las burbujas de aire y garantizar una densidad uniforme en todo el elemento.
- f) Curado: Una vez que el concreto ha alcanzado un nivel adecuado de fraguado inicial, se debe curar para permitir la hidratación del cemento y el desarrollo de resistencia. En el caso de los elementos de concreto prefabricado, el curado puede realizarse mediante diferentes métodos, como el curado con vapor de agua, el curado húmedo o el curado mediante membranas impermeables. El tiempo de curado dependerá del tipo de concreto y las condiciones ambientales.

Desencofrado y almacenamiento: Después de que el concreto haya endurecido y desarrollado suficiente resistencia, los moldes y encofrados se retiran cuidadosamente para evitar” (Von Halasz & Tantow, 1982)

2.2.4. Curado del Concreto

2.2.4.1. Definición

“El curado del concreto es un proceso crucial en la construcción que asegura el adecuado desarrollo de las propiedades del concreto, especialmente su resistencia y durabilidad. Este proceso consiste en mantener las condiciones apropiadas de humedad y temperatura en el concreto durante un periodo determinado después de su colocación, lo que permite una hidratación óptima del cemento y la formación de una estructura sólida y resistente.” (Porrero S., Ramos R., Grases G., & J. Velazco, 2014)

2.2.4.2. Objetivos del Curado

Los objetivos principales del curado del concreto son los siguientes:

- a) “Control de la pérdida de agua: El curado previene la evaporación prematura del agua de la mezcla, lo cual es crucial para asegurar una hidratación adecuada del cemento. Si se pierde demasiada agua por evaporación, el proceso de hidratación se ve afectado, lo que puede resultar en un concreto más débil y propenso a fisuras y fallas.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- b) “Mantenimiento de la temperatura: El proceso de hidratación del cemento es exotérmico, lo que significa que genera calor. El curado ayuda a mantener una temperatura uniforme en el concreto, evitando cambios bruscos de temperatura que puedan causar tensiones internas y, en consecuencia, fisuras y debilitamiento del material.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

- c) “Desarrollo de resistencia: Un buen proceso de curado permite que el concreto alcance su resistencia máxima. La hidratación adecuada del cemento conduce a la formación de una matriz resistente y duradera, lo que resulta en un concreto capaz de soportar las cargas y esfuerzos a los que estará sometido durante su vida útil.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- d) “Durabilidad: El curado adecuado también contribuye a la durabilidad del concreto, ya que un concreto bien curado es más resistente a la penetración de agua, sales, productos químicos y otros agentes que puedan causar la corrosión del acero de refuerzo y la degradación del material.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)
- e) “Reducción de la permeabilidad: El curado eficiente minimiza la formación de poros y micro fisuras en el concreto, lo que reduce su permeabilidad. Un concreto menos permeable es más resistente a la penetración de agua y agentes agresivos, lo que mejora su durabilidad.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009)

2.2.4.3. Métodos de Curado

“Existen varios tipos de curado del concreto que se pueden utilizar para mantener la humedad adecuada en el concreto y garantizar su correcta hidratación y desarrollo de propiedades” (Pasquel Carbajal, 1998). A continuación, se detallan algunos de los tipos de curado más comunes:

2.2.4.3.1. Curado con Agua Tradicional

“El curado con agua es un método de curado del concreto que consiste en mantener la superficie del concreto húmeda durante un periodo determinado después de su colocación, asegurando así una hidratación adecuada del cemento y el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto. Este método es uno de los más efectivos y ampliamente utilizados en la industria de la construcción.” (NTP 334.077)

El curado con agua se puede realizar de diversas maneras, como por inmersión, rociado o colocación de materiales húmedos, como paños o geotextiles, sobre la superficie del concreto. La elección del método específico de curado con agua depende de factores como las condiciones ambientales, el tamaño y la forma de la estructura de concreto, y las especificaciones del proyecto.

2.2.4.3.2. Curado con Vapor de Agua

“Utilizado principalmente en la fabricación de elementos prefabricados de concreto, el curado por vapor implica someter el concreto a vapor de agua a alta temperatura y humedad constante. Este método acelera la hidratación del cemento y el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto, permitiendo un desmoldeo y puesta en servicio más rápido.” (Jiménez Montoya, García Meseguer, Morán Cabré, & Arroyo Portero, 2009) (Pasaimper, s.f.)

❖ Normativa Nacional:

- No se cuenta con normativa peruana específica correspondiente a curado con vapor de agua.

❖ Normativa Internacional:

- Reglamento CIRSOC 201- Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, nos da los lineamientos para realizar un curado con vapor de agua para elementos de concreto, asimismo para la construcción y utilización de la cámara de curado con vapor de agua.
- ACI 517.2R – Curado Acelerado del Concreto a Presión Atmosférica, esta normativa brinda lineamientos acerca de cómo realizar el curado con vapor de agua a presión atmosférica con cámaras de curado.

2.2.4.3.3. Curado Acelerados Según la N.T.P 339.213

En esta norma se aborda tipos de curados acelerados.

- a) **“Curado con agua caliente:** Consiste en curar probetas de concreto con agua a una temperatura de 35 °C por una duración de 23.5 h ± 30 min” (NTP 339.213)
- b) **“Curado con agua hirviendo:** Consiste en curar probetas de concreto con agua hirviendo, la temperatura de ebullición dependerá de la ubicación donde se realizará el respectivo curado, el tiempo de curado especificado es de 3.5 h ± 5 min” (NTP 339.213)
- c) **“Curado con método autógeno:** El proceso consiste en cubrir las briquetas después de ser desmoldadas con una bolsa de plástico resistente a pinchazos, posteriormente colocarlo en un contenedor hermético y curar con la ayuda de los termómetros de máximas y mínimas a una temperatura resultante de la temperatura inicial + Calor de hidratación (una temperatura máxima de 65 °C) por 48 h ± 15 min, este curado está limitado a especímenes de concreto con un agregado de tamaño máximo de 25 mm.” (NTP 339.213)
- d) **“Curado con alta presión y temperatura:** Consiste en curar probetas de concreto en un equipo de alta presión y temperatura mediante resistencias de 100 W, dicho curado será a una temperatura de 150 °C ± 3 °C y una presión de 10.3 MPa ± 0.2 MPa, este curado está limitado a especímenes de concreto con un agregado de tamaño máximo de 25 mm, adicionalmente este equipo puede ser utilizado para ensayos de compresión.” (NTP 339.213)

2.2.4.3.4. Curado con Membranas

“Este tipo de curado implica la aplicación de una membrana líquida, como un compuesto de curado, sobre la superficie del concreto. Estas membranas forman una barrera impermeable que retiene

la humedad en el concreto, evitando su evaporación, como un ejemplo se tiene Curador de Concreto Membranil.” (Pasaimper, s.f.)

2.2.4.3.5. Curado con Materiales Sellantes

“Consiste en cubrir la superficie del concreto con láminas de plástico, como polietileno, que actúan como una barrera para retener la humedad en el concreto. Las láminas de plástico deben colocarse lo más ajustadas posible al concreto y asegurarse adecuadamente para evitar la pérdida de humedad.” (Yura, s.f.)

2.2.4.4. Factores que Afectan el Proceso de Curado

Varios factores pueden afectar el proceso de curado del concreto, influyendo en la hidratación del cemento y, en última instancia, en el desarrollo de las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto. Algunos de estos factores incluyen:

- 1) “Relación agua/cemento: La cantidad de agua en relación con la cantidad de cemento en la mezcla de concreto afecta directamente la hidratación y el proceso de curado. Una relación agua/cemento más baja generalmente resulta en una mayor resistencia y durabilidad del concreto, mientras que una relación más alta puede llevar a una menor resistencia y durabilidad debido a la mayor porosidad.” (Pasquel Carbajal, 1998)
- 2) “Temperatura: La temperatura ambiental y del concreto durante el proceso de curado influye en la tasa de hidratación del cemento. Las temperaturas más altas aceleran la hidratación, pero también pueden aumentar la pérdida de humedad, lo que puede resultar en un curado incompleto y un concreto de menor calidad. Las temperaturas más bajas ralentizan la hidratación, lo que puede requerir un tiempo de curado más prolongado.” (Pasquel Carbajal, 1998)
- 3) “Humedad: La humedad del ambiente y del concreto es crucial para el proceso de curado. La falta de humedad puede resultar en una hidratación incompleta del cemento y, por lo tanto, en un concreto de menor resistencia y durabilidad. Es fundamental mantener la humedad adecuada en el concreto durante el proceso de curado para garantizar su correcto desarrollo.” (Pasquel Carbajal, 1998)
- 4) “Método de curado: Como se mencionó anteriormente, existen varios métodos de curado, y la elección del método adecuado puede afectar significativamente el resultado del proceso de curado. Algunos métodos, como el curado con agua, son más efectivos para mantener la humedad en el concreto, mientras que otros, como el curado al aire, pueden ser menos eficaces en ciertas condiciones.” (Pasquel Carbajal, 1998)

- 5) “Tipo y cantidad de cemento: El tipo de cemento utilizado en la mezcla de concreto también puede afectar el proceso de curado. Diferentes tipos de cemento tienen diferentes características de hidratación y, por lo tanto, pueden requerir diferentes condiciones de curado. Además, la cantidad de cemento en la mezcla también puede influir en la hidratación y el proceso de curado.” (Pasquel Carbajal, 1998)
- 6) “Aditivos y adiciones: Los aditivos químicos y las adiciones minerales, como plastificantes, aceleradores, retardadores y cenizas volantes, pueden influir en el proceso de curado al modificar la tasa de hidratación del cemento, la trabajabilidad del concreto y la cantidad de agua requerida en la mezcla.” (Pasquel Carbajal, 1998)
- 7) “Tiempo de colocación y compactación: El tiempo que transcurre entre la mezcla del concreto y su colocación y compactación también puede afectar el proceso de curado. Un retraso en la colocación y compactación puede dar lugar a una pérdida de humedad y, por lo tanto, a un curado incompleto y un concreto de menor calidad.” (Porrero S., Ramos R., Grases G., & J. Velazco, 2014)

2.2.5. *Hidratación del Concreto*

2.2.5.1. Definición

“La hidratación es el proceso químico en el que el cemento reacciona con el agua para formar nuevos compuestos que contribuyen al endurecimiento y desarrollo de la resistencia del concreto.

Es una reacción continua que comienza tan pronto como el agua se mezcla con el cemento y sigue ocurriendo durante semanas o incluso meses. Durante la hidratación, se forman productos como el silicato de calcio hidratado (C-S-H) y el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que dan al concreto sus propiedades mecánicas y duraderas.” (Neville, 1999)

2.2.5.2. Duración

“La hidratación continúa a lo largo de la vida del concreto, aunque la mayoría del desarrollo de resistencia ocurre durante las primeras semanas.” (Neville, 1999)

2.2.6. *Fraguado del Cemento*

2.2.6.1. Definición

“El fraguado del cemento se refiere al proceso por el cual el cemento en sí pasa de un estado líquido o plástico a un estado sólido. Esto es parte del proceso de hidratación del cemento, en el que el cemento reacciona con el agua para formar una masa sólida.

Esta fase incluye el fraguado inicial y final del cemento, que son determinantes para establecer el tiempo en que el cemento comenzará a endurecerse y cuándo alcanzará una rigidez suficiente.

Importancia: La comprensión del fraguado del cemento es crucial para los fabricantes de cemento y para controlar las propiedades del cemento en su estado puro.” (Neville, 1999)

2.2.7. *Fraguado del Concreto*

2.2.7.1. Definición

“El fraguado del concreto es el proceso en el que la mezcla de cemento, agua, agregados (como arena y grava) y aditivos pasa de una consistencia fluida a una sólida y rígida. Este proceso incluye la hidratación del cemento que forma el gel de silicato de calcio hidratado y otros productos.” (Neville, 1999)

2.2.7.2. Fases

“Se divide en dos fases:

- ❖ Fraguado inicial: Cuando el concreto comienza a perder su plasticidad y a adquirir rigidez.
- ❖ Fraguado final: Cuando el concreto ha alcanzado una rigidez suficiente para ser manipulado sin riesgo de deformaciones.” (Neville, 1999)

2.2.7.3. Diferencia entre el fraguado del cemento y fraguado del concreto

El fraguado del cemento es el fenómeno químico que ocurre dentro del concreto durante el proceso de hidratación, mientras que el fraguado del concreto es la manifestación visible y práctica de ese proceso en el material construido. Por tanto, aunque el proceso químico se refiere al cemento, el impacto y las observaciones se realizan en el concreto.

2.2.8. *Procesos Químicos Durante el Fraguado del Cemento*

“El fraguado del cemento se debe a una serie de reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratarse. Estas reacciones producen compuestos que forman la estructura sólida del concreto. Aquí están las principales reacciones químicas involucradas:

Estas reacciones producen compuestos que forman la estructura sólida del concreto. Aquí están las principales reacciones químicas involucradas:

Las 4 reacciones que ocurren durante el proceso de fraguado del concreto se dan en un orden específico y cada uno aporte en distinta manera a la resistencia del concreto.” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.8.1. Disolución de los compuestos del Clinker

“El Clinker que se encuentra dentro del Cemento Portland está compuesto principalmente por Silicato tricálcico (C_3S), silicato bicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y Ferritoaluminato tetracálcico (C_4AF), los cuales al entrar en contacto con el agua comienzan a disolverse en el agua,

liberando iones de calcio (Ca^{2+}), iones de silicato (SiO_4^{4-}) y otros componentes, lo cual se considera la reacción inicial.” (Mehta & Monteiro, 2014)

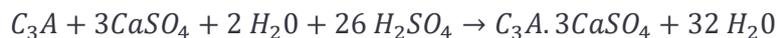
2.2.8.2. Reacción de Hidratación del Aluminato Tricálcico (C_3A) – Ocurre

Primero:

a) Tiempo:

Comienza casi inmediatamente al contacto con agua, Esta es la reacción más rápida.

b) Ecuación química:



c) Descripción:

“ C_3A ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) reacciona rápidamente con el agua, pero se controla mediante la adición de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para prevenir el fraguado instantáneo.

La reacción forma etringita ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), una estructura cristalina que contribuye al fraguado y endurecimiento del concreto.

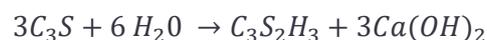
Si todo el yeso se consume, la etringita puede convertirse en monosulfato, lo que puede afectar la durabilidad si se forman fases expansivas.” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.8.3. Reacción de Hidratación del Silicato Tricálcico (C_3S) – Ocurre Segundo:

a) Tiempo:

Comienza en los primeros minutos y horas después de mezclar, alcanzando su pico de actividad dentro de las primeras 24 horas.

b) Ecuación química:



c) Descripción:

“El silicato tricálcico (C_3S) reacciona con el agua para formar silicato de calcio hidratado ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) y hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

C_3S ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) es el principal compuesto responsable de la resistencia inicial del concreto.

C-S-H es un gel amorfo que le da resistencia y durabilidad al concreto, mientras que $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es más soluble y puede ser menos deseable en términos de durabilidad a largo plazo.” (Mehta & Monteiro, 2014)

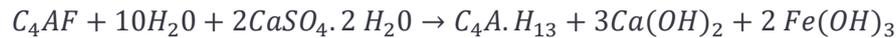
2.2.8.4. Reacción de Hidratación del Ferritoaluminato Tetracálcico (C₄AF) –

Ocurre Tercero:

a) Tiempo:

Similar al C₃A, pero con una cinética más lenta. Se produce en paralelo con C₃A, pero a un ritmo más moderado.

b) Ecuación química:



c) Descripción:

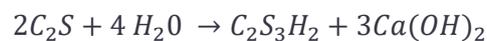
“C₄AF (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃) reacciona de manera similar a C₃A, pero menos rápido.

Produce etringita y ferritoaluminato hidratado, que son productos de hidratación secundarios y afectan menos la resistencia.” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.8.5. Reacción de Hidratación del Silicato Dicálcico (C₂S) – Ocurre Cuarto:

a) Tiempo: Comienza más lentamente que el C₃S, alcanzando su mayor actividad después de varios días o incluso semanas.

b) Ecuación química:



c) Descripción:

“El silicato dicálcico (C₂S) reacciona más lentamente con el agua, formando silicato de calcio hidratado (C₂S₃H₂) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂).

C₂S (2CaO·SiO₂) hidrata más lentamente que C₃S.

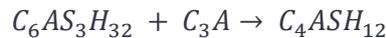
También produce C-S-H y Ca(OH)₂, pero la reacción es más lenta, contribuyendo a la resistencia del concreto a largo plazo.” (Mehta & Monteiro, 2014)

Entonces se tiene lo siguiente:

- ❖ Reacción inicial rápida: Involucra principalmente a C₃A y es controlada por la adición de yeso para prevenir fraguado instantáneo.
- ❖ Desarrollo de resistencia inicial: Dominado por la hidratación de C₃S, que forma C-S-H y Ca(OH)₂.
- ❖ Desarrollo de resistencia a largo plazo: Involucra la hidratación más lenta de C₂S, que sigue formando C-S-H.

2.2.8.6. Formación de Monosulfoaluminato

a) Ecuación química:

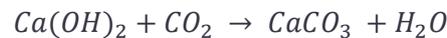


b) Descripción:

“Después de la formación del etringita, el aluminato tetracálcico adicional puede reaccionar para formar monosulfoaluminato (C_4ASH_{12}), una fase estable que aparece en el concreto a medida que el sulfato se consume.” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.8.7. Carbonatación

a) Ecuación química:



b) Descripción:

“Esta reacción secundaria que se produce cuando el hidróxido de calcio reacciona con el dióxido de carbono en el aire, dando lugar a la formación del carbonato de calcio ($CaCO_3$). Esta reacción en exceso reduce el pH y provoca la corrosión en el acero de refuerzo. Sin embargo, en menor medida puede contribuir con reducir la permeabilidad y mejorar la densidad del concreto” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.8.8. Reacción Puzolánica

a) Ecuación química:



b) Descripción:

“Esta reacción se produce cuando los materiales puzolánicos dentro del concreto como la ceniza volante o el humo de sílice reaccionan con el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) para formar más C-S-H, aumentando la densidad y resistencia del concreto a largo plazo”. (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.8.9. Influencia de la Temperatura en las Reacciones Químicas en el fraguado del concreto

a) Influencia en la hidratación del Silicato tricálcico (C3S)

“A mayor temperatura, las moléculas de agua y los iones disueltos tienen más energía cinética, lo que incrementa la velocidad de la reacción. Esto provoca un fraguado más rápido y un desarrollo temprano de resistencia en el concreto.

La reacción es exotérmica, por lo que el calor generado adicionalmente a la temperatura ambiente puede provocar un aumento local de la temperatura en la masa de concreto”. (Mehta & Monteiro, 2014)

b) Influencia en la hidratación del Aluminato tricálcico (C3S)

“La formación de etringita ocurre más rápidamente, lo que puede llevar a un fraguado inicial más rápido y una posible reducción del tiempo de trabajabilidad del concreto.” (Mehta & Monteiro, 2014)

2.2.9. Interacción de los Niveles de Energía Durante el Proceso de Fraguado

2.2.9.1. Hidratación del C₃A:

- a) “Aluminio (Al): Utiliza orbitales 3p para formar enlaces covalentes con oxígeno (O) en los grupos sulfato (SO₄²⁻) y en la etringita formada.
- b) Oxígeno (O): Los orbitales 2p del oxígeno se involucran en la formación de enlaces covalentes con Al y Ca.
- c) Calcio (Ca²⁺): El ion Ca²⁺ ha perdido sus dos electrones del orbital 4s, por lo que interactúa iónicamente con los oxígenos.” (Monteagudo, 2014)

2.2.9.2. Hidratación del C₃S:

- a) “Silicio (Si): Utiliza orbitales 3p para formar enlaces con los orbitales 2p de oxígeno en el C-S-H.
- b) Oxígeno (O): Orbitales 2p involucrados en la formación de redes con Si y Ca.
- c) Calcio (Ca²⁺): Similar al caso de C₃A, Ca²⁺ interactúa iónicamente con el oxígeno.” (Monteagudo, 2014)

2.2.9.3. Hidratación del C₄AF:

- a) “Hierro (Fe): En su forma Fe³⁺, tiene configuración [Ar] 3d⁵ y no participa directamente en la formación de enlaces covalentes, pero interactúa iónicamente en la estructura.
- b) Aluminio y Oxígeno: Mismas configuraciones que en C₃A.” (Monteagudo, 2014)

2.2.9.4. Hidratación del C₂S:

- a) “Silicio (Si) y Oxígeno (O): Orbitales similares a los del C₃S, donde Si y O forman la red del C-S-H.
- b) Calcio (Ca²⁺): Igual que en C₃S, interactúa iónicamente.” (Monteagudo, 2014)

2.2.9.5. Comportamiento de los Orbitales

- a) “Calcio (Ca): Pierde dos electrones de su orbital 4s para formar Ca^{2+} , interactuando iónicamente con oxígeno.
- b) Silicio (Si) y Aluminio (Al): Sus orbitales 3p forman enlaces covalentes con oxígeno, utilizando orbitales 2p del oxígeno.
- c) Oxígeno (O): Orbitales 2p se involucran en la formación de enlaces con Si, Al, y Ca.

Los electrones ocupan orbitales de menor energía para formar enlaces estables y estructuras que minimizan la energía total del sistema durante el fraguado del concreto, liberando calor produciéndose un proceso exotérmico.” (Monteagudo, 2014)

2.2.10. Proceso del Calor de Hidratación

“El proceso de fraguado del concreto es exotérmico, lo que significa que, durante la hidratación del cemento, se libera calor. Este calor de hidratación es una manifestación de las reacciones químicas que ocurren cuando los compuestos del Clinker (como Silicato tetracálcico (C_3S), Silicato bicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A), y Ferritoaluminato Tetracálcico (C_4AF)) reaccionan con el agua.” (Monteagudo, 2014)

2.2.10.1. Edad de las Pruebas de Resistencias a la Compresión

“Las pruebas de resistencia a la compresión se realizan a:

- a) 3.5 Días

Aunque no es un estándar universal, algunos laboratorios realizan pruebas a los 3.5 días para obtener una estimación temprana del desarrollo de la resistencia del concreto.

Esta prueba temprana puede ser útil para proyectos que requieren una evaluación rápida del progreso del concreto, como para verificar si el concreto ha alcanzado la resistencia suficiente para desmoldar o aplicar cargas leves.

- b) 7 días

El intervalo de 7 días es estándar para realizar pruebas de resistencia en concreto.

A los 7 días, el concreto ha pasado por el fraguado inicial y está en la fase de fraguado final. Esto proporciona una buena indicación temprana de la resistencia futura. La resistencia a los 7 días es típicamente entre el 60% y el 70% de la resistencia a los 28 días, y es un punto clave para la evaluación de la calidad del concreto y la planificación de la construcción.

- c) 14 días

Realizar pruebas a los 14 días ayuda a monitorizar el desarrollo continuo de la resistencia del concreto.

Este intervalo proporciona información adicional sobre cómo continúa aumentando la resistencia del concreto. La resistencia a los 14 días puede ser aproximadamente el 75% al 85% de la resistencia final a los 28 días, ofreciendo una imagen más clara del progreso.

d) 21 días

Las pruebas a los 21 días brindan una evaluación más cercana a la resistencia final del concreto.

A los 21 días, el concreto está aproximadamente al 85%-95% de su resistencia final. Este intervalo ayuda a prever la resistencia final del concreto y a confirmar que el concreto está alcanzando las propiedades deseadas.

e) 28 días

El intervalo de 28 días es el estándar de referencia para la resistencia final del concreto.

A los 28 días, el concreto debería haber alcanzado su resistencia especificada según los estándares de diseño y las especificaciones del proyecto. Este intervalo es crítico para verificar que el concreto cumple con los requisitos de diseño y para la planificación final del uso o carga de la estructura.” (Monteagudo, 2014)

2.2.10.2. Fases del Proceso Exotérmico:

- a) “Inicio Rápido (Pre-Inducción): En los primeros minutos, las reacciones de C_3A dominan, liberando calor rápidamente.
- b) Periodo de Inducción: Hay un breve descenso en la tasa de liberación de calor. Esto es cuando el yeso controla la hidratación del C_3A , evitando fraguado instantáneo.
- c) Fase de Aceleración: La reacción de C_3S se intensifica, liberando la mayor cantidad de calor y aumentando la temperatura de la mezcla.
- d) Fase de Deceleración: Las reacciones continúan, pero la tasa de liberación de calor disminuye conforme el concreto endurece.
- e) Fase de Pos-Endurecimiento: La reacción de C_2S , aunque más lenta, sigue contribuyendo a la resistencia a largo plazo, liberando calor en menor cantidad.

Magnitud del Calor: La cantidad de calor liberado puede variar, pero se estima que puede estar en el rango de 50 a 100 kcal/kg de cemento. En estructuras masivas, esta liberación de calor

puede causar un aumento significativo de la temperatura interna, lo que requiere medidas de control térmico para evitar grietas debido a la contracción térmica.” (Fonseca, 2014)

2.2.11. Curado del Concreto en Canadá

En Canadá, el curado de concreto está regulado principalmente por la Canadian Standards Association (CSA) a través de la norma CSA A23.1/A23.2: Concrete Materials and Methods of Concrete Construction/Test Methods and Standard Practices for Concrete.

2.2.11.1. Métodos de Curado:

- a) “Curado Húmedo: Mantener la superficie del concreto húmeda durante un periodo específico para evitar la pérdida de humedad. Se puede lograr con mantas húmedas, sistemas de nebulización, o agua continua.
- b) Curado con Membranas: Aplicación de compuestos de curado que formen una barrera impermeable en la superficie del concreto para reducir la pérdida de agua.
- c) Curado por Calor: Usado especialmente en climas fríos, incluye métodos como la aplicación de calor a través de mantas térmicas o el uso de vapor.” (CSA A23.1/A23.2)

2.2.11.2. Duración del Curado

“El concreto debe ser curado durante un periodo mínimo para asegurar que alcance la resistencia y durabilidad requeridas. Generalmente, este periodo mínimo es de 7 días para concreto normal, pero puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y el tipo de mezcla.” (CSA A23.1/A23.2)

2.2.11.3. Control de la Temperatura

“Se requiere mantener la temperatura del concreto dentro de un rango específico durante el curado, especialmente en climas fríos, para evitar daños por congelación y asegurar un desarrollo adecuado de la resistencia.” (CSA A23.1/A23.2)

2.2.11.4. Protección Contra la Pérdida de Humedad:

“En condiciones secas y ventosas, se deben tomar precauciones adicionales para evitar la evaporación rápida del agua en la superficie del concreto, lo que puede incluir la aplicación de membranas de curado o el uso de cubiertas plásticas.” (CSA A23.1/A23.2)

2.2.11.5. Ensayos y Verificación:

“Se especifican métodos de ensayo para verificar que los procedimientos de curado están siendo aplicados correctamente y que el concreto está desarrollando las propiedades deseadas.” (CSA A23.1/A23.2)

2.2.12. Curado del Concreto en el Reino Unido

En el Reino Unido, el curado del concreto está regulado principalmente por la norma BS 8110: Structural use of concrete y por el Eurocódigo 2 (BS EN 1992-1-1), que es la normativa europea adoptada en el Reino Unido para el diseño de estructuras de concreto.

2.2.12.1. Métodos de Curado:

- a) “Curado Húmedo: Similar al curado húmedo en otras normativas, implica mantener la superficie del concreto húmeda mediante la aplicación de agua, mantas húmedas o sistemas de riego.
- b) Curado por Membrana: La aplicación de compuestos líquidos que forman una película sobre la superficie del concreto para prevenir la pérdida de agua.
- c) Curado Térmico: Utilizado principalmente en prefabricados y en condiciones climáticas adversas, involucra la aplicación de calor controlado, como vapor, para acelerar el proceso de curado.” (BS 8110)

2.2.12.2. Duración del Curado:

“La duración mínima recomendada para el curado del concreto es generalmente de 7 días a una temperatura de 20°C. Este período puede variar dependiendo de la mezcla del concreto, las condiciones ambientales, y el tipo de cemento utilizado.

Si las temperaturas son menores a 10°C, se recomienda un período de curado más prolongado para asegurar que el concreto alcance la resistencia deseada.” (BS 8110)

2.2.12.3. Control de la Temperatura:

“Se debe evitar que el concreto fresco se congele durante las primeras 24 horas después de la colocación. Si las temperaturas exteriores son bajas, se deben tomar medidas para mantener el concreto a una temperatura adecuada, como el uso de mantas térmicas o carpas con calefacción.” (BS 8110)

2.2.12.4. Protección contra la Evaporación:

“En condiciones secas, calurosas o ventosas, se deben utilizar medidas adicionales para evitar la evaporación rápida del agua del concreto. Esto puede incluir el uso de cortinas de agua, membranas de curado o cubiertas plásticas.” (BS 8110)

2.2.12.5. Calidad del Curado:

“La norma enfatiza que la calidad del curado tiene un impacto directo en la durabilidad y resistencia final del concreto. Por lo tanto, se recomienda la supervisión regular y ensayos para verificar que las técnicas de curado aplicadas son efectivas.” (BS 8110)

2.2.12.6. Curado en Ambientes Específicos:

“Para concreto en ambientes agresivos (por ejemplo, zonas costeras o industriales), la norma establece que el curado debe ser más riguroso para garantizar una adecuada protección contra la corrosión de las armaduras y la penetración de sustancias dañinas.” (BS 8110)

2.2.13. Curado del Concreto en Rusia

En Rusia, el curado del concreto está regulado principalmente por las siguientes normas:

- a) GOST 7473-2010 - Mezclas de Concreto: Esta norma establece los requisitos para la preparación, colocación y curado de las mezclas de concreto, incluyendo la composición, calidad y métodos para asegurar la correcta hidratación y desarrollo de resistencia.
- b) SP 70.13330.2012 (versión actualizada de SNiP 3.03.01-87) - Construcción de Estructuras y Elementos de Concreto y Concreto Armado: Este conjunto de normas y reglas aborda en detalle los métodos de curado del concreto, especialmente en condiciones adversas, como temperaturas bajas o climas severos.

2.2.13.1. Curado Húmedo (Wet Curing)

“Descripción: Este es el método tradicional donde la superficie del concreto se mantiene húmeda para evitar la pérdida de agua necesaria para la hidratación del cemento.

Aplicación en Climas Fríos: En regiones frías, este método es menos común durante el invierno porque el agua en la superficie puede congelarse, lo que podría dañar la estructura del concreto.” (GOST 7473-2010)

2.2.13.2. Curado con Membranas de Curado (Curing Compounds)

“Descripción: Consiste en la aplicación de compuestos líquidos que forman una película protectora sobre la superficie del concreto, sellando la humedad dentro de la mezcla.

Aplicación en Climas Fríos: Este método es útil en condiciones frías donde no es práctico mantener la superficie constantemente húmeda. Ayuda a prevenir la evaporación del agua en condiciones secas y frías.” (GOST 7473-2010)

2.2.13.3. Curado por Calefacción (Heated Curing)

“Descripción: Se emplea calor para mantener la temperatura del concreto por encima de ciertos niveles críticos. Esto incluye el uso de mantas térmicas, cables calefactores o carpas calefaccionadas.

Aplicación en Climas Fríos: Es crucial en invierno cuando las temperaturas caen por debajo de 5°C. Este método evita que el agua en la mezcla de concreto se congele, lo que podría comprometer la resistencia y durabilidad del concreto.” (GOST 7473-2010)

2.2.13.4. Curado con Vapor (Steam Curing)

“Descripción: Se aplica vapor caliente al concreto para acelerar la hidratación y el desarrollo de la resistencia. Este método se utiliza comúnmente en plantas de prefabricación y en situaciones donde se requiere que el concreto adquiera resistencia rápidamente.

Aplicación en Climas Fríos: En condiciones de frío extremo, el curado con vapor es muy efectivo para mantener el concreto a una temperatura segura, asegurando una hidratación adecuada. Es ideal para proyectos donde es necesario acelerar el proceso de curado debido a limitaciones de tiempo o donde las temperaturas ambientales son extremadamente bajas.” (GOST 7473-2010)

2.2.13.5. Curado por Envolvimiento (Insulating Curing)

“Descripción: Consiste en cubrir el concreto con materiales aislantes, como mantas térmicas o poliestireno expandido, para retener el calor generado por la hidratación del cemento.

Aplicación en Climas Fríos: Este método es especialmente útil en climas fríos para evitar la pérdida de calor y proteger el concreto durante los primeros días críticos del curado.” (GOST 7473-2010)

2.2.14. Curado del Concreto en Climas Fríos

Curar el concreto en climas fríos requiere medidas específicas para garantizar que el proceso de hidratación del cemento se lleve a cabo correctamente, evitando que el agua en la mezcla se congele y comprometa la calidad del concreto. A continuación, se detallan las prácticas recomendadas para curar el concreto en climas fríos, teniendo en cuenta las normativas mencionadas anteriormente de Canadá, Rusia y otras regiones con climas fríos.

a) Curado con Vapor de Agua

- ❖ Descripción: El curado con vapor es una de las técnicas más efectivas en climas fríos. Se aplica vapor caliente alrededor del concreto para mantener una temperatura adecuada, acelerando la hidratación y previniendo la congelación.
- ❖ Normativa: Tanto en las normas rusas como en las canadienses, el curado con vapor es recomendado cuando se requiere acelerar el curado en invierno o cuando las temperaturas son extremadamente bajas.

b) Coberturas Aislantes

- ❖ Descripción: Cubrir el concreto con mantas térmicas, lonas, o materiales aislantes es esencial para retener el calor durante el curado. Estas coberturas mantienen la temperatura del concreto por encima de los niveles críticos durante los períodos iniciales de curado.

- ❖ Normativa: Las normas SP 70.13330.2012 en Rusia y CSA en Canadá recomiendan el uso de coberturas aislantes para proteger el concreto de las bajas temperaturas y garantizar un curado adecuado.

c) **Calentamiento Eléctrico o con Carpas Calefaccionadas**

- ❖ Descripción: En casos extremos, se pueden utilizar sistemas de calefacción eléctrica (cables calefactores) o instalar carpas calefaccionadas alrededor de la estructura para mantener una temperatura constante y adecuada.
- ❖ Normativa: Este método es común en Rusia, donde las temperaturas pueden ser muy bajas. La normativa permite el uso de calefacción eléctrica y otros métodos para mantener el concreto a una temperatura segura durante el curado.

2.2.15. Variaciones de Temperatura en el Perú – Región Sierra

En Perú, las variaciones de clima frío se presentan principalmente en las regiones de la **sierra** y en las zonas de mayor altitud. A continuación, se detallan las características y variaciones del clima frío en estas áreas:

a) **Altiplano (Puno, Cusco, Arequipa)**

- ❖ Invierno (mayo a septiembre):
- ❖ Temperaturas: Durante esta estación, las temperaturas nocturnas pueden descender significativamente, llegando a -5°C o incluso menos en las zonas más elevadas. Durante el día, las temperaturas máximas suelen oscilar entre 10°C y 15°C .
- ❖ Heladas: Las heladas son comunes, especialmente en los meses de junio y julio, afectando tanto la vegetación como las actividades humanas.

b) **Sierra Central (Junín, Huancavelica, Ayacucho)**

- ❖ Invierno (mayo a septiembre):
- ❖ Temperaturas: Las mínimas nocturnas varían entre 0°C y 5°C , con heladas frecuentes en las zonas más altas. Las máximas diurnas están entre 15°C y 20°C .
- ❖ Heladas: Las heladas son menos severas que en el altiplano, pero aún afectan las zonas agrícolas y rurales.

c) **Zonas de Alta Montaña (Nevados y Cordilleras)**

- ❖ Temperaturas: En las zonas más altas, por encima de los 4,000 metros sobre el nivel del mar, las temperaturas pueden estar permanentemente cerca o por debajo de 0°C . Las temperaturas diurnas raramente superan los 10°C , y las nocturnas pueden descender a -10°C o menos.

- ❖ **Condiciones Extremas:** Las condiciones climáticas en estas áreas son severas, con nieve y hielo durante gran parte del año.

2.2.16. Razones para Utilizar el Curado con Vapor en la Sierra

El curado con vapor de agua es una técnica eficaz en la sierra peruana, especialmente debido a las condiciones climáticas frías y las variaciones significativas de temperatura que caracterizan esta región. A continuación, se detallan las razones por las que el uso de vapor de agua es especialmente beneficioso para el curado del concreto en la sierra peruana:

2.2.16.1. Prevención de la Congelación del Concreto

Riesgo de Heladas: Durante el invierno, las temperaturas en la sierra pueden descender por debajo de 0°C, lo que puede causar la congelación del agua en el concreto fresco. Esto puede llevar a la formación de fisuras y debilitar la estructura.

Vapor de Agua como Solución: El curado con vapor mantiene la temperatura del concreto por encima del punto de congelación, asegurando que la mezcla se cure correctamente sin sufrir daños estructurales.

2.2.16.2. Aceleración del Proceso de Curado

Condiciones Frías: Las bajas temperaturas ralentizan la reacción de hidratación del cemento, extendiendo el tiempo necesario para que el concreto adquiera su resistencia óptima.

Beneficio del Vapor: El curado con vapor acelera la hidratación del cemento, lo que es crucial en climas fríos donde el desarrollo de la resistencia puede ser lento. Esto permite que las estructuras alcancen la resistencia requerida en un menor tiempo, crucial para mantener los cronogramas de construcción.

2.2.16.3. Mantención de la Humedad Adecuada

Evitar la Evaporación Rápida: Aunque las temperaturas son frías, la altitud y la exposición solar en la sierra pueden causar una rápida evaporación de la humedad superficial, afectando el curado.

Efecto del Vapor: El curado con vapor asegura que el concreto mantenga un nivel de humedad adecuado durante el proceso de curado, previniendo la formación de fisuras superficiales y asegurando un acabado uniforme.

2.2.16.4. Mejora de la Calidad y Durabilidad del Concreto

Condiciones Adversas: En la sierra, el concreto puede estar expuesto a condiciones extremas, como ciclos de congelación y deshielo, que pueden comprometer su durabilidad.

Óptimo con Vapor: El uso de vapor ayuda a producir un concreto más denso y resistente, mejorando su durabilidad frente a las condiciones adversas. Esto es especialmente importante en estructuras que estarán sometidas a esfuerzos mecánicos o ambientales severos.

2.2.16.5. Conformidad con Normativas Internacionales

Requerimientos en Climas Fríos: Normativas como las rusas y canadienses, que lidian con climas fríos similares, recomiendan el uso de técnicas de curado con vapor para asegurar la integridad del concreto en condiciones de baja temperatura.

Aplicación en Perú: Adaptar estas normativas y técnicas a las condiciones de la sierra peruana ayuda a garantizar que las estructuras cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos en climas fríos.

2.2.17. Diseño de Mezclas – Metodología ACI 211.1

“La metodología de diseño ACI 211.1 es un enfoque establecido por el American Concrete Institute (ACI) para el diseño de mezclas de concreto. Este método proporciona pautas para determinar las proporciones adecuadas de los ingredientes del concreto (cemento, agua, agregados y aditivos) con el objetivo de lograr una mezcla con las propiedades deseadas, como resistencia, trabajabilidad y durabilidad. A continuación, se detallan los pasos clave en la metodología de diseño ACI 211.1” (ACI 211.1):

- a) “Especificaciones del proyecto: El primer paso es definir las especificaciones y requerimientos del proyecto, como la resistencia a la compresión requerida, las condiciones ambientales, la exposición a agentes agresivos y las restricciones de tiempo, entre otros.” (ACI 211.1)
- b) “Selección de la resistencia objetivo: La resistencia objetivo del concreto (f'_{cr}) es la resistencia a la compresión esperada más un margen de seguridad para tener en cuenta la variabilidad en la producción y las pruebas del concreto. La resistencia objetivo se calcula como $f'_{cr} = f'_c + 1.34 * SD$, donde f'_c es la resistencia a la compresión especificada y SD es la desviación estándar.” (ACI 211.1)
- c) “Selección de la relación agua-cemento (A/C): La relación A/C tiene un impacto significativo en la resistencia y durabilidad del concreto. La metodología ACI 211.1 proporciona gráficos y tablas que relacionan la resistencia requerida con la relación A/C máxima permitida, considerando factores como el tipo de cemento y las condiciones de exposición.” (ACI 211.1)
- d) “Selección del contenido de agua: El contenido de agua en la mezcla de concreto afecta su trabajabilidad. La metodología ACI 211.1 sugiere valores de contenido de agua basados en el tamaño máximo del agregado y la trabajabilidad deseada, que se puede medir mediante la prueba de asentamiento del cono de Abrams.” (ACI 211.1)

- e) “Selección del contenido de cemento: El contenido de cemento se determina dividiendo el contenido de agua seleccionado por la relación A/C máxima permitida. Es importante garantizar que el contenido de cemento esté dentro de los límites recomendados por ACI para evitar problemas como fisuración por retracción y desprendimiento de agregados.” (ACI 211.1)
- f) “Selección de los agregados: Los agregados (gruesos y finos) constituyen una gran parte del volumen del concreto. La metodología ACI 211.1 proporciona pautas para la selección del tamaño máximo del agregado, la granulometría y la proporción de agregados finos a gruesos, teniendo en cuenta factores como la resistencia, la trabajabilidad y las dimensiones de las estructuras de concreto.” (ACI 211.1)
- g) “Ajuste de la mezcla y aditivos: La mezcla de concreto puede requerir ajustes para cumplir con los requisitos específicos del proyecto, como mejorar la trabajabilidad, acelerar o retardar el tiempo de fraguado o aumentar la resistencia a la congelación y deshielo. Estos ajustes se pueden lograr mediante la adición de aditivos químicos o minerales, como plastificantes, reductores de agua, aceleradores de fraguado o aireantes, entre otros.” (ACI 211.1)
- h) “Pruebas y ajustes de la mezcla: Después de establecer las proporciones preliminares de la mezcla, es importante realizar pruebas en laboratorio y/o en campo para verificar que la mezcla cumple con los requisitos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad. Esto incluye pruebas de resistencia a la compresión, asentamiento del cono de Abrams, contenido de aire y tiempo de fraguado, entre otras. Si los resultados de las pruebas no cumplen con las especificaciones, se deben realizar ajustes en las proporciones de los ingredientes y repetir las pruebas hasta obtener una mezcla satisfactoria.” (ACI 211.1)
- i) “Control de calidad y monitoreo: Una vez que se ha establecido la mezcla de concreto, es crucial mantener un control de calidad riguroso durante la producción y colocación del concreto. Esto implica monitorear y registrar constantemente las proporciones de los ingredientes, las condiciones ambientales y los resultados de las pruebas de concreto. Además, se deben tomar medidas correctivas si se identifican desviaciones de las especificaciones o si ocurren problemas en el concreto endurecido, como fisuras o pérdida de resistencia.” (ACI 211.1)

2.2.18. Fallas Obtenidas en las Roturas de Briquetas de Concreto

2.2.18.1. Definición

“Las fallas obtenidas en las roturas de briquetas de concreto se refieren a las discontinuidades, grietas o fracturas que se observan en las muestras de concreto después de someterlas a pruebas de compresión. Estas fallas son indicativas de la capacidad del concreto para soportar cargas y resistir la

deformación bajo fuerzas de compresión. El análisis de estas fallas proporciona información valiosa sobre la calidad, resistencia y comportamiento estructural del concreto, lo que permite evaluar su idoneidad para aplicaciones específicas en la construcción y la ingeniería civil.” (NTP 339.034)

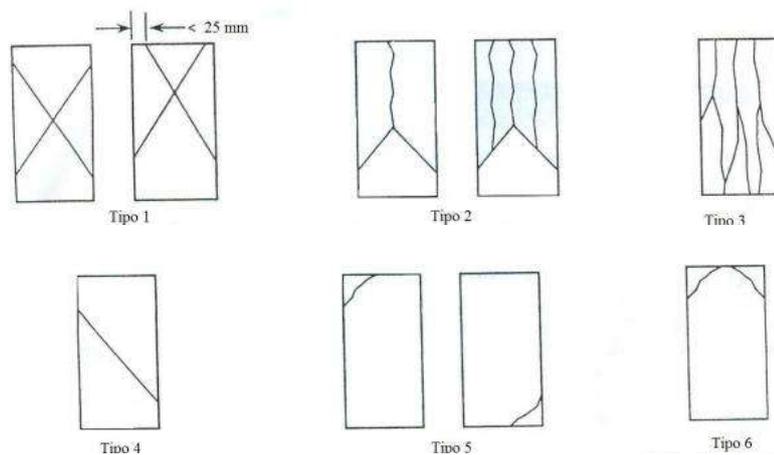
2.2.18.2. Tipos

De acuerdo con la NTP 339.034:2015 se tiene 6 tipos de patrones de fallas los cuales son los siguientes:

- “Tipo 1: Conos que muestran una forma razonablemente buena en ambas bases, con grietas de menos de 25 mm entre las capas.” (NTP 339.034). Se produce resultado de una buena compactación en el espécimen de concreto y una buena aplicación de carga.
- “Tipo 2: Conos que muestran una forma adecuada en una base, con desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, mientras que en la otra base el cono no está bien definido.” (NTP 339.034). Suele ser producto de la convexidad de una placa de carga o cara de aplicación, así como por rugosidades en la placa de carga o en el plato cabeceador
- “Tipo 3: Presencia de grietas verticales columnares en ambas bases.” (NTP 339.034). Se produce cuando la superficie del espécimen o de la placa de carga es convexa o cóncava.
- “Tipo 4: Fractura diagonal sin grietas en las bases.” (NTP 339.034). Se produce cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia o en fuera de este.
- “Tipo 5: Fracturas laterales en las bases (superior e inferior), que son comunes en las capas de embonado.” (NTP 339.034). Suele ser resultado de una mala compactación y segregación del concreto, lo que genera zonas de baja resistencia que produce fallas locales.
- “Tipo 6: Similar al tipo 5, pero con un terminal del cilindro más pronunciado.” (NTP 339.034) La razón de este tipo de fractura es similar al del tipo 5.

Ilustración 2

Tipos de fractura de una briqueta de concreto



Nota. Fuente: NTP 339.034

2.2.18.3. Sonidos producidos

“Los sonidos producidos al momento de la falla de las probetas de concreto son indicadores de su estructura interna y de cómo se produce la ruptura.

Al momento de la presentarse la falla del concreto sometido a compresión se aprecia un sonido estallido o chasquido cuando este presenta una falla abrupta producido por la liberación de energía acumulada al aplicar un esfuerzo a la muestra.

Durante el procedimiento del ensayo a compresión del concreto se suelen escuchar pequeños crujidos cuando el concreto presenta micro fisuras producto de la aplicación de la carga a la probeta, lo cual es un indicador de que el concreto aún no ha alcanzado el límite de aplicación de carga.

Cabe mencionar que el sonido producido al momento de la falla de la probeta de concreto es influenciado por factores como la edad del concreto, el tipo de agregados que lo componen, la humedad del concreto, el tamaño de la muestra, la velocidad de carga.

La poca humedad presente en el concreto puede producir un sonido más agudo y seco, al contrario, un concreto con alta humedad presenta un sonido más amortiguado. En cuanto a la cantidad de concreto involucrado un mayor volumen produce un sonido mucho mayor.

Respecto a la velocidad de la aplicación de carga al espécimen de concreto, una mayor velocidad puede producir una falla más abrupta por lo tanto un sonido más explosivo, al contrario, una aplicación de carga lenta produce una falla gradual por consiguiente un sonido más silencioso.

El sonido producido al momento de la falla de la muestra de concreto también depende si se presenta una falla frágil o una falla dúctil, la primera hace referencia a un colapso repentino del concreto que no presenta mucha deformación plástica previa al colapso, en cambio la segunda hace referencia a la presencia de mayor deformación plástica previa, así como a la falla gradual interna.” (Cement and Concrete Research, 2005)

2.2.19. Ensayos para los Agregados

2.2.19.1. Granulometría

El ensayo de granulometría evalúa la distribución del tamaño de partículas en agregados, esencial para garantizar la trabajabilidad, resistencia y durabilidad adecuadas del concreto. Se utiliza una serie de tamices de aberturas variadas, donde las partículas se clasifican por tamaño al pasar a través de ellos, cumpliendo con normativas específicas para asegurar la calidad del material.

2.2.19.1.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 400.012: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.”

2.2.19.2. Módulo de Fineza

El módulo de fineza (MF) indica la distribución de partículas en agregados finos, crucial para la calidad del concreto. Su valor, obtenido de la suma ponderada de porcentajes retenidos en tamices normalizados, influye en la trabajabilidad y durabilidad del material, facilitando ajustes para lograr la granulometría deseada.

2.2.19.2.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 400.012: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.”
- “NTP 400.037: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón”

2.2.19.3. Contenido de Humedad

El contenido de humedad, expresado como un porcentaje del peso seco, es esencial para calcular proporciones adecuadas en mezclas de concreto, impactando en su trabajabilidad y durabilidad. Su determinación precisa garantiza la calidad del material de construcción.

2.2.19.3.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 339.185: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”

2.2.19.4. Pasante de la Malla N°200

El porcentaje de material fino (PFF), expresado como el peso de partículas que pasan a través de un tamiz de 75 µm, es crucial para evaluar la idoneidad del agregado en las mezclas de concreto, proporcionando información sobre su calidad y usabilidad.

2.2.19.4.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 400.018: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 mm (N°200) por lavado de agregados”

2.2.19.5. Peso Específico y Absorción

“El peso específico, también conocido como densidad relativa, es una propiedad física que describe la relación entre la masa de un material y el volumen que ocupa. Se expresa generalmente en unidades de masa por unidad de volumen (por ejemplo, kg/m^3 o g/cm^3). En el contexto de la ingeniería civil y la construcción, el peso específico de los agregados y otros materiales es importante para calcular las proporciones de los componentes en una mezcla de concreto, así como para estimar el peso de las estructuras y evaluar la capacidad de carga del suelo.” (ASTM C127 y ASTM C128)

2.2.19.5.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

Agregado Grueso

- “NTP 400.021: AGREGADOS Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso”

Agregado Fino

- “NTP 400.022: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado fino”

2.2.19.6. Peso Unitario Suelto

“El peso unitario suelto, también conocido como peso volumétrico suelto, es una propiedad de los agregados que se refiere a la relación entre la masa de los agregados y el volumen total que ocupan, incluyendo el volumen de los poros entre las partículas. Se mide en unidades de masa por unidad de volumen (por ejemplo, kg/m^3 o lb/ft^3). El peso unitario suelto es un parámetro importante en la ingeniería civil y la construcción, ya que ayuda a determinar las proporciones adecuadas de los componentes en una mezcla de concreto y puede influir en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto.” (ASTM C29/C29M)

2.2.19.6.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”

2.2.19.7. Peso Unitario Compactado

El peso específico, o densidad relativa, es esencial en ingeniería civil para calcular proporciones de mezcla de concreto y estimar el peso de estructuras, ya que indica la relación entre la masa y el volumen de un material ya que puede influir en la densidad, resistencia y durabilidad del concreto, así como en la estabilidad y capacidad de carga de las estructuras y los pavimentos.

2.2.19.7.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”

2.2.19.8. Ensayo de Abrasión

El ensayo de abrasión evalúa la resistencia de los agregados al desgaste y la abrasión en estructuras de concreto. Se realiza mediante una máquina como la de Los Ángeles, simulando condiciones reales de servicio, para prever su impacto en la resistencia y durabilidad del concreto.

2.2.19.8.1. Normativa Utilizada:

Para Perú, las normas aplicables son:

- “NTP 400.019: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto de Los Ángeles”

2.2.20. Equipos e Instrumentos para los Ensayos de los Agregados

2.2.20.1. Granulometría

- Regla
- Cucharon de fondo plano y borde recto
- Pala
- Escoba
- Lona de 2 x 2.5m
- Balanza de 0.1g de precisión
- Tamices (Cumplen la norma NTP 350.001)

- Agitador mecánico de Tamices
- Horno que garantice $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Tabla 3

Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico

Agregado	Tamices normalizados	
	mm	in.
Fino	150 μm	Nro. 100
	300 μm	Nro. 50
	600 μm	Nro. 30
	1.18 mm	Nro. 16
	2.36 mm	Nro. 8
	4.75 mm	Nro. 4
Grueso	9.50 mm	3/8
	12.5 mm	1/2
	19.0 mm	3/4
	25.0 mm	1

Nota. En la tabla 3 se muestran todos los tamices que se utilizaron para realizar el ensayo de granulometría del agregado grueso y agregado fino. Fuente: Norma NTP 400.011

2.2.20.2. Módulo de Fineza

- Regla
- Cucharon de fondo plano y borde recto
- Pala
- Escoba
- Lona de 2 x 2.5m
- Balanza de 0.1g de precisión
- Agitador mecánico de Tamices
- Horno que garantice $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Tamices de la tabla 3 (Cumplen la norma NTP 350.001)

2.2.20.3. Contenido de Humedad

- Balanza con sensibilidad de 0.1% del peso total de la muestra
- Horno ventilado con capacidad de permanecer en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Recipiente resistente al calor y suficiente para contener la muestra.

- Espátula o cuchara de metal

2.2.20.4. Pasante de la Malla N°200

- Tamiz N°200
- Recipiente con capacidad suficiente
- Balanza de precisión de 0.1% del peso total de la muestra
- Estufa con capacidad de permanecer a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Agente humectante (agua)

2.2.20.5. Peso Específico y Absorción

- Balanza con una precisión de 0.1g o menos.
- Picnómetro, donde sea posible medir el volumen a exactitud 0.1 cm^3 . En este caso un matraz aforado con capacidad de 500 cm^3 , con tapa.
- Molde troncocónico de metal de 0.8mm de espesor como mínimo, de $40\text{mm} \pm 3\text{mm}$ en la parte superior, de $90\text{mm} \pm 3\text{mm}$ en la parte inferior, de $75\text{mm} \pm 3\text{mm}$ de altura con su barra compactadora de $340 \pm 15 \text{ g}$ y $25 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.
- Estufa con capacidad de permanecer a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

2.2.20.6. Peso Unitario Suelto

- Balanza de precisión a 0.1% de la masa medida.
- Varilla apisonadora, de acero liso, de 60cm de largo y 16mm de diámetro, con punta redondeada.
- Recipiente cilíndrico de metal, hermético, con una altura no menor que el 80% del diámetro y no mayor que el 150% del diámetro.
- Pala o cucharón
- Placa de vidrio de 6mm o mas, de lado de 25mm mas que el diámetro del recipiente
- Grasa
- Termómetro con lectura cada 0.5°C , con capacidad para medir temperaturas entre 10°C y 32°C

2.2.20.7. Peso Unitario Compactado

- Balanza de precisión a 0.1% de la masa medida.

- Varilla apisonadora, de acero liso, de 60cm de largo y 16mm de diámetro, con punta redondeada.
- Recipiente cilíndrico de metal, hermético, con una altura no menor que el 80% del diámetro y no mayor que el 150% del diámetro.
- Pala o cucharón
- Placa de vidrio de 6mm o mas, de lado de 25mm mas que el diámetro del recipiente
- Grasa
- Termómetro con lectura cada 0.5°C, con capacidad para medir temperaturas entre 10°C y 32°C

2.2.20.8. Ensayo de Abrasión

- Máquina de “Los Ángeles”
- Balanza de precisión 0.5g o 0.05% del peso total de la muestra
- Recipiente para la muestra, que consiste en una canasta de alambre de malla fina (Abertura de 3.35mm o N°6)
- Tanque de agua
- Tamiz N°4
- Estufa con capacidad de permanecer en 110°C +/-5°C
- Tamices (según norma NTP 350.001)
- Carga, que consiste en esferas de acero de 46.8mm, con masas de 390g a 445g, La carga utilizada será de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tabla 4

Numero de esferas por tipo de gradación

Gradación	Numero de esferas	Masa de la carga
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Nota. Se utilizó la gradación tipo B para la presente investigación. Fuente: NTP 400.019

- Gradación de las muestras

Tabla 5*Gradación de las muestras de ensayo*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, (g)
Que pasa	Retenido sobre	Gradación B
19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	2500±10
12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (1/2 in.)	2500±10
Total		5000±10

Nota. Se utilizó la gradación tipo B para la presente investigación, debido al tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado. Fuente: NTP 400.019

2.2.21. Ensayo para la Fabricación de Probetas de Concreto

Este ensayo se regirá bajo la normativa:

- “NTP 339.183: Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio”

2.2.22. Equipos e Instrumentos para la Fabricación de Probetas de Concreto

- a) “Molde cilíndrico: Los moldes pueden ser hechos de acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con concreto portland u otros cementos hidráulicos Y deben cumplir con la normativa ASTM C 470/C 470M” (NTP 339.183)
- b) “Varilla de compactación: Se podrán utilizar dos dimensiones de varillas dependiendo del método de prueba a emplear. Estas varillas estarán hechas de acero, con una forma de sección circular y con el extremo compactado redondeado hasta formar una punta semiesférica con el mismo diámetro que la varilla. Si se prefiere, ambos extremos de la varilla pueden ser redondeados de esta manera.
 - a. Varilla larga: Cuyas dimensiones serán de D (diámetro) = 16mm (5/8”) y L (longitud) = 600 mm o 24 in.
- c) “Martillo de goma: Este martillo debe pesar 0,6 kg ± 0,20 kg (1,25 ± 0,50 lb) y puede ser también de material cuero.” (NTP 339.183)
- d) “Herramientas pequeñas: Esta compuesta por lampas, baldes, planchas, frotachados de madera, escuadra, medidor de holgura, cucharas, reglas, guantes de goma, y tazones metálicos.” (NTP 339.183)
- e) “Cono de Abrams: Este equipo se utilizará para medir el asentamiento de acuerdo con la NTP 339.035” (NTP 339.183)

- f) “Recipientes de muestreo y mezclado: Estos deben ser de fondo plano, y de metal grueso, impermeable, de profundidad conveniente, y de suficiente capacidad para permitir un mezclado fácil de la tanda completa” (NTP 339.183)
- g) “Balanzas: Las balanzas para determinar el peso de las tandas de materiales y concreto deberán tener una exactitud del 0,3 % de la carga de prueba en cualquier punto del rango de uso.” (NTP 339.183)
- h) “Mezcladora de concreto: Debe estar impulsada por un motor y estar compuesta por un tambor en movimiento giratorio, un mezclador vertical o inclinado, o un contenedor apropiado para la mezcla, o una mezcladora con paletas giratorias. Esta debe tener la capacidad de mezclar por completo lotes de volúmenes específicos hasta lograr los niveles de asentamiento requeridos.” (NTP 339.183)

2.2.23. Ensayo de Refrendado de Testigos de Concreto (CAPPING)

Este procedimiento está bajo la directriz del manual de Ensayo de Materiales (EM 2000) de acuerdo con las normativas:

- “AASHTO T231: Método estándar de prueba para encapsular especímenes cilíndricos de concreto.”
- “ASTM C617/C617M: Procedimiento normalizado para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón”

2.2.24. Equipos e Instrumentos para Refrendado de Testigos de Concreto

- 1) “Placas de refrendado: Las placas de refrendado pueden ser placas de vidrio de un mínimo de 6 mm (1/4”) de espesor, también se puede usar una placa de metal maquinada de espesor mínimo de 13 mm (1/2”) o una placa pulida de granito o diabasa de espesor mínimo de 76 mm (3”).” (ASTM C617/C617M)
- 2) “Dispositivos de alineación: En conjunto con las placas de refrentado deberán usarse dispositivos de alineación apropiados, como barras-guía o niveles de ojo, para asegurar la perpendicularidad del eje del espécimen cilíndrico, con tolerancia de 0.5° (10.4 mm/m).” (ASTM C617/C617M)
- 3) “Materiales:
 - a) Para especímenes frescos: Se puede optar por una capa delgada y frisco de cemento Portland.
 - b) Para especímenes endurecidos: Se puede optar por yeso de alta resistencia que debe desarrollar una resistencia de 35 MPa en 1 o 2 horas, por otro se puede usar mortero de

azufre, pero este debe desarrollar una resistencia de 28MPa en 2 horas.” (ASTM C617/C617M)

2.2.25. Ensayo de Cono de Abrams (Prueba de Asentamiento)

Este ensayo se regirá de acuerdo con las siguientes normativas:

- “NTP 339.035: Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams”

2.2.26. Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Cono de Abrams

- a) “Cono de Abrams: Deberá ser un molde metálico no atacable por el cemento con un espesor mínimo de 1.5 mm, además tendrá la forma de la superficie lateral de un tronco de cono, con un diámetro de 200 mm (8 in.) en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm (4 in.) y una altura de 300 mm (12 in.), con una tolerancia entre sus diámetros y alturas de ± 3 milímetros” (NTP 339.035)
- b) “Barra compactadora: Sera una varilla de acero sin estriar, con un diámetro de 16 mm y una longitud aproximada de 600 mm, cuyo extremo de compactación, ya sea uno o ambos, está conformado en una forma semiesférica con un diámetro de 16 milímetros.” (NTP 339.035)
- c) “Dispositivo de medida: Se utilizará una regla cuya medición estará en incrementos 5 mm o menores, con una longitud total mínima de 300 milímetros.” (NTP 339.035)
- d) “Cucharón: Tendrá un tamaño y forma adecuados para extraer una cantidad representativa de concreto del contenedor que contiene la muestra y verterla en el molde sin derrames.” (NTP 339.035)
- e) “Regla metálica: Para nivelar la superficie superior del concreto en el cono.” (NTP 339.035)

2.2.27. Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto

Este ensayo estará reglamentado de acuerdo con la siguiente normativa:

- “NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”

2.2.28. Equipos e Instrumentos para el Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto

- a) “Máquina de ensayo para la rotura de especímenes: Se deberá tener en cuenta que la máquina de ensayo deberá aplicar la carga a una velocidad de movimiento medida desde la platina a la cruceta correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa/s, además la velocidad de movimiento diseñada será mantenida al menos durante la mitad final de la fase de carga anticipada.” (NTP 339.034)

- b) “Bloques de apoyo: Estos servirán para confinar el espécimen, estos bloques deben ser de acero y su dimensión mínima debe ser de al menos 3% mayor que el diámetro de los especímenes.” (NTP 339.034)
- c) “Almohadillas de neopreno: Son elementos circulares empleados en las máquinas de ensayo de compresión y/o resistencia del concreto, como función principal es nivelar las superficies, evitando irregularidades, distribuyendo de manera uniforme las cargas para proteger tanto la muestra como el cilindro, optamos por las almohadillas de neopreno, en lugar del refrendado con capping, para nuestro caso utilizamos almohadillas de neopreno de 6” y durómetro 70, todo ello de acuerdo con la normativa NTP 339.216: Método para la utilización de cabezales con almohadillas de neopreno en el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido.” (NTP 339.034)

Consideraciones para tomar en cuenta antes de utilizar la máquina:

- “Verificar si la maquina esta calibrada, dicha una calibración se realizará una vez cada 12 meses de acuerdo con la normar ASTM E 4” (NTP 339.034)
- “Además, la documentación de la calibración y mantenimiento de la máquina de ensayo debe ser de acuerdo con la norma ASTM C 1077” (NTP 339.034)

2.2.29. Ensayo de Curado con Vapor de Agua

Este ensayo se realizará de acuerdo con las siguientes normativas:

- “ACI 308: Curado del Concreto”
- “ASTM 517.2R: Curado acelerado de concreto a presión atmosférica”
- “CIRSOC 201: Ministerio de planificación federal, inversión pública y servicios secretaria de obras públicas de la nación”

2.2.30. Equipos Específicos para Curado con Vapor

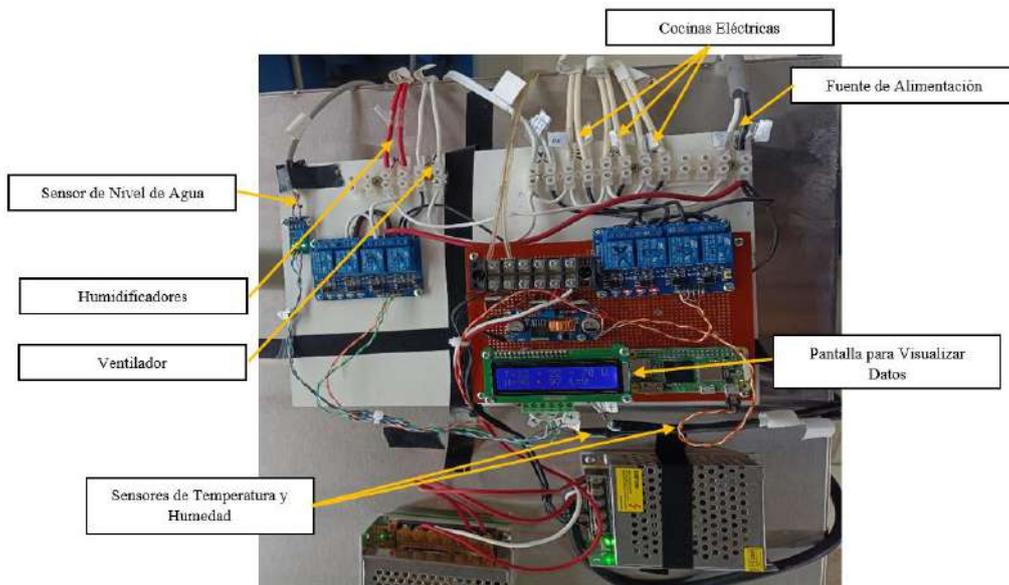
Cámara de curado con vapor: Esta cámara fue diseñada siguiendo los lineamientos de la norma ASTM 517.2R y el reglamento CIRSOC 201, donde se establece lo siguiente:

- a) “La humedad relativa de la cámara tendrá en todo momento un mínimo de 95%.
- b) Las cámaras o recintos de curado deben permitir la circulación libre del vapor entre los elementos estructurales y deben estar construidas de manera que minimicen las pérdidas de humedad y temperatura en base a ello se diseñó de acero inoxidable de manera que se cumple con la normativa.

- c) En el interior de las cámaras o recintos, se deben instalar termómetros e higrómetros registradores para medir de forma continua las variaciones de temperatura y humedad durante el proceso de curado.
- d) La cámara debe poseer un sistema de calentamiento y enfriamiento gradual, esta velocidad de aumento y disminución de temperatura en la cámara estará limitada entre 10 °C y 30 °C por hora.
- e) La temperatura máxima permitida durante el curado a vapor no debe superar los 70°C en ninguna parte de la cámara.” (ASTM 517.2R y CIRSOC 201)

Ilustración 3

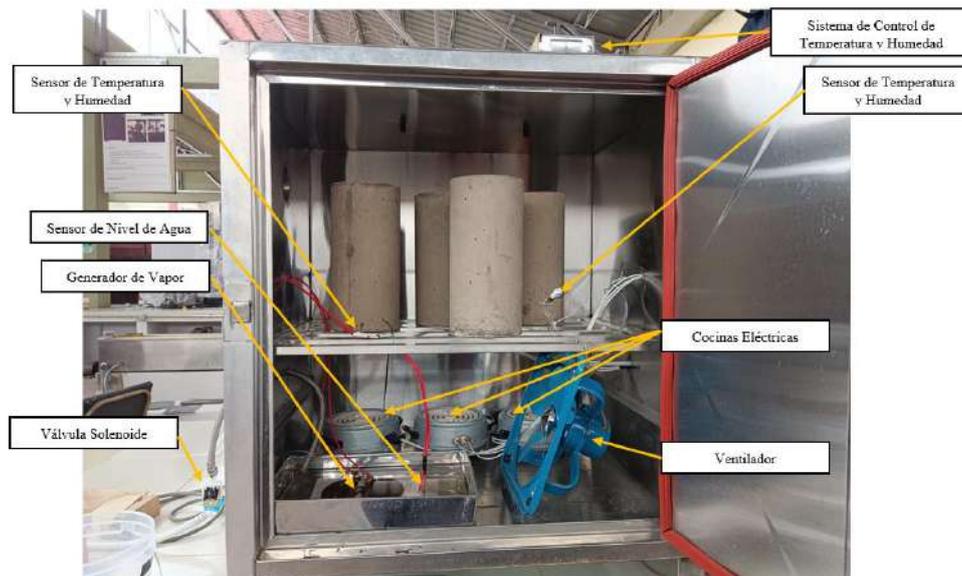
Detalle de los componentes del sistema de control de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 4

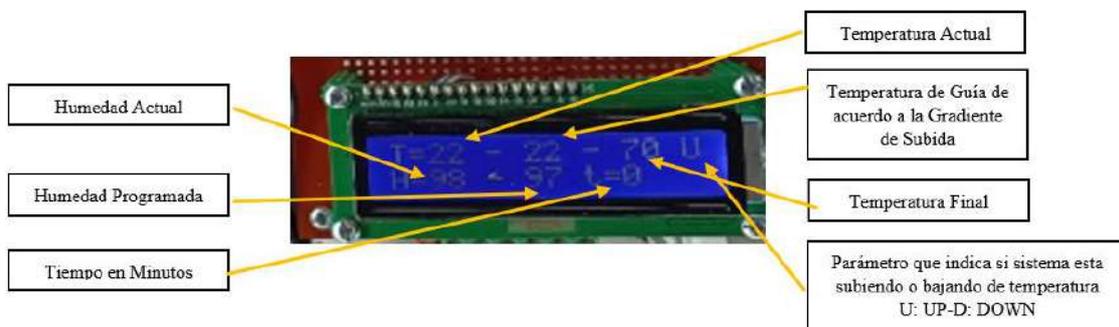
Detalle de los componentes de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5

Detalle de los parámetros de la pantalla de datos de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.31. Especificaciones de los Partes de la Cámara de Vapor

- ❖ Estructura hermética de acero INOX con fibra de vidrio: Corresponde a la estructura de la cámara de vapor, la cual fue elaborada con acero inoxidable grado 201, dicha estructura cuenta con un recubrimiento entre ambas planchas de fibra de vidrio, además de una puerta hermética con espuma.
- ❖ Raspberry Pi Zero 2 W: Este es el procesador de la cámara de vapor que cuenta con las siguientes especificaciones:

- Procesador Broadcom BCM2710A1, Quad-core de 64 bits (Arm Cortex-A53 corriendo a 1 GHz)
- Memoria RAM de 512MB LPDDR2
- Conectividad inalámbrica de 2.4GHz IEEE 802.11b/g/n
- Bluetooth 4.2 / BLE
- Conector micro USB 2.0 con OTG
- Acceso a GPIO a través de espadines (opcionales)
- Slot de tarjeta microSD
- Puerto de video con conector Mini HDMI
- Conector CSI-2 para cámara oficial Raspberry Pi (necesita cable adaptador)
- Salida de video compuesto (necesita soldadura y configuración adicional)
- Soporta codificación y decodificación H.264 (1080p30)
- Soporta gráficos OpenGL ES 1.1 y 2.0
- Se alimenta con 5V a través de un conector micro USB. Se recomienda una fuente de poder que pueda suministrar 2.5A” (<https://thepibox.pe/product/raspberry-pi-zero2w/>)
- ❖ “Módulo DIMMER AC 22V/8A para controlar con Arduino: Este driver permite controlar cargas de voltaje alterno (220V AC) desde un microcontrolador como Arduino/Pic/Raspberry Pi/ESP8266, sus especificaciones son las siguientes:
 - Voltaje de Control: 3.3-5V DC
 - Voltaje de Carga: 110/220V AC (máx.)
 - Frecuencia AC: 50/60 Hz
 - Corriente nominal carga: 4A
 - Corriente máxima carga: 8A
 - Potencia de carga: 1000W máx.
 - Triac: BTA16
 - Aislamiento óptico con: MOC3021 y PC817
 - Dimensiones: 54*28*35 mm

- Peso: 20 gramos” (<https://naylampmechatronics.com/drivers/1041-modulo-dimmer-ac-220v8a.html>)
- ❖ “Sensor de temperatura y humedad relativa DHT 22(AM2302): Es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y trabaja perfectamente con plataformas como Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu, sus especificaciones técnicas son las siguientes:
 - Voltaje de Operación: 3V - 6V DC
 - Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
 - Precisión de medición de temperatura: $\leq \pm 0.5$ °C
 - Resolución Temperatura: 0.1°C
 - Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
 - Precisión de medición de humedad: 2% RH
 - Resolución Humedad: 0.1%RH
 - Tiempo de sensado: 2s
 - Interface digital: Single-bus (bidireccional)
 - Modelo: AM2302
 - Dimensiones: 20*15*8 mm
 - Peso: 3 gr.
 - Carcasa de plástico blanco” (<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>)
- ❖ “Módulo Relay SSR 1CH 5VDC: Este driver permite controlar el encendido/apagado de equipos de corriente alterna dentro de la cámara de vapor, sus especificaciones técnicas son:
 - Modelo SSR: OMRON G3MB-202P-DC5
 - Voltaje de Alimentación: 5V DC
 - Corriente de trabajo: 12.5 mA
 - Voltaje de control: ON (0V-1.5V) OFF (2.5V-5V)
 - Voltaje de la Carga: 240VAC máx.
 - Corriente de la carga: 2A máx.

- N° de Relays: 1
 - Salida tipo Normalmente Abierto (NO)
 - Tiempo de acción: 1 ms
 - SSR con Cruce por Cero” (<https://naylampmechatronics.com/drivers/338-modulo-ssr-1ch-5vdc.html>)
- ❖ “Humidificador Ultrasónico 24V DC: Este actuador es uno de los responsables de generar vapor dentro de la cámara de curado, sus especificaciones técnicas son:
- Voltaje de Operación: 24V DC
 - Consumo de corriente: 800mA
 - Líquido de trabajo: Agua
 - Funciona sin necesidad de calor, ni de químicos
 - Diseño sumergible
 - Longitud del cable: 30cm
 - Carcasa de plástico negro
 - Diámetro: 36mm
 - Altura: 25mm” (<https://naylampmechatronics.com/actuadores/266-humidificador-ultrasonico-24vdc.html>)
- ❖ “Convertidor voltaje DC-DC step-up 2.5A XL6009: Este convertidor tiene como función entregar un voltaje de salida constante superior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga. Soporta corrientes de salida de hasta 2.5A, voltaje de entrada entre 5V a 32V y voltaje de salida entre 7V a 32V. El voltaje de salida se selecciona mediante un potenciómetro multivuelta, sus especificaciones técnicas son:
- Convertidor DC-DC Boost: XL6009
 - Voltaje de entrada: 5V a 32V DC
 - Voltaje de salida: 7V a 35V DC
 - V. Salida ajustable (Regulable por trimmer)
 - Corriente de salida: 2.5A máx. (usar disipador para corrientes mayores a 2A)
 - Potencia de salida: 10W

- Eficiencia de conversión: 94% máx.
 - Regulación de carga: $S(I) \leq 0.5\%$.
 - Regulación de voltaje: $S(u) \leq 0.5\%$.
 - Frecuencia de Trabajo: 400KHz
 - Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida)
 - Protección de corto circuito: NO
 - Protección limitadora de corriente: SI (4A)
 - Protección frente a inversión de polaridad: NO
 - Dimensiones: 43mm*20mm*14mm” (<https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/125-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2p5a-xl6009.html>)
- ❖ “Convertidor voltaje DC-DC step-down 3A LM2596: Este convertidor tiene como función entregar un voltaje de salida constante inferior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga. Soporta corrientes de salida de hasta 3A, voltaje de entrada entre 4.5V a 40V y voltaje de salida entre 1.23V a 37V. El voltaje de salida se selecciona mediante un potenciómetro multivuelta, sus especificaciones son:
- Convertidor DC-DC Buck: LM2596
 - Voltaje de entrada: 4.5V a 40V DC
 - Voltaje de salida: 1.23V a 37V DC
 - V. salida ajustable (el voltaje de entrada debe tener al menos 1.5V más que la salida).
 - Corriente de Salida: máx. 3A, 2.5A recomendado (usar disipador para corrientes mayores a 2A).
 - Potencia de salida: 25W
 - Eficiencia de conversión: 92%
 - Regulación de carga: $S(I) \leq 0.5\%$.
 - Regulación de voltaje: $S(u) \leq 0.5\%$.
 - Frecuencia de Trabajo: 150KHz
 - Ripple en la salida: 30mV (máx.) 20M bandwidth
 - Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida)

- Protección de corto circuito: SI (hasta 5A)
 - Protección limitadora de corriente: SI
 - Protección frente a inversión de polaridad: NO
 - Dimensiones: 43mm*21mm*13mm” (<https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>)
- ❖ “Fuente de poder SWITCHING 12V a 60W: Esta fuente sirve de alimentación para los distintos dispositivos del sistema de la cámara de vapor, sus especificaciones son:
- Lugar del origen: Lima, Perú
 - Marca: Peptel
 - Número de Modelo: PE-60-12
 - Voltaje de entrada: 100 – 240V AC
 - Voltaje de salida: 12V DC
 - Corriente de salida: 5A
 - Potencia de salida: 60W
 - Frecuencia de salida: 50 – 60HZ
 - Tipo de conector: Bornes con tornillos
 - Tipo de salida: Solo” (<https://peptel.com.pe/product/fuente-de-poder-switching-12v-5a-60w/>)
- ❖ “Sensor de humedad de suelo F’C-28: Este sensor fue utilizado para regular la cantidad de agua que ingresaba dentro de la cámara, dicha agua era consumida con el objetivo de generar vapor, sus especificaciones técnicas son:
- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC (VCC)
 - Corriente de operación: 35mA
 - Voltaje de señal de salida analógico (AO) : 0 a VCC
 - Voltaje de señal de salida digital (DO) : 3.3V/5V TTL
 - Opamp LM393 en modo comparador, umbral (threshold) regulable por potenciómetro
 - Superficie de electrodo: Estaño

- Incluye: Electrodo, Placa y cable de conexión
- Vida útil electrodo sumergido: 3 a 6 meses
- Dimensiones YL-38: 30*16 mm
- Dimensiones YL-69: 60*20*5 mm” (<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-de-suelo-f°c-28.html>)
- ❖ “Manguera de ingreso para entrada de agua para lavadora de 3m y tubo de abasto para lavatorio: La manguera de lavadora tuvo la función de conectarse al caño de agua, luego a la válvula solenoide, luego la válvula se conectó al tubo de abasto, este conjunto sirvió para suministrar agua a la cámara de vapor.
- ❖ “Válvula solenoide de 1/2” ingreso y salida 220 VAC: Esta pequeña válvula tuvo la función junto al sensor de humedad de suelo de cerrar o abrir el paso del agua a la cámara de vapor, sus especificaciones técnicas son:
 - Material: plástico y metal
 - Tensión nominal: 12VDC
 - Clase de aislamiento: Clase E
 - Fluido aplicable: Agua (0-55 C)
 - Presión del agua: 0,02-0.8MPa
 - Presión (Mpa): 0,02/0,1/0,3/0,8
 - Caudal (L/min): > 5>11>18>32 (presión de agua correspondiente)
 - Vida útil: más de 100.000 veces” (https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-621924320-valvula-solenoide-12-in.ada-ingreso-y-salida-220-vac-_JM)
- ❖ Micro SD 32GB: Esta micro memoria sirvió para almacenar los datos y Gráficas del curado dentro de la cámara, su capacidad es de 32GB.
- ❖ Resistencia de cocina eléctrica de 1000 W: Se utilizaron tres cocinas con resistencias eléctricas de 1000 W, dichas cocinas funcionaban por radiación, permitiendo una mejor transferencia de calor.
- ❖ Ventilador para incubadora industrial 100 a 600 huevos 220 V: Este ventilador sirvió para generar turbulencia dentro de la cámara de vapor, con el objetivo de mantener la humedad dentro de la cámara a un mínimo del 95%.

2.2.32. Ensayo de Curado con Agua Tradicional

Este ensayo está regido por las normativas:

- “ASTM C 192/C 192M – 02: Práctica estándar para elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto para ensayo”
- “NTP 334.077: Ambientes, gabinetes y tanques de almacenamiento utilizados en los ensayos de cemento y concreto. Requisitos”
- “NTP 339.183: Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio”

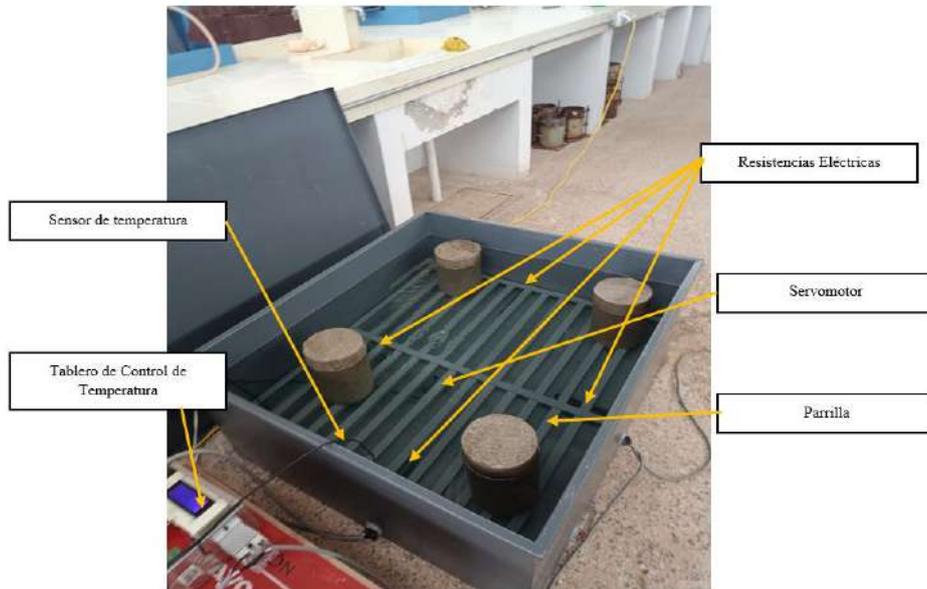
2.2.33. Equipos Específicos para Curado con Agua Tradicional

“Estanque Metálico de Curado: Esta cámara se elaboró de acuerdo con la NTP 334.077 de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Deberá tener un dispositivo de referencia para medir la temperatura, este debe ser exacto y legible a 0.5 °C.
- Deberá tener un registrador de temperatura cada 15 minutos o menos y debe ser exacto y legible a 1 °C.
- Deberá tener termómetros de registro, además es opcional el tener un dispositivo que registre la humedad.
- La humedad relativa dentro de la cámara en todo momento tendrá un mínimo de 95%.
- La temperatura dentro de la cámara será de 23 °C ± 2 °C” (NTP 334.077)

Ilustración 6

Detalle de los componentes del recipiente metálico para el curado tradicional



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7

Detalle de los parámetros de la pantalla de datos del recipiente metálico para el curado tradicional



Nota. Fuente: Elaboración propia

2.2.34. Especificaciones de las Partes de la Cámara de curado con agua a 23°C

- ❖ Estructura de acero negro: La estructura del recipiente fue hecho de acero negro
- ❖ Resistencias de 1200W: Se utilizaron 4 resistencias de 1200 W con el objetivo de calentar el agua dentro del recipiente metálico.

- ❖ “Relé de estado sólido DC- AC 40 a 480 VAC máx. entrada 3 - 32 VDC salida 90 – 480 VAC: Este tipo de relé o relay permitió controlar cargas de corriente alterna por medio de pequeños voltajes en DC.” ([https://hifisac.com/shop/ssr-40da-h-rele-de-estado-solido-dc-ac-40a-a-480vac-max-entrada-3-32vdc-salida-90-480vac-2574#attr=\)](https://hifisac.com/shop/ssr-40da-h-rele-de-estado-solido-dc-ac-40a-a-480vac-max-entrada-3-32vdc-salida-90-480vac-2574#attr=))
- ❖ “Display alfanumérico: Este display de 7 Segmentos de tipo Ánodo Común se usó en aplicaciones para mostrar datos o valores de mediciones o estado de procesos.” (<https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/display-alfanumerico-dual-anodo-comun/>)
- ❖ Microcontrolador STM32: Este fue el procesador del recipiente metálico encargado de monitorizar la temperatura del agua, sus especificaciones técnicas son:
 - Frecuencia Máx. de Funcionamiento: 64MHz
 - Tamaño de la Memoria de Programa: 512KB
 - Número de Pines: 48Pins
 - Núm. de Entradas/Salidas: 30Entradas/Salidas
 - Interfaces: I2C, SPI, USART
 - Tamaño de Memoria RAM: 96KB
 - Canales del ADC: 10Channels
 - Tensión de Alimentación Mín.: 2V
 - Tensión de Alimentación Máx.: 3.6V
 - Temperatura de Trabajo Mín.: -10°C
 - Temperatura de Funcionamiento Máx.: 85°C
 - Nivel de Sensibilidad a la Humedad (MSL): MSL 3 - 168 horas
(<https://es.farnell.com/stmicroelectronics/stm32wb30ceu5a/mcu-32bit-stm32-64mhz-ufqfpn-48/dp/3547798>)
- ❖ “SS relé estado sólido de 2 canales: Estos dispositivos semiconductores tuvieron la función de bloquear o permitir que la corriente de carga fluya dependiendo de la señal de entrada al relé.
 - Relé (Relay) de estado sólido De 2 canales
 - Referencia G3MB-202P
 - Energía de entrada 5V DC (160MA)
 - Entrada de voltaje de la señal de control 0-1.5V estado ON / 2.5-5V estado OFF

- Corriente de trabajo 12.5mA
 - Voltaje de disparador 0-1.5V
 - Corriente de disparo 2 mA
 - Voltaje 5V
 - Corriente en reposo 0 mA” (<https://www.electromania.pe/producto/ssr-rele-estado-solido-de-2-canales/>)
- ❖ “Sensor de temperatura digital DS18B20: Este sensor de temperatura tuvo la función de monitorear la temperatura del agua del recipiente metálico, sus especificaciones técnicas son:
- ❖ Voltaje de operación: 3.0V – 5.5V DC
 - ❖ Rango de medición: -55°C hasta +125°C (-67°F a +257°F)
 - ❖ Precisión en el rango de -10°C hasta +85°C: ±0.5°C.
 - ❖ Resolución ADC seleccionable de 9-12 bits
 - ❖ Cables: Rojo (+VCC), Blanco (DATA 1-Wire), Negro (GND)
 - ❖ Protocolo 1-Wire, solo necesita 1 pin para comunicarse
 - ❖ Identificación única de 64 bits
 - ❖ Cubierta de acero inoxidable de alta calidad, previene la oxidación de la sonda
 - ❖ Sonda a prueba de agua
 - ❖ Longitud de cable: 1m
 - ❖ Dimensiones sonda: D5mm*L50mm
 - ❖ Peso: 23 gramos” (<https://naylorlampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/16-sensor-de-temperatura-digital-ds18b20.html>)
- ❖ “Servomotor SG-5010: Este dispositivo fue el encargado de generar turbulencia en el agua dentro del recipiente metálico, sus especificaciones técnicas son:
- Stall Torque: 3.1Kg-cm (4.8V); 6.5Kg-cm (6.0V)
 - Velocidad de Funcionamiento: 0.17seg/60° (4.8V sin carga); 0.4seg/60° (6V)
 - Ancho del pulso: entre 650uS y 2350uS
 - Dimensiones: 40.2*20.2*43.2 mm

- Temperatura de Trabajo: 0°C hasta +55°C
 - Dead Band Width: 20useg
 - Voltaje de Operación: 4.8-6 Volts
 - Funciona como reemplazo de Futaba 3003
 - Engranajes de Nylon
 - Cable de conexión de 150mm
 - Utilizado para ala fija de avión, coche rc, robótica.”
(<https://naylampmechatronics.com/servomotores/22-servo-sg-5010-6kg.html>)
- ❖ Pintura epóxica: Dado que la cámara fue hecha de acero negro se le aplica un recubrimiento de pintura epóxica para reducir la oxidación.

3. Capítulo III: Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, aplicada y cuantitativa.

“Es de tipo experimental porque involucra el diseño y ejecución de experimentos controlados en un laboratorio, donde se someterán probetas de concreto a diferentes condiciones de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua. Estos experimentos permitirán evaluar el efecto de las variables independientes en la resistencia a compresión del concreto y establecer conclusiones basadas en evidencia empírica.” (Hernández Sampieri, 2014)

“Es de tipo aplicada se centra en la resolución de problemas específicos en la práctica profesional o en la mejora de procesos y técnicas en un campo determinado.” (Hernández Sampieri, 2014)

“Es de tipo cuantitativa porque se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar la relación entre variables y generar conclusiones basadas en evidencia empírica, en este estudio, se emplearán técnicas cuantitativas para medir la resistencia a compresión del concreto en función de las variables independientes (temperatura y tiempo de curado con vapor de agua). Además, se utilizarán herramientas estadísticas para analizar los datos obtenidos y determinar si existe una correlación significativa entre las variables en estudio.” (Hernández Sampieri, 2014)

3.2. Nivel de Investigación

Consta de dos niveles, descriptiva y correlacional.

“En primer lugar, es descriptiva porque se centra en describir y documentar las características de un fenómeno o situación en estudio. En este caso, la investigación descriptiva permitirá caracterizar el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto sometido a diferentes condiciones de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua.” (Hernández Sampieri, 2014)

“En segundo lugar, es correlacional porque se enfoca en establecer relaciones entre variables y determinar si existe una asociación significativa entre ellas. En este estudio, la investigación correlacional buscará identificar si hay una relación entre la temperatura y el tiempo de curado con vapor de agua y la resistencia a compresión del concreto. A través del análisis estadístico de los datos recopilados, se evaluará si las variables independientes influyen en la variable dependiente y, de ser así, cuál es la naturaleza de esa relación. La investigación correlacional permitirá establecer las condiciones óptimas de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua para alcanzar la resistencia a compresión deseada.” (Hernández Sampieri, 2014)

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población está constituida por el concreto resultante a partir del diseño de mezclas para obtener un concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², cuya delimitación poblacional es la siguiente:

- Tipo de Cemento: Cemento Multipropósito IP Yura
- Agregado Grueso: Extraído de la Cantera de Vicho
- Agregado Fino: Extraído de la Cantera de Cunyac
- Agua: Obtenido de las Instalaciones del laboratorio de suelos UNSAAC (SEDA Cusco)

3.3.2. Muestra

Las muestras están conformadas por las briquetas o testigos de concretos resultantes, con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura que serán sometidas a diferentes combinaciones de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua, se tendrá un total de 106 briquetas.

Las características de los materiales son las siguientes:

- Cemento Multipropósito de Alta Durabilidad Yura IP
- Agregado fino MF= 3.03
- Agregado grueso TMN= 3/4"
- Agua de SEDA Cusco

3.3.2.1. Técnica de Muestreo

La técnica de muestreo utilizada es probabilística ya que todos los miembros de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos y desarrollar las mismas propiedades bajo las mismas condiciones.

3.3.2.2. Tamaño Muestral

El tamaño muestral es de 106 briquetas de concreto de acuerdo con el siguiente detalle:

Tabla 6

Cantidad total de muestra

Briquetas	Cantidad
Briquetas cilíndricas $f'c=210$ kgf/cm ² - Diseño de mezclas	17
Briquetas cilíndricas $f'c=280$ kgf/cm ² - Diseño de mezclas	17
Briquetas cilíndricas $f'c=210$ kgf/cm ² - Curado tradicional	8
Briquetas cilíndricas $f'c=280$ kgf/cm ² - Curado tradicional	8
Briquetas cilíndricas $f'c=210$ kgf/cm ² - Curado a vapor a 50°C	12
Briquetas cilíndricas $f'c=280$ kgf/cm ² - Curado a vapor a 50°C	12
Briquetas cilíndricas $f'c=210$ kgf/cm ² - Curado a vapor a 70°C	16
Briquetas cilíndricas $f'c=280$ kgf/cm ² - Curado a vapor a 70°C	16
Total	106

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.4. Selección de Materiales

3.4.1. Cemento

El cemento para emplear es el Cemento Multipropósito de Alta Durabilidad Yura IP, con la finalidad de obtener las resistencias de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², el cual es comprado de Promart Cusco, ubicado en el Real Plaza Cusco - Av. Collasuyo cuadra 10, Cusco 08003, cuya ubicación más detallada se muestra a continuación:

Ilustración 8

Ubicación geográfica de la tienda de cemento PROMART



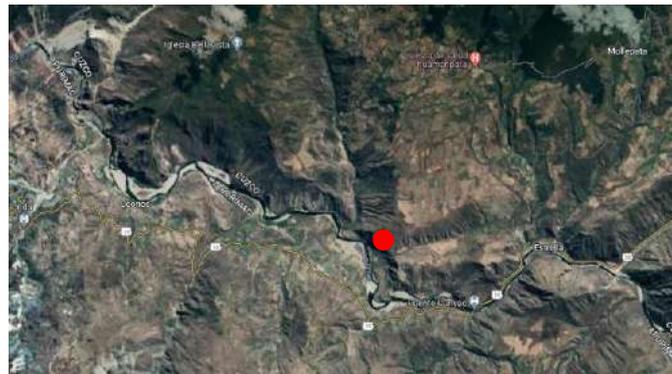
Nota. Fuente: Google Maps

3.4.2. Agregado Fino

Los agregados finos provenientes de la cantera de Cunyac serán seleccionados con el mismo criterio de representatividad y calidad. Se evaluará su granulometría, forma, textura y composición para asegurar la coherencia en la mezcla.

Ilustración 9

Ubicación geográfica de la cantera de Cunyac



Nota. Fuente: Google Maps

3.4.3. Agregado Grueso

Se seleccionarán agregados gruesos provenientes de la cantera de Vicho, buscando una representación de la fuente de agregados típicamente utilizados en la región o área específica de aplicación del concreto. Se considerará su granulometría, resistencia y calidad.

Ilustración 10

Ubicación geográfica de la cantera de Vicho



Nota. Fuente: Google Maps

3.4.4. Agua

El agua fue extraída de las instalaciones del Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, cuya evaluación se muestra a continuación:

Ilustración 11

Análisis fisicoquímico del agua del laboratorio de mecánica de suelos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
Av. de la Cultura 733 - Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú

UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
INFORME DE ANÁLISIS
NOC380-18-LAQ

SOLICITANTE: URUTIA HUAMANI PETHERSON
MUESTRA : AGUA
FUENTE : POTABLE/LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS UNSAAC
FECHA : 01/08/2018

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

pH	7.36
Cloruros ppm	18.30
Sulfatos ppm	74.20
Alcalinidad ppm NaHCO ₃	127.80
Materia Orgánica ppm	0.74
Sólidos suspendidos ppm	0.04
Sales solubles totales ppm	364.20

Cusco, 02 de Agosto 2018

UNSAAC

Nota. Fuente: Quispe, Gean y Urrutia, Petherson (2019)

3.5. Determinación de las Propiedades de los Agregados

3.5.1. Agregado Grueso

3.5.1.1. Granulometría

3.5.1.1.1. Muestra

Según recomendaciones de la NTP 400.010 haciendo referencia a la tabla N°8, el tamaño de muestra será de un mínimo de 25 kg correspondiente a un tamaño máximo nominal del agregado de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ”).

Tabla 7

Medida de las muestras

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa mínima aproximada para la muestra de campo (kg)
Agregado grueso	
9.50	10
12.50	15
19.00	25
25.00	50
37.50	75

Nota. Fuente: Adaptado de la Norma NTP 400.010

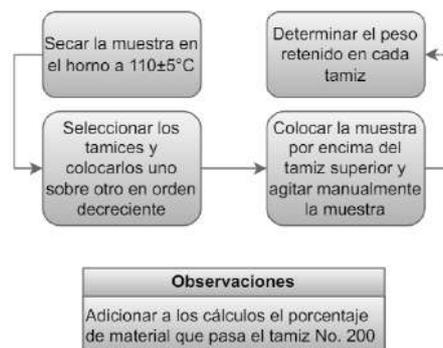
Haciendo la reducción de muestra del agregado siguiendo la norma “ASTM C 702 – 93”, se realizó el cuarteo manual de la muestra de la siguiente manera

- Primero se tiende plástico sobre superficie para cuarteo del material
- Luego se mezcla el material sobre el plástico
- Posteriormente se apila el material con la intención de formar un cono
- Después se aplana el cono formado por apilamiento
- Luego de dividir el material en 4, se retira las 2/4 partes opuestas incluyendo el material fino. Esta muestra reducida fue la ensayada en laboratorio.

3.5.1.1.2. Procedimiento (diagrama)

Ilustración 12

Diagrama del procedimiento del ensayo de granulometría de agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

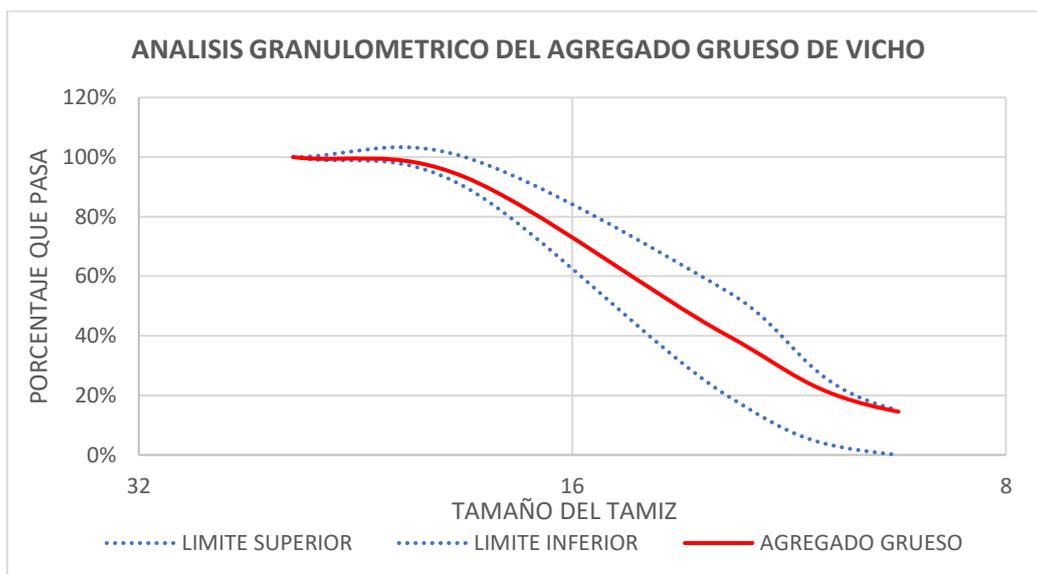
3.5.1.1.3. Cálculos y Resultados

Se realiza el cálculo de los porcentajes retenidos en cada tamiz incluyendo la masa del material más fino que la malla N°200

Tabla 8*Análisis granulométrico del agregado grueso de Vicho*

Material ensayado		Agregado grueso de la cantera de Vicho						
Fecha de Ensayo		14/11/2023						
Peso de la muestra		6508.64 g						
Tamaño del tamiz	in.	mm	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Porcentaje acumulativo que Pasa	Huso Granulométrico N°6 NTP 400.037	
							Límite superior	Límite inferior
1"		25	0	0.00%	0.00%	100.00%	100	100
3/4"		19	437.98	6.73%	6.73%	93.27%	100	90
1/2"		12.5	3452.99	53.05%	59.78%	40.22%	55	20
3/8"		9.5	1673.3	25.71%	85.49%	14.51%	15	0
No. 4		4.75	880.26	13.52%	99.02%	0.98%	5	0
Cazuela			64.11	0.99%	100.00%	0.00%	-	-
Total			6508.64					
Pérdida				0.00%				
Tamaño máximo del agregado					1"			
Tamaño máximo nominal del agregado					3/4"			
Módulo de fineza					6.91			

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13*Análisis granulométrico del agregado grueso de vicho*

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14

Agregado grueso debidamente tamizado y distribuido en sus respectivas mallas



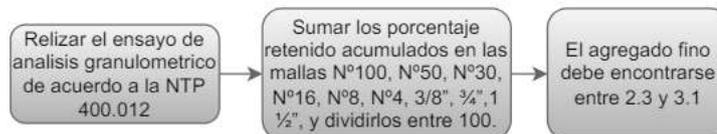
Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.5.1.2. Módulo de Fineza

3.5.1.2.1. Procedimiento (Diagrama)

Ilustración 15

Diagrama del procedimiento del ensayo de módulo de fineza del agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.2.2. Cálculos y Resultados

Según la norma NTP 400.012, se sumará el porcentaje retenido acumulado de los tamices N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8", 3/4", 1 1/2", (-----)

MF

$$= \frac{\%No100 + \%No50 + \%No30 + \%No16 + \%No8 + \%No4 + \% \frac{3}{8}'' + \% \frac{3}{4}'' + \% 1 \frac{1}{2}''}{100}$$

El módulo de fineza al 0,01 es (6.91).

3.5.1.3. Contenido de Humedad

3.5.1.3.1. Muestra

Se utilizará para el ensayo una muestra según la siguiente tabla

Tabla 9

Tamaño de la muestra de agregado

Tamaño de la muestra de agregado		
Tamaño de la muestra de agregado		Tamaño de la muestra de agregado
(mm)	(in.)	(kg)
4.75	(Nro. 4)	0.5
9.5	3/8	1.5
12.5	1/2	2
19	3/4	3
25	1	4

Nota. La tabla especifica el tamaño mínimo de la muestra de agregado para el tamaño máximo nominal de 19mm. Fuente: Norma NTP 339.185

Se evitará la pérdida de humedad de la muestra antes del ensayo.

El espesor de la muestra no debe ser mayor a un quinto de la menor dimensión lateral del recipiente

3.5.1.3.2. Procedimiento

Ilustración 16

Diagrama del procedimiento del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.3.3. Cálculos y Resultados

Se utilizará la siguiente expresión para el cálculo del contenido de humedad evaporable del agregado

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra (%)

W = Masa de la muestra húmeda original (g)

D = Masa de la muestra seca (g)

El contenido de humedad superficial se calcula restando la absorción del contenido total de humedad evaporable del agregado.

Tabla 10

Contenido de humedad del agregado grueso de Vicho

Descripción	M1	M2	M3
Peso del envase (gr)	318.08	305.58	314.86
Peso del envase + Muestra húmeda (gr)	4322.39	2847.26	3549.25
Peso de la muestra húmeda (gr)	4004.31	2541.68	3234.39
Peso del envase + Muestra seca (gr)	4293.92	2829.8	3522.84
Peso de la muestra seca (gr)	3975.84	2524.22	3207.98
Contenido de Humedad (%)	0.72%	0.69%	0.82%
Contenido de Humedad Promedio (%)		0.74%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.4. Pasante la Malla N°200

3.5.1.4.1. Muestra

Se mezcló la muestra y se redujo la cantidad de acuerdo con la norma NTP 400.010 y NTP 400.043. La cantidad de la muestra que se utilizó fue de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 11

Cantidad mínima de muestra

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4.75 mm (No. 4) o más pequeño	300
9.5 mm (3/8 in.)	1000
19 mm (3/4 in.)	2500
37.5 mm (1 1/2 in.) o más grande	5000

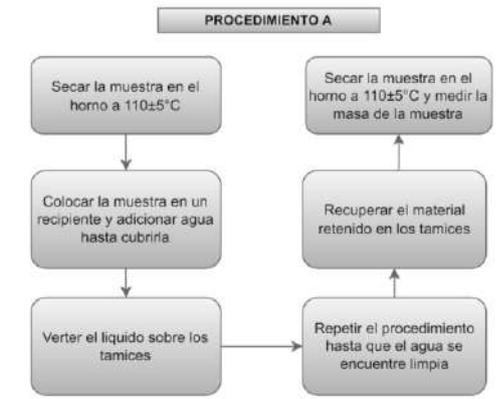
Nota. Según la norma NTP 400.018 la cantidad mínima para el agregado utilizado en la presente investigación es de 2500g. Fuente: NTP 400.018

3.5.1.4.2. Procedimiento

Se siguió el procedimiento A de la norma NTP 400.018

Ilustración 17

Diagrama del procedimiento del ensayo de pasante de malla N°200 para el agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.4.3. Cálculos y Resultados

Se realizan los cálculos de acuerdo con la siguiente fórmula extraída de la NTP 400.018

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

A: Porcentaje del material fino que pasa el tamiz N°200

P₁: Peso de la muestra previo al ensayo

P₂: Peso de la muestra luego del ensayo

Tabla 12

Porcentaje que pasa la malla 200 (%)

Descripción	M1	M2	M3
Masa antes del lavado			
Peso de la muestra seca (gr)	3208.78	3305.55	3150.69
Masa luego del lavado			
Peso de la muestra seca (gr)	3168.32	3264.21	3110.5
Porcentaje que pasa la malla 200 (%)	1.26%	1.25%	1.28%
Porcentaje promedio que pasa la malla 200 (%)		1.26%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.5. Peso Específico

3.5.1.5.1. Muestra

Se seguirá las indicaciones de la norma NTP 400.043 para reducir la muestra, y se desechará todo el material que pase el tamiz N°4.

La masa mínima que se consideró fue de 3kg de acuerdo con la siguiente tabla

Tabla 13

Masa mínima de muestra según TMN

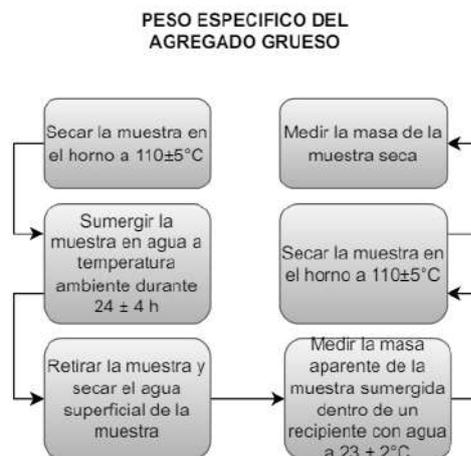
Tamaño máximo nominal		Masa mínima de muestra de ensayo	
(mm)	(in.)	kg	lb
12.5	1/2	2	4.4
19	3/4	3	6.6
25	1	4	8.8

Nota. En la tabla se resalta la masa mínima correspondiente al tamaño máximo nominal del agregado grueso utilizado que es 19mm. Fuente: NTP 400.021

3.5.1.5.2. Procedimiento

Ilustración 18

Diagrama del procedimiento del ensayo del peso específico del agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.5.3. Cálculos y Resultados

Se utilizaron las siguientes formulas:

$$\diamond \text{ Densidad relativa } OD = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{❖ Densidad relativa SSD} = \frac{B}{B-C}$$

$$\text{❖ Densidad relativa aparente} = \frac{A}{A-C}$$

$$\text{❖ Densidad OD } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{997.5 \times A}{B-C}$$

$$\text{❖ Densidad SSD } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{997.5 \times B}{B-C}$$

$$\text{❖ Densidad aparente } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{997.5 \times A}{A-C}$$

$$\text{❖ Absorción (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

Donde:

A: masa secada al horno (g)

B: masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

C: masa aparente de la muestra saturada (g)

“Los resultados de la densidad relativa serán reportados con aproximación a 0.01, la densidad se reportará con aproximación a 10kg/m³, la absorción se reportará con aproximación a 0.1%.” (NTP 400.021)

Tabla 14*Peso Específico del Agregado grueso de Vicho*

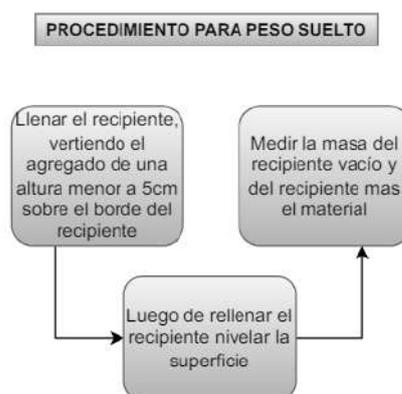
Datos	M1	M2	M3
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	3181.75	3340.80	3085.30
Peso de la muestra sumergida (gr)	1930.60	2026.95	1872.50
Peso de la muestra seca	3127.29	3282.50	3033.61
Peso específico de masa	2.50	2.50	2.50
Peso específico (sss)	2.54	2.54	2.54
Peso específico aparente	2.61	2.61	2.61
Absorción (%)	1.74%	1.78%	1.70%
Absorción promedio (%)		1.74%	
Densidad OD	2493.28	2492.14	2495.07
Densidad OD promedio		2493.50	
Densidad SSD	2536.70	2536.40	2537.59
Densidad SSD promedio		2536.90	
Densidad Aparente	2606.75	2607.86	2606.15
Densidad Aparente promedio		2606.92	

Nota. Fuente: Elaboración Propia**3.5.1.6. Peso Unitario Suelto****3.5.1.6.1. Muestra**

La muestra debe estar secada a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y ser 125% a 200% el volumen del recipiente

3.5.1.6.2. Procedimiento**Ilustración 19**

Diagrama del procedimiento del peso unitario suelto para el agregado grueso

*Nota.* Fuente: Elaboración propia**3.5.1.6.3. Cálculos y Resultados**

Densidad de masa

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

G = Masa del agregado y recipiente (kg)

T = Masa del recipiente (kg)

V = Volumen del recipiente (m³)

Para calcular la densidad de masa para el agregado saturado superficialmente seco se usó la siguiente formula:

$$M_{SSS} = M \left(1 + \frac{A}{100} \right)$$

Donde:

M_{SSS} = Densidad de masa en condición SSD (kg/m³)

A = Porcentaje de absorción (%)

Para calcular el porcentaje de vacíos se usó la siguiente formula:

$$\%Vacios = 100 \{ (S \times W) - M \} / (S \times W)$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

S = Gravedad especifica de masa (Base seca) obtenida por la NTP 400.022

W = Densidad del agua 998 kg/m³

Tabla 15*Peso unitario suelto del Agregado grueso de Vicho*

	N°1	N°2	N°3
Peso del recipiente + agregado grueso (kg)	9.40	9.30	9.40
Peso del recipiente (kg)	6.40	6.40	6.40
Volumen del recipiente (m3)	0.00215	0.00215	0.00215
Factor del recipiente (m-3)	464.88	464.88	464.88
Peso unitario suelto (kg/m3)	1394.64	1348.15	1394.64
Peso unitario suelto promedio (kg/m3)		1379.15	
Absorción	1.74%	1.74%	1.74%
Peso unitario suelto saturado Msss (kg/m3)	1418.92	1371.62	1418.92
Peso unitario suelto saturado Msss Promedio (kg/m3)		1403.15	
Peso específico aparente	2.61	2.61	2.61
Densidad del agua (kg/m3)	998.00	998.00	998.00
Porcentaje de vacíos (%)	46.53%	48.31%	46.53%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		47.12%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.7. **Peso Unitario Compactado**

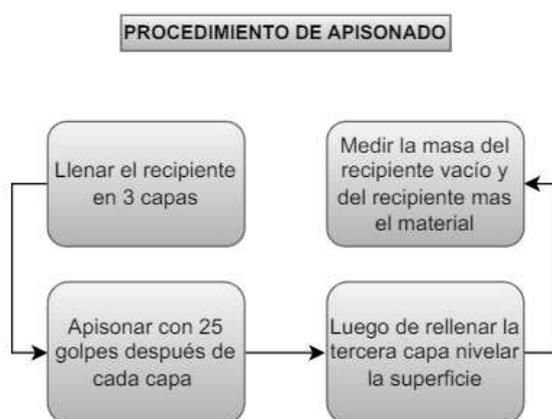
3.5.1.7.1. **Muestra**

La muestra debe estar secada a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y ser 125% a 200% el volumen del recipiente

3.5.1.7.2. **Procedimiento**

Ilustración 20

Diagrama del procedimiento para el ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.7.3. **Cálculos y Resultados**

Densidad de masa

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

G = Masa del agregado y recipiente (kg)

T = Masa del recipiente (kg)

V = Volumen del recipiente (m³)

Para calcular la densidad de masa para el agregado saturado superficialmente seco se usó la siguiente formula:

$$M_{SSS} = M \left(1 + \frac{A}{100} \right)$$

Donde:

M_{SSS} = Densidad de masa en condición SSD (kg/m³)

A = Porcentaje de absorción (%)

Para calcular el porcentaje de vacíos se usó la siguiente formula:

$$\%Vacios = 100 \{ (S \times W) - M \} / (S \times W)$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

S = Gravedad especifica de masa (Base seca) obtenida por la NTP 400.022

W = Densidad del agua 998 kg/m³

Tabla 16*Peso unitario Compactado del Agregado grueso de Vicho*

	N°1	N°2	N°3
Peso del recipiente + agregado grueso (kg)	9.70	9.70	9.70
Peso del recipiente (kg)	6.40	6.40	6.40
Volumen del recipiente (m3)	0.00215	0.00215	0.00215
Factor del recipiente (m-3)	464.88	464.88	464.88
Peso unitario compactado (kg/m3)	1534.11	1534.11	1534.11
Peso unitario compactado promedio (kg/m3)		1534.11	
Absorción	1.74%	1.74%	1.74%
Peso unitario compactado saturado Msss (kg/m3)	1560.81	1560.81	1560.81
Peso unitario compactado saturado Msss Promedio (kg/m3)		1560.81	
Peso específico aparente	2.61	2.61	2.61
Densidad del agua (kg/m3)	998.00	998.00	998.00
Porcentaje de vacíos (%)	41.18%	41.18%	41.18%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		41.18%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.8. Absorción

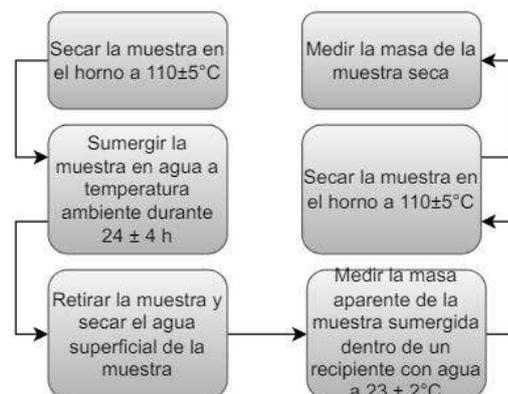
3.5.1.8.1. Muestra

La muestra utilizada será de acuerdo con la norma NTP 400.010 y no se utilizará el material que pase el tamiz N°4

3.5.1.8.2. Procedimiento

Ilustración 21

Diagrama del procedimiento para el ensayo de absorción de agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.8.3. Cálculos y Resultados

Se utilizaron las siguientes formulas:

- ❖ $Densidad\ relativa\ OD = \frac{A}{B-C}$
- ❖ $Densidad\ relativa\ SSD = \frac{B}{B-C}$
- ❖ $Densidad\ relativa\ aparente = \frac{A}{A-C}$
- ❖ $Densidad\ OD\ (\frac{kg}{m^3}) = \frac{997.5 \times A}{B-C}$
- ❖ $Densidad\ SSD\ (\frac{kg}{m^3}) = \frac{997.5 \times B}{B-C}$
- ❖ $Densidad\ aparente\ (\frac{kg}{m^3}) = \frac{997.5 \times A}{A-C}$
- ❖ $Absorcion\ (\%) = \frac{B-A}{A} \times 100$

Donde:

A: masa secada al horno (g)

B: masa de la muestra saturada superficialmente seca (g)

C: masa aparente de la muestra saturada (g)

Los resultados de la densidad relativa serán reportados con aproximación a 0.01, la densidad se reportará con aproximación a 10kg/m³, la absorción se reportará con aproximación a 0.1%

Tabla 17

Absorción del Agregado grueso de Vicho

Datos	M1	M2	M3
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	3181.75	3340.80	3085.30
Peso de la muestra sumergida (gr)	1930.60	2026.95	1872.50
Peso de la muestra seca	3127.29	3282.50	3033.61
Peso específico de masa	2.50	2.50	2.50
Peso específico (sss)	2.54	2.54	2.54
Peso específico aparente	2.61	2.61	2.61
Absorción (%)	1.74%	1.78%	1.70%
Absorción promedio (%)	1.74%		

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.9. Ensayo de Abrasión

3.5.1.9.1. Muestra

La muestra utilizada será de 5kg según la norma NTP 400.019.

Nota 1: La norma mencionada es aplicada para agregados gruesos con tamaño máximo nominal menores a 1 ½". "El porcentaje de desgaste debe ser menor al 50%." (NTP 400.037)

3.5.1.9.2. Procedimiento

Ilustración 22

Diagrama del procedimiento para el ensayo de abrasión de agregado grueso



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.1.9.3. Cálculos y Resultados

Se calcula la pérdida de masa con respecto a la masa inicial ensayada, en porcentaje.

Tabla 18

Resultados del ensayo de abrasión del agregado grueso de Vicho

Agregado grueso de la cantera de Vicho	
Gradación de la muestra	Tipo B
Masa entre la malla ¾" y la malla ½" (gr)	2500.38
Masa entre la malla ½" y la malla 3/8" (gr)	2500.12
Masa total para el ensayo (gr)	5000.5
Masa retenida en malla N°12	3842.18
% Desgaste	23.16%

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.5.2. Agregado Fino

3.5.2.1. Granulometría

3.5.2.1.1. Muestra

Según recomendaciones de la NTP 400.010 haciendo referencia a la tabla N°33, el tamaño de muestra será de más de 10 kg.

Tabla 19

Masa mínima para muestra de campo

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa mínima aproximada para la muestra de campo (kg)
Agregado fino	
2.36	10
4.76	10

Nota. Para el agregado fino utilizado la cantidad mínima de muestra es de 10 kg. Fuente: NTP 400.012

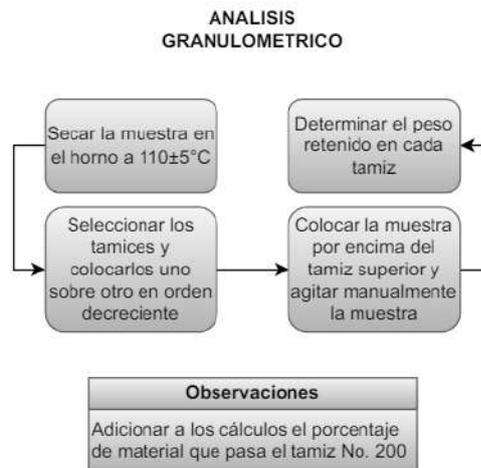
Haciendo la reducción de muestra del agregado siguiendo la norma “ASTM C 702 – 93”, se realizó el cuarteo manual de la muestra como se muestra en las imágenes de acuerdo con el siguiente esquema:

La muestra será la que resulte después de realizar el ensayo estipulado en la NTP 400.018

3.5.2.1.2. Procedimiento

Ilustración 23

Diagrama del procedimiento para el ensayo de granulometría del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 24

Resultado del análisis granulométrico del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.5.2.1.3. Cálculos y Resultados

Se realiza el cálculo de los porcentajes retenidos en cada tamiz incluyendo la masa del material más fino que la malla N°200

Tabla 20

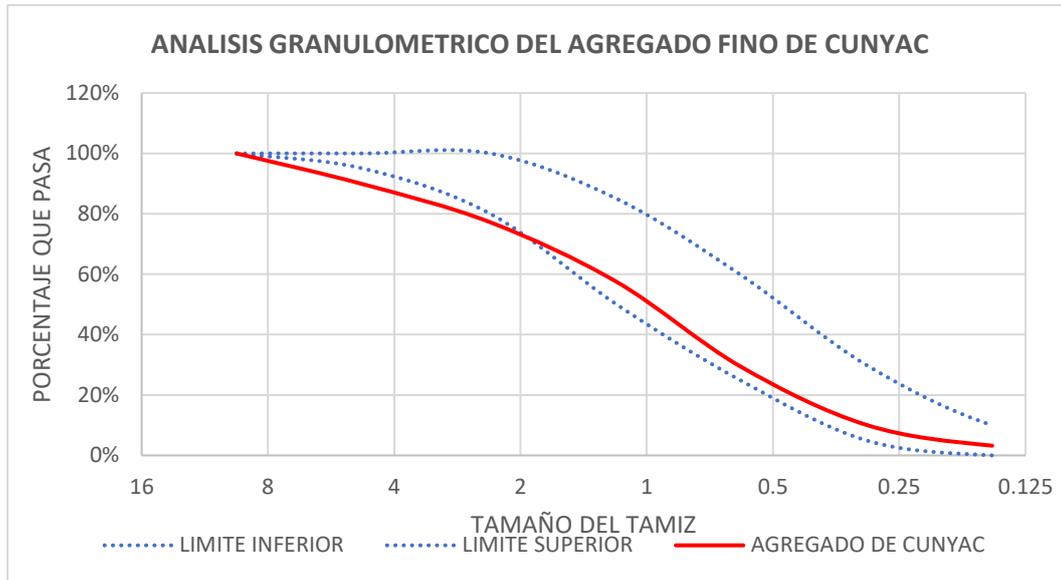
Granulometría del agregado fino de la cantera de Cunyac

Material ensayado		Agregado fino de la cantera de Cunyac					
Fecha de Ensayo		14/11/2023					
Peso de la muestra		1404.4					
Tamaño del tamiz in.	mm	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Porcentaje acumulativo que Pasa	NTP 400.037 Límite superior	Límite inferior
3/8	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%	100	100
4	4.75	143	10.18%	10.18%	89.82%	100	95
8	2.36	177.34	12.63%	22.81%	77.19%	100	80
16	1.18	276.85	19.71%	42.52%	57.48%	85	50
30	0.6	391.78	27.90%	70.42%	29.58%	60	25
50	0.3	273.1	19.45%	89.87%	10.13%	30	5
100	0.15	97.18	6.92%	96.79%	3.21%	10	0
200	0.75	22.53	1.60%	98.39%	1.61%	3	0
Fondo		22.62	1.61%	100.00%	0.00%		
Total		1404.4					
Perdida		0.00%					
Módulo de fineza			3.33				

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25

Curva de la granulometría del agregado fino de Cunyac



Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

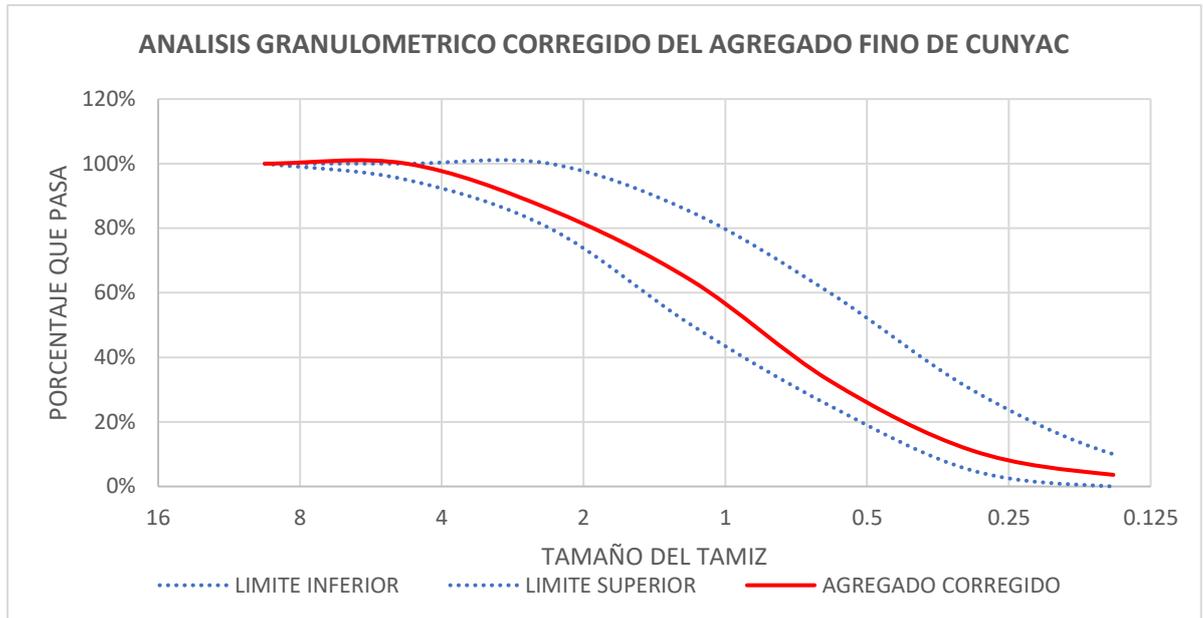
Granulometría corregida del agregado fino de la cantera de Cunyac

Material ensayado		Agregado fino de la cantera de Cunyac					
Fecha de Ensayo		14/11/2023					
Peso de la muestra		1254.66					
Tamaño del tamiz		Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	% Peso Retenido Acumulado	% Porcentaje acumulativo que Pasa	NTP 400.037	
in.	mm					Límite superior	Límite inferior
3/8	9.5	0	0.00%	0.00%	100.00%	100	100
4	4.75	0	0.00%	0.00%	100.00%	100	95
8	2.36	177.34	14.13%	14.13%	85.87%	100	80
16	1.18	276.85	22.07%	36.20%	63.80%	85	50
30	0.6	389.78	31.07%	67.27%	32.73%	60	25
50	0.3	270.3	21.54%	88.81%	11.19%	30	5
100	0.15	95.24	7.59%	96.40%	3.60%	10	0
200	0.75	22.53	1.80%	98.20%	1.80%	3	0
Fondo		22.62	1.80%	100.00%	0.00%		
Total		1254.66					
Perdida		0.00%					
Módulo de fineza			3.03				

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26

Curva de la granulometría corregida del agregado fino de Cunyac



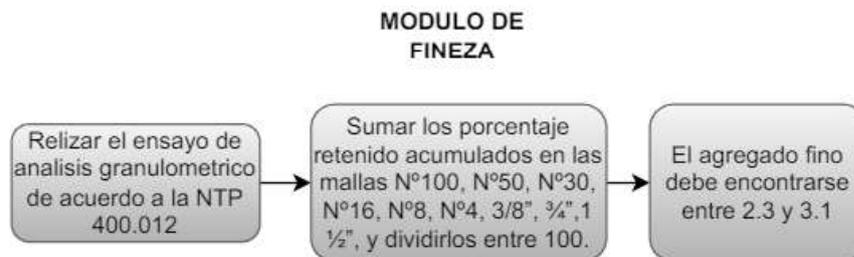
Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2. Módulo de Fineza

3.5.2.2.1. Procedimiento

Ilustración 27

Diagrama del procedimiento para el ensayo de módulo de fineza para el agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2.2. Cálculos y Resultados

Según la norma NTP 400.012, se sumará el porcentaje retenido acumulado de los tamices N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, 3/8", 3/4", 1 1/2", (-----)

$$MF = \frac{\%N^{\circ}100 + \%N^{\circ}50 + \%N^{\circ}30 + \%N^{\circ}16 + \%N^{\circ}8 + \%N^{\circ}4 + \% \frac{3}{8}'' + \% \frac{3}{4}'' + \% 1 \frac{1}{2}''}{100}$$

El módulo de fineza al 0,01 es 3.03.

3.5.2.3. Contenido de Humedad

3.5.2.3.1. Muestra

Se utilizará para el ensayo una muestra según la siguiente tabla y se evitará la pérdida de humedad de la muestra antes del ensayo.

Tabla 22

Tamaño de la muestra de agregado

Tamaño de la muestra de agregado		
Tamaño de la muestra de agregado (mm)		Tamaño de la muestra de agregado (kg)
4.75	(in.) (Nro. 4)	0.5

Nota. Fuente: Norma NTP 339.185

3.5.2.3.2. Procedimiento

Ilustración 28

Diagrama del procedimiento para el ensayo de contenido de humedad del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.3.3. Cálculos y Resultados

Se utilizará la siguiente expresión para el cálculo del contenido de humedad evaporable del agregado

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra (%)

W = Masa de la muestra húmeda original (g)

D = Masa de la muestra seca (g)

El contenido de humedad superficial se calcula restando la absorción del contenido total de humedad evaporable del agregado.

Tabla 23

Contenido de Humedad del agregado fino de Cunyac

Descripción	M1	M2	M3
Peso del envase (gr)	153.08	156.09	154.56
Peso del envase + Muestra húmeda (gr)	1659.35	1836.38	1698.9
Peso de la muestra húmeda (gr)	1506.27	1680.29	1544.34
Peso del envase + Muestra seca (gr)	1638.46	1812.79	1677.49
Peso de la muestra seca (gr)	1485.38	1656.7	1522.93
Contenido de Humedad (%)	1.41%	1.42%	1.41%
Contenido de Humedad Promedio (%)		1.41%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.4. Pasante la Malla N°200

3.5.2.4.1. Muestra

Se mezcló la muestra y se redujo la cantidad de acuerdo con la norma NTP 400.010 y NTP 400.043

La cantidad de la muestra que se utilizó fue de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 24

Cantidad mínima de muestra

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima, g
4.75 mm (No. 4) o más pequeño	300
9.5 mm (3/8 in.)	1000
19 mm (3/4 in.)	2500
37.5 mm (1 ½ in.) o mas grande	5000

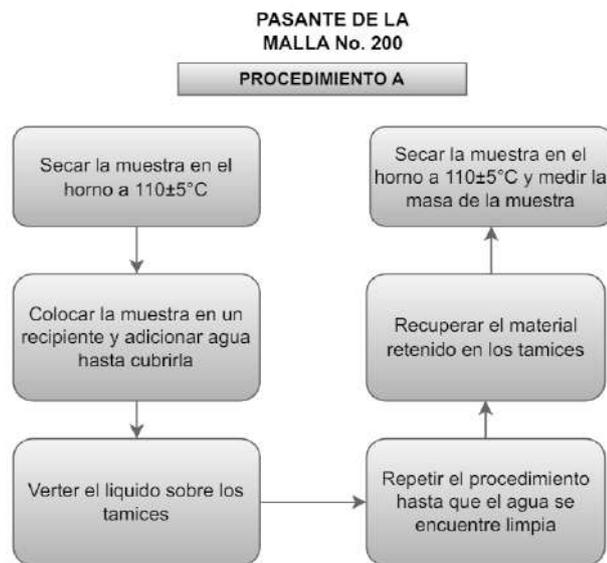
Nota. La cantidad mínima de muestra utilizada es de 300g para el agregado ino utilizado en la presente investigación. Fuente: NTP 400.018

3.5.2.4.2. Procedimiento

Se siguió el procedimiento A de la norma NTP 400.018

Ilustración 29

Diagrama del procedimiento del ensayo de pasante de la malla N°200 del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.4.3. Cálculos y Resultados

Se realizan los cálculos de acuerdo con la siguiente fórmula extraída de la NTP 400.018

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Donde:

A: Porcentaje del material fino que pasa el tamiz N°200

P₁: Peso de la muestra previo al ensayo

P₂: Peso de la muestra luego del ensayo

Tabla 25

Porcentaje que pasa la malla 200 (%) del agregado fino de Cunyac

Descripción	M1	M2	M3
Masa antes del lavado			
Peso de la muestra seca (gr)	1404.4	1600.95	1483.26
Masa luego del lavado			
Peso de la muestra seca (gr)	1383.57	1585.79	1461.94
Porcentaje que pasa la malla 200 (%)	1.48%	0.95%	1.44%
Porcentaje promedio que pasa la malla 200 (%)		1.29%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.5. Peso Específico

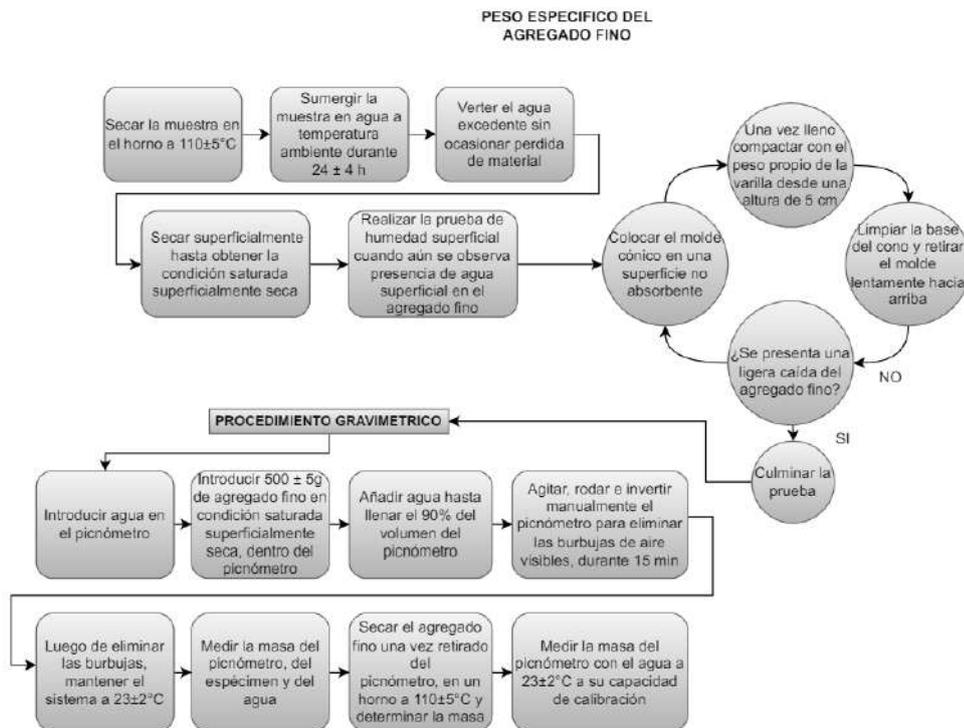
3.5.2.5.1. Muestra

- “La muestra debe estar previamente secada al horno en una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ”
- Decantar el exceso de agua sin ocasionar pérdida de material
- Secar la muestra hasta obtener el estado saturado superficialmente seco, lo cual se verifica mediante la prueba de humedad superficial
- La prueba de humedad superficial se realiza con un cono metálico, en el cual se introduce el material y una vez lleno se compacta con la barra apisonadora con 25 golpes de su propio peso, si al retirar el molde se produce caída del material, esta se encuentra saturada superficialmente seca. Repetir el procedimiento hasta que se produzca caída del material.” (NTP 400.022)

3.5.2.5.2. Procedimiento

Ilustración 30

Diagrama del procedimiento para el ensayo de peso específico del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 31

Peso del picnómetro con la muestra y agua a 23°C libre de aire



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.5.2.5.3. Cálculos y Resultados

Teniendo en cuenta lo siguiente:

- ❖ A = Masa de la muestra seca al horno
- ❖ B = Masa del picnómetro llenado con agua hasta la marca de calibración (g)
- ❖ C = Masa del picnómetro llenado con la muestra y agua hasta la marca de calibración (g)
- ❖ S = Masa de la muestra saturada superficialmente seco utilizado en el procedimiento gravimétrico (g)

Usar las siguientes fórmulas para calcular los valores necesarios:

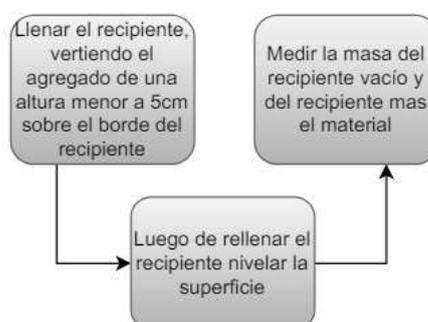
- ❖ $Gravedad\ específica\ (OD) = A / (B + S - C)$
- ❖ $Gravedad\ específica\ (SSD) = S / (B + S - C)$
- ❖ $Gravedad\ específica\ aparente = A / (B + A - C)$
- ❖ $Densidad\ (OD) kg/m^3 = 997.5 \times A / (B + S - C)$
- ❖ $Densidad\ (SSD) kg/m^3 = 997.5 \times S / (B + S - C)$
- ❖ $Densidad\ aparente\ kg/m^3 = 997.5 \times A / (B + A - C)$
- ❖ $Absorción\ (\%) = 100 \times [(S - A) / A]$

Tabla 26*Peso específico del agregado fino de Cunyac*

	N°1	N°2	N°3
Peso de la muestra seca (gr)	486.67	487.14	486.05
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500	500	500
Volumen del picnómetro	500	500	500
Peso del picnómetro + agregado SSS + agua	966.26	967.32	965.47
Peso del picnómetro	160.91	160.91	160.91
Peso del agua	305.35	306.41	304.56
Peso específico de masa	2.50	2.52	2.49
Peso específico (sss)	2.57	2.58	2.56
Peso específico aparente	2.68	2.70	2.68
Absorción (%)	2.74%	2.64%	2.87%
Absorción promedio (%)		2.75%	
Densidad OD	2493.98	2510.06	2480.74
Densidad OD promedio		2494.92	
Densidad SSD	2562.29	2576.32	2551.93
Densidad SSD promedio		2563.52	
Densidad Aparente	2677.33	2688.66	2671.41
Densidad Aparente promedio		2679.14	

Nota. Fuente: Elaboración propia**3.5.2.6. Peso Unitario Suelto****3.5.2.6.1. Muestra**

La muestra debe estar secada a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y ser 125% a 200% el volumen del recipiente.

3.5.2.6.2. Procedimiento**Ilustración 32***Diagrama del procedimiento para el ensayo de peso unitario suelto del agregado fino**Nota.* Fuente: Elaboración propia**3.5.2.6.3. Cálculos y Resultados**

Densidad de masa

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

G = Masa del agregado y recipiente (kg)

T = Masa del recipiente (kg)

V = Volumen del recipiente (m³)

Para calcular la densidad de masa para el agregado saturado superficialmente seco se usó la siguiente formula:

$$M_{SSS} = M \left(1 + \frac{A}{100} \right)$$

Donde:

M_{SSS} = Densidad de masa en condición SSD (kg/m³)

A = Porcentaje de absorción (%)

Para calcular el porcentaje de vacíos se usó la siguiente formula:

$$\%Vacios = 100 \{ (S \times W) - M \} / (S \times W)$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

S = Gravedad especifica de masa (Base seca) obtenida por la NTP 400.022

W = Densidad del agua 998 kg/m³

Tabla 27*Peso unitario suelto del agregado fino de Cunyac*

	N°1	N°2	N°3
Peso del recipiente + agregado fino (kg)	5.71	5.70	5.71
Peso del recipiente (kg)	4.18	4.18	4.18
Volumen del recipiente (m3)	0.000975	0.000975	0.000975
Factor del recipiente (m-3)	1025.77	1025.77	1025.77
Peso unitario suelto (kg/m3)	1573.62	1564.93	1571.80
Peso unitario suelto promedio (kg/m3)		1570.12	
Absorción	2.75%	2.75%	2.75%
Peso unitario suelto saturado Msss (kg/m3)	1616.89	1607.97	1615.02
Peso unitario suelto saturado Msss Promedio (kg/m3)		1613.29	
Peso específico aparente	2.69	2.69	2.69
Densidad del agua (kg/m3)	998.00	998.00	998.00
Porcentaje de vacíos (%)	41.29%	41.62%	41.36%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		41.42%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.7. **Peso Unitario Compactado**

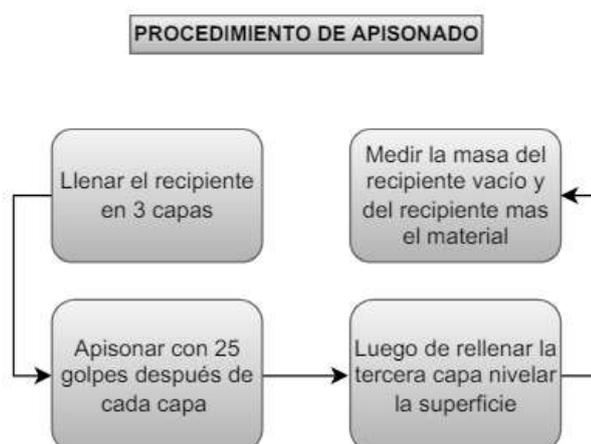
3.5.2.7.1. **Muestra**

La muestra debe estar secada a $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y ser 125% a 200% el volumen del recipiente

3.5.2.7.2. **Procedimiento**

Ilustración 33

Diagrama del procedimiento del ensayo de peso unitario compactado del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.7.3. **Cálculos y Resultados**

Densidad de masa:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

G = Masa del agregado y recipiente (kg)

T = Masa del recipiente (kg)

V = Volumen del recipiente (m³)

Para calcular la densidad de masa para el agregado saturado superficialmente seco se usó la siguiente formula:

$$M_{SSS} = M \left(1 + \frac{A}{100} \right)$$

Donde:

M_{SSS} = Densidad de masa en condición SSD (kg/m³)

A = Porcentaje de absorción (%)

Para calcular el porcentaje de vacíos se usó la siguiente formula:

$$\%Vacios = 100 \{ (S \times W) - M \} / (S \times W)$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado (kg/m³)

S = Gravedad especifica de masa (Base seca) obtenida por la NTP 400.022

W = Densidad del agua 998 kg/m³

Tabla 28*Peso unitario compactado del agregado fino de Cunyac*

	N°1	N°2	N°3
Peso del recipiente + agregado fino (kg)	5.801	5.803	5.801
Peso del recipiente (kg)	4.18	4.18	4.18
Volumen del recipiente (m3)	0.000975	0.000975	0.000975
Factor del recipiente (m-3)	1025.77	1025.77	1025.77
Peso unitario compactado (kg/m3)	1664.82	1667.07	1665.02
Peso unitario compactado promedio (kg/m3)		1665.64	
Absorción	2.75%	2.75%	2.75%
Peso unitario compactado saturado Mss (kg/m3)	1710.60	1712.91	1710.80
Peso unitario compactado saturado Mss Promedio (kg/m3)		1711.44	
Peso específico aparente	2.686	2.686	2.686
Densidad del agua (kg/m3)	998	998	999
Porcentaje de vacíos (%)	37.89%	37.81%	37.95%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		37.88%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.8. Absorción

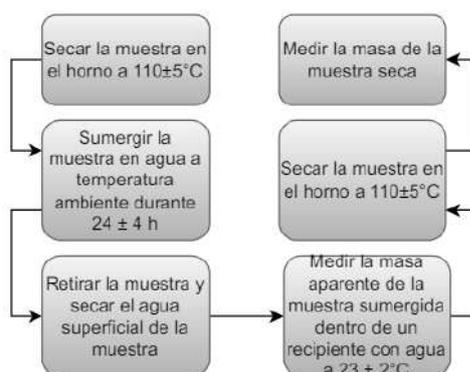
3.5.2.8.1. Muestra

La muestra utilizada será de acuerdo con la norma NTP 400.010, no se utilizará el material que pase el tamiz N°4.

3.5.2.8.2. Procedimiento

Ilustración 34

Diagrama del procedimiento del ensayo de absorción del agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.5.2.8.3. Cálculos y Resultados

Teniendo en cuenta lo siguiente:

A = Masa de la muestra seca al horno

B = Masa del picnómetro llenado con agua hasta la maca de calibración (g)

C = Masa del picnómetro llenado con la muestra y agua hasta la maca de calibración (g)

S = Masa de la muestra saturada superficialmente seco utilizado en el procedimiento gravimétrico (g)

Usar las siguientes fórmulas para calcular los valores necesarios:

- ❖ *Gravedad específica (OD)* $= A/(B + S - C)$
- ❖ *Gravedad específica (SSD)* $= S/(B + S - C)$
- ❖ *Gravedad específica aparente* $= A/(B + A - C)$
- ❖ *Densidad (OD)* $kg/m^3 = 997.5 \times A/(B + S - C)$
- ❖ *Densidad (SSD)* $kg/m^3 = 997.5 \times S/(B + S - C)$
- ❖ *Densidad aparente* $kg/m^3 = 997.5 \times A/(B + A - C)$
- ❖ *Absorción (%)* $= 100 \times [(S - A)/A]$

Tabla 29

Absorción del agregado fino de Cunyac

	N°1	N°2	N°3
Peso de la muestra seca (gr)	486.67	487.14	486.05
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500	500	500
Volumen del picnómetro	500	500	500
Peso del picnómetro + agregado SSS + agua	966.26	967.32	965.47
Peso del picnómetro	160.91	160.91	160.91
Peso del agua	305.35	306.41	304.56
Peso específico de masa	2.50	2.52	2.49
Peso específico (sss)	2.57	2.58	2.56
Peso específico aparente	2.68	2.70	2.68
Absorción (%)	2.74%	2.64%	2.87%

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.6. Diseño de Mezclas

3.6.1. Selección de la Resistencia Promedio a Partir de la Resistencia en Compresión Especificada

Las resistencias que se plantean en el presente trabajo de investigación son:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

“La resistencia requerida a la compresión cuando no se cuenta con datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra se utiliza el siguiente cuadro para determinar la resistencia requerida.” (Norma E060)

Tabla 30

Resistencia promedio requerida a la compresión

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7.0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8.5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1.1f'c + 5.0$

Nota. Fuente: Norma E.060

Según la tabla anterior se tiene las siguientes resistencias de diseño:

$$f'cr = 29.5 \text{ MPa} = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'cr = 36.5 \text{ MPa} = 370 \text{ kg/cm}^2$$

3.6.2. Selección de Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso

El tamaño máximo nominal del agregado grueso es elegido según la gradación granulométrica del agregado grueso utilizado.

“Se define el Tamaño Máximo Nominal a aquel donde se produce la primera retención entre el 5% al 10% del total de la muestra.” (NTP 400.017)

La misma norma en referencia al Tamaño Máximo del Agregado nos indica que es el menor tamiz por el que pasa toda la muestra.

De acuerdo con lo mencionado y a la siguiente tabla se tiene:

Tabla 31

Huso granulométrico utilizado según la NTP400.037

Huso Nro.	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados												
		100 mm	90m m	75 mm	63m m	50 mm	37.5 mm	25 mm	19m m	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
AST M														

	(4")	(3 1/2")	(3")	(2 1/2")	(2")	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8 ")	(N° 4)	(N° 8)	(N° 16)
6	19 a 9.5mm (3/4" a 3/8")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		

Nota. El agregado grueso utilizado se encuentra dentro del huso granulométrico N°6. Fuente: NTP 400.037

Tamaño Máximo nominal del agregado: 3/4" (19 mm), huso granulométrico 6

3.6.3. Selección del Asentamiento

El asentamiento que se utilizará para realizar el diseño de mezclas para ambas resistencias será de 100 mm de acuerdo con las recomendaciones de la siguiente tabla, además de tener una buena trabajabilidad del concreto.

Tabla 32

Selección de Asentamiento según ACI 211.1-91

Tipos de Construcción	Slump (mm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación reforzados y zapatas	75	25
Zapatas, caissons y muros de subestructura	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Nota. Fuente: Adaptado de ACI 211.1-91

3.6.4. Selección del Volumen Unitario de Agua

Según la siguiente tabla adaptada de la norma ACI 211.1-91, elegimos el volumen unitario de agua según el asentamiento elegido y tamaño máximo nominal del agregado

Tabla 33*Selección de Volumen Unitario de Agua según ACI 211.1-91*

Agua en kg/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado								
Asentamiento	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Concreto sin entrada de aire								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota. Fuente: Adaptado de ACI 211.1-91

$$\text{Volumen Unitario de Agua} = 205 \text{ kg/m}^3$$

3.6.5. Selección del Contenido de Aire Atrapado

De la misma tabla mostrada en el apartado anterior, seleccionamos el contenido de aire atrapado en la mezcla de acuerdo con el Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Tabla 34*Selección de Volumen Contenido de Aire Atrapado según ACI 211.1-91*

Agua en kg/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado								
Asentamiento	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Concreto sin entrada de aire								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota. Fuente: Adaptado de ACI 211.1-91

$$\text{Contenido de aire atrapado} = 2 \%$$

3.6.6. Selección de la Relación Agua-Cemento por Resistencia y por Durabilidad

De acuerdo con el siguiente cuadro se elegirá la relación agua/cemento en función a la resistencia a compresión del concreto elegida

Tabla 35*Selección de la Relación Agua-Cemento según ACI 211.1-9*

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación a/c	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
MPa		
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.6
15	0.79	0.7

Nota. Fuente: Adaptado de ACI 211.1-91

Se interpoló los valores correspondientes a 21 MPa y 28 MPa.

- Para 21 MPa corresponde una relación a/c = 0.55
- Para 28 MPa corresponde una relación a/c = 0.46

3.6.7. Determinación del Factor Cemento

Para calcular la cantidad de cemento se divide el volumen unitario de agua calculado entre la relación agua cemento obtenida.

$$C = \frac{A}{\frac{a}{c}}$$

Donde:

C = Cantidad de cemento por unidad de volumen (kgf/cm³)

A = Volumen unitario de agua (kgf/cm³)

$\frac{a}{c}$ = Relación agua – cemento

Reemplazando los valores obtenidos tenemos:

$$C = \frac{A}{\frac{a}{c}}$$

3.6.8. Determinación del Contenido de Agregado Grueso

La determinación del Contenido de Agregado grueso se realizará de acuerdo con el siguiente cuadro en función del tamaño máximo nominal de agregado y del módulo de finura del agregado fino, que según lo calculado anteriormente es de 3.03.

Tabla 36*Determinación del contenido de agregado grueso según ACI 211.1-9*

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto				
Tamaño máximo nominal del agregado	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino.			
mm	2.4	2.6	2.8	3
9.50	0.5	0.48	0.46	0.44
12.50	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00	0.66	0.64	0.62	0.6
25.00	0.71	0.69	0.67	0.65
37.50	0.75	0.73	0.71	0.69
50.00	0.78	0.76	0.74	0.72
75.00	0.82	0.8	0.78	0.76
150.00	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Fuente: Adaptado de ACI 211.1-91

Se interpoló los valores correspondientes a un módulo de finura de 3.03.

- Para un módulo de finura de 3.03 corresponde un volumen de agregado grueso de 0.597

3.6.9. Determinación de la Suma de los Volúmenes Absolutos de Cemento, Agua de Diseño, Aire y Agregado Grueso

- Para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

Tabla 37*Determinación de volúmenes según ACI 211.1-9. Concreto de $f'c=210$ kgf/cm²*

Insumo	Peso específico (kg/m ³)	Datos de diseño	Volumen (m ³)
Cemento	2850	401.96	0.141
Agua	1000	205.00	0.205
Aire	-	2.00	0.020
Agregado Grueso	2493.50	915.86	0.367
Total			0.733

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Tabla 38*Determinación de volúmenes según ACI 211.1-9. Concreto de $f'c=280$ kgf/cm²*

Insumo	Peso específico (kg/m ³)	Datos de diseño	Volumen (m ³)
Cemento	2850	476.74	0.167
Agua	1000	205.00	0.205
Aire	-	2.00	0.020
Agregado Grueso	2493.50	915.86	0.367
Total			0.760

Nota. Fuente: Elaboración propia

$$\text{Volumen de Agregado fino} = 1 - 0.760$$

$$\text{Volumen de Agregado fino} = 0.240$$

3.6.10. Determinación del Volumen Absoluto de Agregado Fino

Una vez obtenido la suma de los volúmenes de agregado grueso, cemento, agua y aire, se resta este valor de la unidad, obteniendo los siguientes valores de volumen de agregado fino:

- Para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

$$\text{Volumen de Agregado fino} = 1 - 0.733$$

$$\text{Volumen de Agregado fino} = 0.267$$

- Para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

$$\text{Volumen de Agregado fino} = 1 - 0.760$$

$$\text{Volumen de Agregado fino} = 0.240$$

3.6.11. Determinación del Peso Seco del Agregado Fino

Una vez obtenido el volumen de agregado fino, al multiplicarlo por el peso específico de este último, obtenemos el peso seco del agregado fino.

- Para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

Tabla 39*Determinación del Peso Seco del Agregado Fino. Concreto de $f'c=210$ kgf/cm²*

	Peso seco	Unidad
Volumen absoluto del agregado fino (m ³)	0.2667	m ³ /m ³
Peso específico del agregado fino (kg/m ³)	2494.92	kg/m ³
Peso del agregado fino seco (kg/m ³)	665.30	kg/m ³

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Tabla 40*Determinación del Peso Seco del Agregado Fino. Concreto de $f'c=280$ kgf/cm²*

	Peso seco	Unidad
Volumen absoluto del agregado fino (m ³)	0.2404	m ³ /m ³
Peso específico del agregado fino (kg/m ³)	2494.92	kg/m ³
Peso del agregado fino seco (kg/m ³)	599.83	m ³ /m ³

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.6.12. Determinación de los Valores de Diseño del Cemento, Agua, Aire, Agregado Grueso y Agregado Fino

Una vez calculados todos los datos en los apartados anteriores tenemos los siguientes datos para las dos resistencias escogidas en la presente investigación:

- Para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

Tabla 41*Determinación de los valores de diseño del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm²*

Insumos	Datos de diseño en estado seco	Unidad	Proporción
Cemento	401.96	kg/m ³	1.00
Agua	205.00	l/m ³	0.77
Aire	2.00	%	
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	2.48
Agregado Fino	665.30	kg/m ³	1.58

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Tabla 42

Determinación de los valores de diseño del Concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$

Insumo	Datos de diseño en estado seco	Unidad	Proporción
Cemento	476.74	kg/m ³	1.00
Agua	205.00	l/m ³	0.65
Aire	2.00	%	
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	2.09
Agregado Fino	599.83	kg/m ³	1.20

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.6.13. Corrección de los Valores de Diseño por Humedad y Absorción del Agregado

Debido a la falta de recipientes de almacenamiento para el agregado fino, se procedía a tamizar y llenar los recipientes de agregado fino cuando estos se terminaban, el agregado fino estaba protegido con una cobertura de plástico, pero dada las intensas lluvias generaban un cambio de humedad, por ello un día antes de vaciado se determinaba la variación de la humedad para realizar la respectiva corrección al diseño de mezclas, ello se demuestra con las siguientes fotografías y tablas.

Ilustración 35

Determinación de la Corrección de Humedad para el Agregado Fino



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Corrección por Humedad:

$$\text{Peso (corregido)} = \text{Peso seco (Ag. Fino o Grueso)} \times \left(\frac{\text{Humedad (\%)}}{100} + 1 \right)$$

➤ Para el concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$

Tabla 43*Corrección de valores de diseño por humedad del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm²*

Agregado	Peso	Unidad	Humedad	Peso corregido	Unidad
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	0.00	915.86	m ³ /m ³
Agregado Fino	690.89	kg/m ³	1.58	701.81	m ³ /m ³

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Tabla 44*Corrección de valores de diseño por humedad del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm²*

Agregado	Peso	Unidad	Humedad	Peso corregido	Unidad
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	0.00	915.86	m ³ /m ³
Agregado Fino	627.05	kg/m ³	1.58	636.96	m ³ /m ³

Nota. Fuente: Elaboración propia

Corrección por Absorción:

$$\text{Aporte de agua} = \text{Peso seco (Ag. Fino o Grueso)} \left(\frac{\text{Humedad (\%)} - \text{Absorción (\%)}}{100} \right)$$

- Para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

Tabla 45*Corrección de valores de diseño por absorción del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm²*

Agregado	Peso del agregado seco	Unidad	Humedad (%)	Absorción (%)	Aporte de agua a la mezcla (l/m ³)
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	0.00	1.74	-15.94
Agregado Fino	690.89	kg/m ³	1.58	2.75	-8.08
Total					-24.02
Aporte de agua a la mezcla					229.02

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Tabla 46

Corrección de valores de diseño por absorción del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Agregado	Peso del agregado seco	Unidad	Humedad (%)	Absorción (%)	Aporte de agua a la mezcla (l/m ³)
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	0.00	1.74	-15.94
Agregado Fino	627.05	kg/m ³	1.58	2.75	-7.33
Total					-23.27
Aporte de agua a la mezcla					228.27

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.6.14. Determinación de la Proporción en Peso del Diseño

Luego de realizadas las correcciones tenemos las siguientes proporciones en peso:

- Diseño final para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

Tabla 47

Diseño final del Concreto de $f'c=210$ kgf/cm²

Material	Datos de diseño en peso	Unidad	Datos de diseño en volumen	Unidad	Proporción
Cemento	372.73	kg/m ³	8.77	bls/m ³	1.00
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	0.66	m ³ /m ³	2.67
Agregado Fino	701.81	kg/m ³	0.45	m ³ /m ³	1.80
Agua	229.02	l/m ³	0.23	l/m ³	0.92

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Diseño final para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Tabla 48

Diseño final del Concreto de $f'c=280$ kgf/cm²

Material	Datos de diseño en peso	Unidad	Datos de diseño en volumen	Unidad	Proporción
Cemento	445.65	kg/m ³	10.49 bls	bls/m ³	1.00
Agua	915.86	kg/m ³	0.66 m ³	l/m ³	2.24
Agregado Grueso	636.96	kg/m ³	0.41 m ³	m ³ /m ³	1.37
Agregado Fino	228.27	kg/m ³	0.23 m ³	m ³ /m ³	0.77

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.7. Construcción de los Equipos para Curado Tradicional y para Curado con Vapor de Agua

3.7.1. Construcción de la cámara de vapor de agua

Para realizar el curado de las briquetas de concreto con vapor de agua a 50°C y a 70°C, se diseñó una estructura metálica de 83cm de altura x 81cm de ancho y 63 cm de profundidad, capaz de mantener las temperaturas deseadas.

La estructura metálica es similar a un horno, está compuesta por planchas de acero inoxidable 202 en el interior y en el exterior, relleno con lana de vidrio en la parte intermedia de cada las 6 caras de la estructura. La puerta cuenta con un empaque en todo el contorno para evitar la pérdida de calor y humedad.

Para elevar la temperatura en el interior se utilizó 3 cocinas eléctricas de 1000w con resistencias tipo espiral, las cuales fueron elegidas mediante pruebas previas.

Para garantizar la humedad mayor al 95% como indica la normativa, se planteó en un inicio el uso de humidificadores ultrasónicos, sin embargo, luego de pruebas se determinó cambiar el sistema de humidificación por una resistencia eléctrica en una bandeja de agua, la cual garantiza mediante el sistema de control la humidificación necesaria del ambiente.

Para el ingreso de agua se utilizó una válvula solenoide conectada con un sensor de humedad de suelo, la cual garantiza el abasto de agua al sistema de humidificación. Para conectar la válvula al grifo jardinero del laboratorio se utilizó una tubería de abasto para lavatorio y una manguera para entrada de agua para lavadora.

La humedad en el ambiente es afectada también por las corrientes de viento, razón por la cual se aprovechó este principio para incluir un ventilador metálico dentro de la cámara de vapor que garantice la humedad mayor al 95% en todo el ambiente.

Para el sistema de control se integró todos los componentes electrónicos descritos en el apartado 2.2.31 realizando una programación para el correcto funcionamiento del equipo. Finalmente, se realizó las conexiones de las cocinas, el ventilador, el humidificador, la entrada de agua y los sensores con el sistema de control.

Ilustración 36

Ensamblado de los componentes electrónicos para control de la Cámara de Vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Construcción de estanque metálico de curado a 23°C

Para realizar el curado de briquetas de concreto a 23°C según la normativa, se realizó la construcción de un estanque metálico de 1.03m x 0.90m x 0.45m con capacidad de 30 briquetas cilíndricas de diámetro de 15cm y altura de 30cm, revestido con pintura epóxica para evitar el deterioro del material metálico.

Se colocaron 4 resistencias eléctricas de 1200W para mantener el agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, las cuales se conectaron a un sistema de control PID (Control Proporcional Integral Derivativo) para asegurar el rango de temperatura en todo el volumen de agua.

Se instaló adicionalmente un servomotor con el fin de causar turbulencia y asegurar que durante el calentamiento del agua, este se produzca uniformemente en todo el estanque metálico.

Finalmente, para que el agua pueda circular periódicamente se colocó una válvula en la parte inferior del estanque metálico

Ilustración 7

Ensamblado de los componentes del estanque de curado con agua a 23°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8. Procedimiento Experimental

3.8.1. Procedimiento de Elaboración de Especímenes

En la presente investigación, se realizó el siguiente programa de curado a las briquetas de concreto elaboradas según el diseño de mezclas presentado en el capítulo anterior.

Tabla 49*Programa de curado con vapor de agua de especímenes de concreto*

Briquetas	Cantidad	Tipo de Curado	Tiempo de curado	Temperatura de Curado (°C)
Briquetas cilíndricas f'c=210 kgf/cm ² - Diseño de mezclas	2	Por Inmersión	7 días	23
	15	Por Inmersión	28 días	23
Briquetas cilíndricas f'c=210 kgf/cm ² - Curado tradicional	2	Por Inmersión	1 día	23
	6	Por Inmersión	28 días	23
	2	A vapor	6 h	70
	2	A vapor	14 h	70
Briquetas cilíndricas f'c=210 kgf/cm ² - Curado a vapor a 70°C	2	A vapor	18 h	70
	6	A vapor	16 h	70
	4	A vapor	16 h, 28 días	70
	2	A vapor	8 h	50
Briquetas cilíndricas f'c=210 kgf/cm ² - Curado a vapor a 50°C	2	A vapor	12 h	50
	2	A vapor	16 h	50
	6	A vapor	48 h	50
Briquetas cilíndricas f'c=280 kgf/cm ² - Diseño de mezclas	2	Por Inmersión	7 días	23
	15	Por Inmersión	28 días	23
Briquetas cilíndricas f'c=280 kgf/cm ² - Curado tradicional	2	Por Inmersión	1 día	23
	6	Por Inmersión	28 días	23
	2	A vapor	6 h	70
	2	A vapor	14 h	70
Briquetas cilíndricas f'c=280 kgf/cm ² - Curado a vapor a 70°C	2	A vapor	18 h	70
	6	A vapor	16 h	70
	4	A vapor	16 h, 28 días	70
	2	A vapor	8 h	50
Briquetas cilíndricas f'c=280 kgf/cm ² - Curado a vapor a 50°C	2	A vapor	12 h	50
	2	A vapor	16 h	50
	6	A vapor	48 h	50

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.1.1. Preparación de los Materiales

Se preparó los materiales de la siguiente manera:

- 1) El agregado grueso se lavó para reducir el porcentaje de fino que pasan la malla N°200
- 2) Se tamizó el agregado grueso entre los tamices de 1", ¾", ½", 3/8" y #4, para luego combinarlos y obtener la gradación deseada según el huso granulométrico Nro. 6. Luego cada fracción individual se almacenó el material en baldes los cuales se taparon para evitar su contaminación.

- 3) Se tamizó el agregado fino a través del tamiz #4, eliminando todo lo retenido en dicha malla, luego se almacenó en tachos de plástico para evitar la contaminación del material.
- 4) El cemento se almacenó en recipientes de plástico protegido de la humedad del ambiente.

Ilustración 37

Almacenamiento del agregado grueso correspondiente a ½'' y ¾'' de acuerdo la gradación del Huso Granulométrico Nro. 6



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.1.2. Mezclado de Materiales con Maquina (Mezcladora)

- 1) El mezclado a máquina se realizó de la siguiente manera:
- 2) Antes de iniciar el proceso de mezclado, añadir agregado grueso y parte del agua.
- 3) Poner en marcha la mezcladora y agregar el agregado fino, cemento y el resto del agua mientras la mezcladora está en funcionamiento. Si no es posible, estos componentes pueden agregarse después de algunos giros de la mezcladora tras la carga inicial.
- 4) Después de cargar todos los ingredientes, mezclar el concreto durante 3 minutos, seguido de un reposo de 3 minutos y finalizar con 2 minutos adicionales de mezclado.
- 5) Cubrir la parte abierta de la mezcladora para prevenir la evaporación durante el reposo. Tomar precauciones para compensar cualquier mortero retenido por la mezcladora para garantizar una descarga proporcional.
- 6) Para evitar la segregación, transferir el concreto mezclado a un recipiente limpio y húmedo. Remover con lampa o cucharón hasta lograr una uniformidad visual.

Ilustración 38

Incorporación de materiales en la mezcladora de concreto en funcionamiento



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.1.3. Moldeo de Especímenes de Concreto

Se realizó el proceso de moldeo de los especímenes de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 1) Colocar los moldes en una superficie firme para evitar vibraciones.
- 2) Depositar el concreto en el molde en el número de 3 capas, cada una de aproximadamente igual volumen.
- 3) Varillar cada capa utilizando la varilla con extremo redondeado, dando un total de 25 golpes por cada capa.
- 4) Distribuir uniformemente los golpes sobre la sección del molde y permitir que la varilla penetre a través de cada capa superior, aproximadamente 25 mm (1 in.), dentro de la capa inferior.
- 5) Después de varillar cada capa, golpear suavemente los lados del molde de 10 a 15 veces con un martillo de goma. Este paso cierra posibles espacios vacíos y elimina burbujas grandes de aire.
- 6) Tras la consolidación, se finalizó la superficie nivelándola mediante la varilla de compactación o una plancha de madera o paleta, según la consistencia del concreto permita, en nuestro caso usamos el badilejo.

3.8.1.4. Calidad de las Briquetas

Las briquetas tanto metálicas como de plástico que se usaron en la elaboración de las briquetas para ser ensayados a compresión se mantuvieron totalmente limpios y aceitados, al momento de realizar el vaciado para facilitar el desmoldado de las muestras.

3.8.1.5. Codificación de los Especímenes

Para la codificación de especímenes se registró en la briqueta el tipo de curado, el número de briqueta y la fecha correspondiente a su vaciado, en caso del curado con vapor de agua se adicionó la temperatura de curado y el tiempo.

- ❖ Para las briquetas de diseño de mezclas de concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² se usaron las siguientes codificaciones:

Ilustración 39

Nomenclatura para las briquetas del diseño de mezclas del concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm²



Nota. Fuente: Elaboración propia

- ❖ Para las briquetas curadas de manera tradicional de concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² se usó las siguientes codificaciones:

Ilustración 40

Nomenclatura para briquetas de concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² curadas de manera tradicional

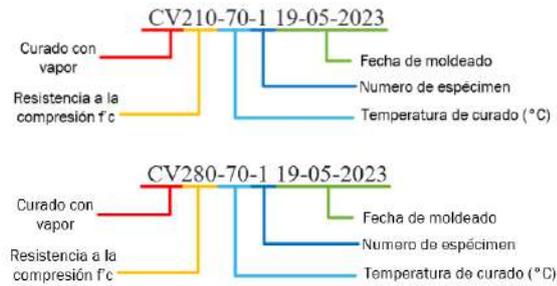


Nota. Fuente: Elaboración propia

- ❖ Para las briquetas curadas con vapor de agua de concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² se usó las siguientes codificaciones:

Ilustración 41

Nomenclatura para briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor de agua

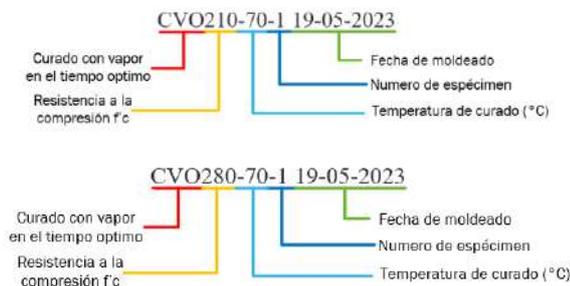


Nota. Fuente: Elaboración propia

- ❖ Para las briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor de agua en el tiempo óptimo, se usó las siguientes codificaciones:

Ilustración 42

Nomenclatura para briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor de agua con el tiempo optimo

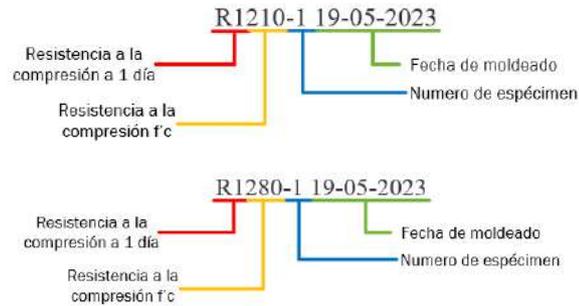


Nota. Fuente: Elaboración propia

- ❖ Para las briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ ensayadas 1 día después de su moldeado se usó las siguientes codificaciones:

Ilustración 43

Nomenclatura para briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ desmoldadas y ensayas 24 horas después

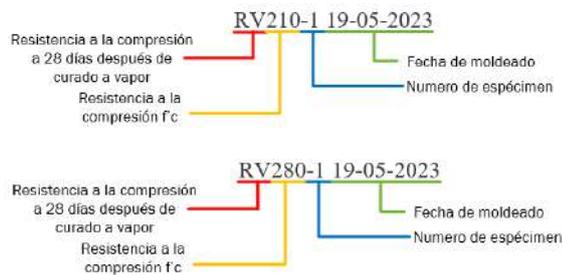


Nota. Fuente: Elaboración propia

- ❖ Para las briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ ensayadas 28 días después del curado con vapor de agua a 70°C durante 16 horas, se usó las siguientes codificaciones:

Ilustración 44

Nomenclatura para briquetas de concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ después de 28 días del curado óptimo con 70°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.1.6. Vaciado de Especímenes de Concreto

Se realizó el vaciado de especímenes de concreto de acuerdo con el siguiente detalle:

Tabla 50

Programa de Vaciado de Especímenes de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$

Nro.	Programa de Vaciado de Concreto
1	Primer Vaciado de Prueba – Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$
2	Segundo Vaciado de Prueba - Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$
3	Vaciado de Diseño de Mezclas - Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$
4	Vaciado de Diseño de Mezclas - Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$
5	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con por inmersión en agua
6	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 70°C – 14 horas
7	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 70°C – 18 horas
8	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 70°C – 6 horas
9	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 50°C – 12 horas
10	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 50°C – 8 horas
11	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 50°C – 16 horas
12	Vaciado de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 70°C – 16 horas
13	Vaciado de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 50°C – 48 horas
14	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 70°C – 16 horas
15	Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 50°C – 48 horas

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.1.6.1. Vaciado de Especímenes de Prueba – Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$

Ilustración 46

Primer vaciado de prueba – Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Ilustración 47

Segundo vaciado de prueba - Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.1.6.2. *Vaciado de Diseño de Mezclas - Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$*

Ilustración 48

Vaciado del diseño de mezclas del concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesistas: Frank Samuel Arzapalo Panduro y Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 49

Vaciado del diseño de mezclas del concreto de $f'c=280\text{ kgf/cm}^2$ - Ensayo de prueba de asentamiento (Cono de Abrams)



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.1.6.3. Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con por Inmersión

Ilustración 50

Ensayo de asentamiento del concreto $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ para el curado tradicional

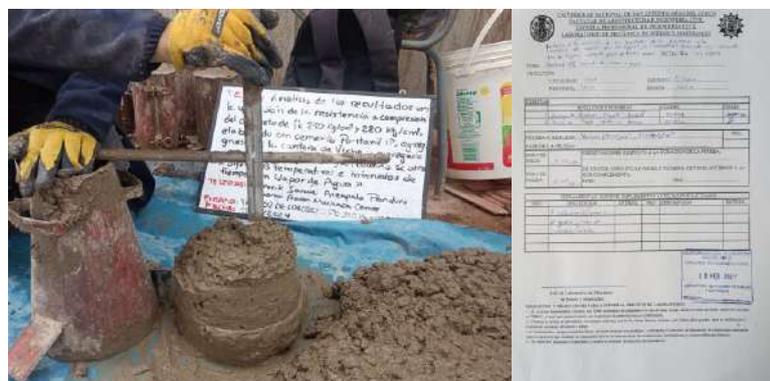


Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.1.6.4. Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 70°C

Ilustración 51

Ensayo de asentamiento del concreto $f'c=280\text{ kgf/cm}^2$ de concreto para curado con vapor de agua a 70°C – 14 horas



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Ilustración 52

Ensayo de asentamiento (Cono de Abrams) – Vaciado para curado con vapor 70 °C a 18H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 53

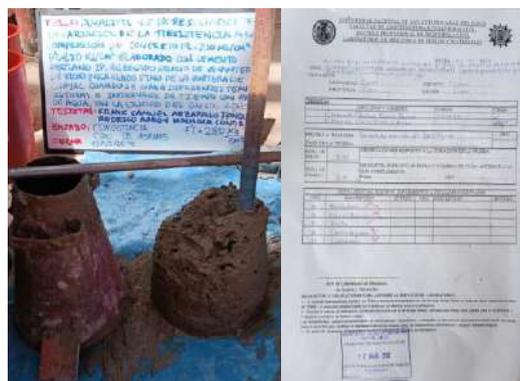
Ensayo de prueba de asentamiento (Cono de Abrams) – Curado a vapor de 70 °C – 6 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 54

Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a 70 °C – 16 H



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 55

Vaciado de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $70\text{ }^\circ\text{C}$ – 16 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.1.6.5. Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a $50\text{ }^\circ\text{C}$

Ilustración 56

Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ – Curado a vapor de $50\text{ }^\circ\text{C}$ – 12 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 57

Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ – Curado a vapor de $50\text{ }^\circ\text{C}$ – 8 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 58

Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ – Curado a vapor de $50\text{ }^\circ\text{C}$ – 16 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Ilustración 59

Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $50\text{ }^\circ\text{C}$ – 48 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesistas: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 60

Ensayo de asentamiento de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ – Curado a vapor a $50\text{ }^\circ\text{C}$ – 48 H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesistas: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.2. Ensayos de Concreto en Estado Fresco

3.8.2.1. Ensayo de Cono de Abrams (Prueba de Asentamiento)

3.8.2.1.1. Procedimiento

1) Preparación del Molde:

- Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana y rígida, previamente humedecida.
- Asegurar el molde en su lugar, utilizando las aletas o abrazaderas para mantenerlo fijo durante el llenado.

2) Llenado del Molde:

- Dividir el concreto en tres capas iguales para llenar el molde. Cada capa representa aproximadamente un tercio del volumen del molde.
- Usar un cucharón para verter y distribuir uniformemente el concreto alrededor del perímetro del molde, minimizando la segregación del material.

3) Compactación del Concreto:

- Compactar cada capa aplicando 25 golpes con una barra específica.
- En la primera capa, inclinar ligeramente la barra para distribuir la compactación uniformemente en toda la sección. En las capas siguientes, la barra debe penetrar ligeramente en la capa inferior.

4) Preparación para el Asentamiento:

- Llenar el molde con exceso de concreto antes de compactar la última capa.
- Al finalizar la compactación, nivelar la superficie superior del concreto pasando la barra compactadora por el borde superior del molde.
- Retirar el exceso de concreto alrededor del molde y asegurarse de que no haya interferencias con el asentamiento del concreto.

Ilustración 61

Enrasado de Cono de Abrams – Diseño de mezclas $f' c=280 \text{ kgf/cm}^2$



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

5) Medición del Asentamiento:

- Levantar el molde cuidadosamente en dirección vertical, a una altura de 300 mm en un tiempo de 5 segundos \pm 2 segundos, evitando movimientos laterales o torsionales.
- Medir inmediatamente el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura inicial del molde y la del centro de la cara superior del cono deformado.

6) Verificación de Fallas:

- En caso de observar una falla por corte, evidenciada por una separación en la masa, el ensayo debe ser descartado y repetido con una nueva muestra.

Nota: El procedimiento completo, desde la preparación del molde hasta la medición del asentamiento, debe realizarse de manera continua y en un tiempo no mayor a 2.5 minutos para obtener resultados precisos y confiables.

3.8.3. Curado Convencional con Agua

3.8.3.1. Procedimiento Antes del Curado

Para el curado con agua a 23°C de especímenes de concreto se siguió el siguiente procedimiento:

a) Almacenamiento Inicial de los Especímenes

Cubrir los especímenes inmediatamente después del moldeado para evitar la evaporación del agua del concreto no endurecido. Preferiblemente, utilizar un material no absorbente, no reactivo o una lámina de plástico resistente, durable e impermeable, realizar el correcto almacenado hasta la remoción de los moldes.

Ilustración 62

Cubrimiento de la briqueta de concreto luego del moldeado



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

b) Desmoldado

El desmoldado de los especímenes según la norma se realizó después de $24 \text{ h} \pm 8 \text{ h}$ después del vaciado del concreto a las briqueteras, en nuestro caso usamos tanto briqueteras de plástico y de metal, el procedimiento se detalla a continuación

b.1. Desmoldado de Briqueteras de Plástico:

- ❖ Utilizar un inflador para el desmoldado de la briquetera.
- ❖ Aplicar presión gradual y uniforme para liberar la briqueta del molde.
- ❖ Evitar movimientos bruscos que puedan dañar la muestra.

b.2. Desmoldado de Briqueteras de Metal:

- ❖ Utilizar herramientas específicas para desmoldar metal, como palancas o dispositivos de liberación.

- ❖ Aplicar fuerza controlada para separar la briqueta del molde.
- ❖ Tomar precauciones adicionales para evitar lesiones debido a bordes afilados.

b.3. Inspección Posterior al Desmoldado:

- ❖ Evaluar visualmente las briquetas después del desmoldado para detectar posibles daños o deformaciones.
- ❖ Registrar cualquier anomalía observada.

b.4. Almacenamiento de Briquetas Desmoldeadas:

- ❖ Colocar las briquetas desmoldeadas en un área designada para su almacenamiento.
- ❖ Mantener registros de la ubicación y condiciones de almacenamiento.

b.5. Limpieza y Mantenimiento:

- ❖ Limpiar y mantener los moldes de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- ❖ Almacenar los moldes de manera adecuada para prevenir deformaciones o daños.

b.6. Documentación:

- ❖ Registrar los detalles del desmoldado, incluyendo fecha, hora y condiciones ambientales.
- ❖ Mantener registros de cualquier problema o peculiaridad observada durante el proceso.

3.8.3.2. Procedimiento Durante el Curado

Todos los especímenes fueron curados en la cámara de agua a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ $^{\circ}\text{C}$, hasta el momento del ensayo de ruptura a los 28 días, cuyo procedimiento se detalla a continuación:

a) Preparación de las Briquetas:

- ❖ Verificar que las briquetas estén en condiciones adecuadas, sin daños visibles.
- ❖ Registrar el peso y dimensiones de cada briqueta.

b) Suministro de Agua

- ❖ Asegurarse de que la cámara de curado con agua esté limpia y en buen estado.

Suministrar el agua a la cámara de tal modo que este llena.

Ilustración 63

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ en el estanque metálico de curado – Curado tradicional por inmersión en agua a $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$



Nota. Fuente: Elaboración propia

c) Configuración de la Cámara de Agua a $23\text{ }^\circ\text{C}$:

- ❖ Verificar el funcionamiento del sistema de control de temperatura del agua.
- ❖ Realizar un set point en la temperatura en $23\text{ }^\circ\text{C}$.
- ❖ Esperar que la temperatura del agua lleve a la temperatura seteada, nuestra cámara de curada lleva a esa temperatura en próximamente 15 minutos.

Ilustración 64

Verificación de la temperatura de curado tradicional por inmersión en agua a $23\text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$



Nota. Fuente: Elaboración propia

d) Colocación de las Briquetas:

- ❖ Colocar las briquetas dentro de la cámara de curado, asegurando un espacio adecuado entre ellas para una distribución uniforme del calor.

Ilustración 65

Curado tradicional por inmersión en agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

e) Control de Temperatura:

- ❖ Monitorizar el sistema de configuración de la cámara y verificar que la temperatura del agua se mantenga constante a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Ilustración 66

Curado tradicional por inmersión en agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ de briquetas de concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ en el estanque metálico de curado



Nota. Fuente: Elaboración propia

f) Duración del Curado:

- ❖ Mantener las briquetas bajo condiciones de agua caliente a la temperatura especificada durante el tiempo de 28 días.

Ilustración 67

Inicio del curado tradicional por inmersión en agua a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ de briquetas de concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ para diseño de mezclas.



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesistas: Frank Samuel Arzapalo Panduro y Rodrigo Aaron Machaca Conde

Tabla 51

Programa de curado de briquetas por inmersión en agua

Briquetas	Cantidad	Tipo de Curado	Tiempo de curado	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)
Briquetas cilíndricas $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ - Diseño de mezclas	2	Por Inmersión	7 días	23
	15	Por Inmersión	28 días	23
Briquetas cilíndricas $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ - Curado tradicional	2	Por Inmersión	1 día ^(a)	
	6	Por Inmersión	28 días	23
Briquetas cilíndricas $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ - Diseño de mezclas	2	Por Inmersión	7 días	23
	15	Por Inmersión	28 días	23
Briquetas cilíndricas $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ - Curado tradicional	2	Por Inmersión	1 día ^(a)	
	6	Por Inmersión	28 días	23

Nota. (a) En el caso de 1 día, los especímenes fueron desmoldados a 1 día y ensayados inmediatamente después. Fuente: Elaboración propia.

g) Finalización del Curado:

- ❖ Apagar las resistencias de la cámara para posteriormente extraer las briquetas.

h) Retiro de las Briquetas:

- ❖ Retirar las briquetas de la cámara con cuidado.
- ❖ Registrar cualquier cambio en las propiedades físicas observadas.

i) Inspección Posterior al Curado:

- ❖ Evaluar visualmente las briquetas en busca de deformaciones, grietas u otros problemas.

j) Documentación:

- ❖ Mantener registros detallados del proceso de curado, incluyendo parámetros, duración y condiciones ambientales.
- ❖ Registrar los resultados de las pruebas de resistencia posteriores al curado.

3.8.3.3. Procedimiento Después del Curado

Posterior al curado, se procedió a esperar que los especímenes se secaran por 1 día, para luego efectuar el ensayo de compresión.

3.8.4. Curado con Vapor de Agua

El curado con vapor de agua que se realizó en la presente investigación se dividió en tres etapas, el calentamiento donde la temperatura incrementó con una gradiente controlada, el curado propiamente dicho donde la temperatura se mantiene constante y el enfriamiento donde la temperatura disminuyó con una gradiente controlada. Los tiempos de curado que se toman como variable independiente hace referencia al tiempo de curado propiamente dicho donde la temperatura se mantiene constante (50°C o 70°C) y la humedad supera el 95%.

3.8.4.1. Determinación de las Temperaturas Utilizadas para el Curado con Vapor de Agua y de la Gradiente de Subida y de Bajada

La elección de las temperaturas se basó en un criterio de tomar la temperatura máxima y mínima de estudio en base a bibliografía y normativas mencionadas en esta tesis.

Según la NTP E060 de Concreto Armado en el inciso 5.13.3 correspondiente a los requisitos para el curado nos indica que, durante el proceso de hidratación del cemento, la temperatura interna del concreto no debe de sobrepasar los 75 °C, ello con el objetivo de evitar la etringita diferida.

De acuerdo con la Reglamento CIRSOC 201- Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón en el inciso 5.10.6 correspondiente a los requisitos para el curado con vapor de agua nos exige que la temperatura máxima de curado a vapor no debe de superar los 70 °C en cualquier lugar de la cámara y que la humedad dentro de la cámara no debe ser menor a 95% durante el curado.

Según el ACI 517.2R – Curado Acelerado del Concreto a Presión Atmosférica en el ítem 3.4.1 correspondiente al curado de elementos prefabricados se menciona que la mayoría de los elementos prefabricados se curan a temperaturas entre los 52 y 85 °C, durante periodos de 12 a 72 horas y como temperaturas mínimas de curado se tiene entre 22 a 44 °C, por otro lado, nos dice que la velocidad de calefacción más frecuente es de 15 a 20 °C/hora y la velocidad de enfriamiento es de 10 a 12 °C/hora.

Según Da Silva en el inciso 6 correspondiente al curado a vapor, se menciona que la temperatura máxima de curado es de 90 °C y como mínimo oscila entre 50 °C y 60 °C.

En base a todo lo mencionado se deduce que la temperatura máxima depende del punto de ebullición del agua, es decir se debe tomar como máxima temperatura aquella que no la supera, por lo tanto esta temperatura es variable porque debido a la presión atmosférica varía dependiendo de la ubicación, y la razón del porque no se debe superar la temperatura de ebullición del agua es para evitar la evaporación del agua contenida en el espécimen de concreto, de lo contrario no habría hidratación del cemento, por otro lado la temperatura mínima debe ser la más óptima en cuanto a tiempo de curado teniendo ello en cuenta se eligió la temperatura de 50 °C

Finalmente, en base a todo lo mencionado se tomó como temperatura máxima los 70 °C, para evitar hinchazones por la eliminación del agua de la mezcla y como mínima la temperatura de 50 °C, ya que temperaturas menores retrasarían el proceso dejando de ser óptimo, en cuanto a la gradiente de subida se tomó 20 °C/hora y de bajada de 10 °C/hora, todo ello de acuerdo con los lineamientos del ACI 517.2R.

3.8.4.2. Procedimiento Antes del Curado

Para el curado con vapor de agua a 50°C y 70°C de especímenes de concreto se siguió el siguiente procedimiento:

a) Almacenamiento Inicial de los Especímenes

Cubrir los especímenes inmediatamente después del moldeado para evitar la evaporación del agua del concreto no endurecido. Preferiblemente, utilizar un material no absorbente, no reactivo o una lámina de plástico resistente, durable e impermeable.

b) Desmoldado

El desmoldado de los especímenes según la norma se realizó después de 24 h \pm 8 h después del vaciado del concreto a las briqueteras, en nuestro caso usamos tanto briqueteras de plástico y de metal, el procedimiento se detalla a continuación

b.1. Desmoldado de Briquetas de Plástico:

- ❖ Utilizar un inflador para el desmoldado de la briquetera.
- ❖ Aplicar presión gradual y uniforme para liberar la briqueta del molde.
- ❖ Evitar movimientos bruscos que puedan dañar la muestra.

b.2. Desmoldado de Briquetas de Metal:

- ❖ Utilizar herramientas específicas para desmoldar metal, como palancas o dispositivos de liberación.
- ❖ Aplicar fuerza controlada para separar la briqueta del molde.
- ❖ Tomar precauciones adicionales para evitar lesiones debido a bordes afilados.

b.3. Inspección Posterior al Desmoldado:

- ❖ Evaluar visualmente las briquetas después del desmoldado para detectar posibles daños o deformaciones.
- ❖ Registrar cualquier anomalía observada.

b.4. Almacenamiento de Briquetas Desmoldeadas:

- ❖ Colocar las briquetas desmoldeadas en un área designada para su almacenamiento.
- ❖ Mantener registros de la ubicación y condiciones de almacenamiento.

b.5. Limpieza y Mantenimiento:

- ❖ Limpiar y mantener los moldes de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- ❖ Almacenar los moldes de manera adecuada para prevenir deformaciones o daños.

b.6. Documentación:

- ❖ Registrar los detalles del desmoldado, incluyendo fecha, hora y condiciones ambientales.
- ❖ Mantener registros de cualquier problema o peculiaridad observada durante el proceso.

3.8.4.3. Procedimiento Durante el Curado

a) Preparación de las Briquetas:

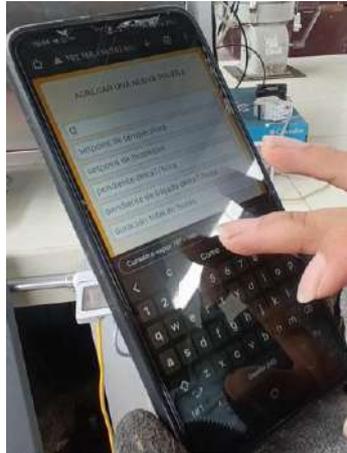
- ❖ Verificar que las briquetas estén en condiciones adecuadas, sin daños visibles.
- ❖ Registrar el peso y dimensiones de cada briqueta.

b) Configuración de la Cámara de Vapor:

- ❖ Asegurarse de que la cámara de curado con vapor esté limpia y en buen estado.
- ❖ Verificar el funcionamiento del sistema de control de temperatura y humedad.

Ilustración 68

Configuración de los parámetros en la interfaz para el curado con vapor de agua



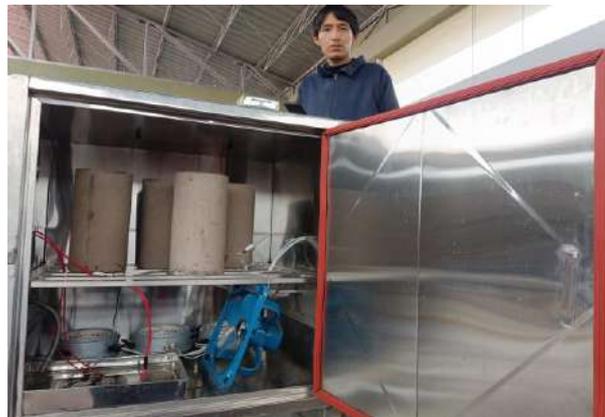
Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

c) Colocación de las Briquetas:

Colocar las briquetas dentro de la cámara de curado, asegurando un espacio adecuado entre ellas para una distribución uniforme del vapor.

Ilustración 69

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado a vapor a $70\text{ }^\circ\text{C} - 14\text{H}$



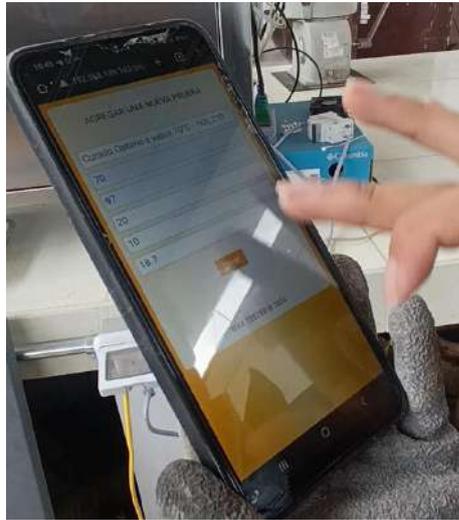
Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

d) Programación de Parámetros:

Configurar los parámetros de curado, incluyendo temperatura y tiempo, en cuanto a la humedad esta se mantendrá por defecto en un rango mayor a 95%, para nuestro caso las temperaturas de curado serán de $50\text{ }^\circ\text{C}$ y $70\text{ }^\circ\text{C}$ para ambas resistencias y el programa de curado con vapor de agua se detalla a continuación.

Ilustración 70

Parámetros configurados en la interfaz para el curado con vapor de agua



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Tabla 52

Programa de curado con vapor de agua

Briquetas	Cantidad	Tipo de Curado	Tiempo de curado	Temperatura de Curado (°C)
Briquetas cilíndricas $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ - Curado a vapor a 70°C	2	A vapor	6 h	70
	2	A vapor	14 h	70
	2	A vapor	18 h	70
	6	A vapor	16 h	70
	4	A vapor	16 h, 28 días	70
Briquetas cilíndricas $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ - Curado a vapor a 50°C	2	A vapor	8 h	50
	2	A vapor	12 h	50
	2	A vapor	16 h	50
	6	A vapor	48 h	50
Briquetas cilíndricas $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ - Curado a vapor a 70°C	2	A vapor	6 h	70
	2	A vapor	14 h	70
	2	A vapor	18 h	70
	6	A vapor	16 h	70
	4	A vapor	16 h, 28 días	70
Briquetas cilíndricas $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ - Curado a vapor a 50°C	2	A vapor	8 h	50
	2	A vapor	12 h	50
	2	A vapor	16 h	50
	6	A vapor	48 h	50

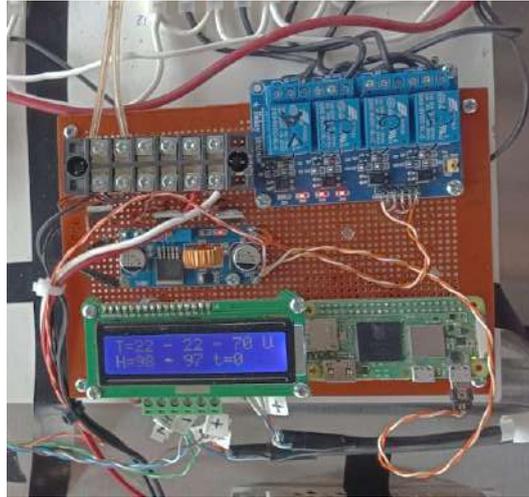
Nota. Fuente: Elaboración propia

e) **Inicio del Proceso de Curado:**

Iniciar el suministro de vapor de acuerdo con el programa establecido, el incremento de la temperatura es de un gradiente de 20 °C/h y el descenso tiene un gradiente de 10°C/h, establecido por normativa.

Ilustración 71

Verificación de los datos de temperatura y humedad dentro de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

f) **Duración del Curado:**

- ❖ Mantener las briquetas bajo condiciones de vapor de acuerdo con el tiempo especificado en el programa.
- ❖ Monitorear continuamente la temperatura y la humedad para asegurar la uniformidad del curado.

g) **Finalización del Curado:**

- ❖ Disminuir la temperatura de manera gradual de acuerdo con el gradiente para la posterior extracción de las briquetas.
- ❖ Permitir que las briquetas se enfríen gradualmente dentro de la cámara.

h) **Retiro de las Briquetas:**

- ❖ Retirar las briquetas de la cámara con cuidado.
- ❖ Registrar cualquier cambio en las propiedades físicas observadas.

Ilustración 72

*Extracción de briquetas de concreto de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{kg/cm}^2$ de la cámara de vapor-
Curado a vapor a $70^\circ\text{C} - 18\text{H}$*



Nota. Fuente: Elaboración propia

i) Inspección Posterior al Curado:

- ❖ Evaluar visualmente las briquetas en busca de deformaciones, grietas u otros problemas.
- ❖ Realizar pruebas de resistencia según las normativas aplicables.

j) Documentación:

- ❖ Mantener registros detallados del proceso de curado, incluyendo parámetros, duración y condiciones ambientales.
- ❖ Registrar los resultados de las pruebas de resistencia posteriores al curado.

3.8.5. Datos del curado con vapor de agua

3.8.5.1. Datos del Curado con Vapor de Agua en los Especímenes de Concreto

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

En la tabla 53 se observa datos esenciales sobre el curado con vapor de agua a 70°C para el concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, los cuales fueron extraídos de la memoria del sistema de la cámara de vapor.

Tabla 53*Detalle del curado con vapor de agua en los especímenes de concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$*

Código de Muestra	Fecha de moldeo	Fecha de Inicio de Curado	Hora de Inicio de Incremento de Temperatura	Hora de Inicio de Curado	Fecha de Fin de Curado	Hora de fin de curado	Fecha de Fin de Descenso de temperatura	Hora de fin del ciclo de curado	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)
CV28070-5	26/02/2024	27/02/2024	09:30:35	12:00:35	27/02/2024	18:00:35	28/02/2024	10:26:35	28/02/2024	70	6
CV28070-6	26/02/2024	27/02/2024	09:30:35	12:00:35	27/02/2024	18:00:35	28/02/2024	10:26:35	28/02/2024	70	6
CV28070-1	20/02/2024	21/02/2024	10:07:39	12:37:39	22/02/2024	02:37:39	22/02/2024	11:54:39	23/02/2024	70	14
CV28070-2	20/02/2024	21/02/2024	10:07:39	12:37:39	22/02/2024	02:37:39	22/02/2024	11:54:39	23/02/2024	70	14
CV28070-3	21/02/2024	22/02/2024	12:01:38	14:31:38	23/02/2024	08:31:38	24/02/2024	01:40:38	24/02/2024	70	18
CV28070-4	21/02/2024	22/02/2024	12:01:38	14:31:38	23/02/2024	08:31:38	24/02/2024	01:40:38	24/02/2024	70	18
CVO28070-1	12/03/2024	13/03/2024	13:37:36	16:07:36	14/03/2024	08:07:36	14/03/2024	21:47:36	15/03/2024	70	16
CVO28070-2	12/03/2024	13/03/2024	13:37:36	16:07:36	14/03/2024	08:07:36	14/03/2024	21:47:36	15/03/2024	70	16
CVO28070-3	12/03/2024	13/03/2024	13:37:36	16:07:36	14/03/2024	08:07:36	14/03/2024	21:47:36	15/03/2024	70	16
CVO28070-4	12/03/2024	13/03/2024	13:37:36	16:07:36	14/03/2024	08:07:36	14/03/2024	21:47:36	15/03/2024	70	16
CVO28070-5	12/03/2024	13/03/2024	13:37:36	16:07:36	14/03/2024	08:07:36	14/03/2024	21:47:36	15/03/2024	70	16
CVO28070-6	12/03/2024	13/03/2024	13:37:36	16:07:36	14/03/2024	08:07:36	14/03/2024	21:47:36	15/03/2024	70	16
CV28050-3	28/02/2024	29/02/2024	10:25:54	11:55:54	29/02/2024	19:55:54	01/03/2024	10:00:54	02/03/2024	50	8
CV28050-4	28/02/2024	29/02/2024	10:25:54	11:55:54	29/02/2024	19:55:54	01/03/2024	10:00:54	02/03/2024	50	8
CV28050-1	27/02/2024	28/02/2024	10:50:41	12:20:41	28/02/2024	00:20:41	29/02/2024	06:27:41	01/03/2024	50	12
CV28050-2	27/02/2024	28/02/2024	10:50:41	12:20:41	28/02/2024	00:20:41	29/02/2024	06:27:41	01/03/2024	50	12
CV28050-5	29/02/2024	01/03/2024	11:04:05	12:34:05	02/03/2024	04:34:05	02/03/2024	19:19:05	02/03/2024	50	16
CV28050-6	29/02/2024	01/03/2024	11:04:05	12:34:05	02/03/2024	04:34:05	02/03/2024	19:19:05	02/03/2024	50	16
CVO28050-1	14/03/2024	15/03/2024	08:58:53	10:28:53	17/03/2024	10:28:53	18/03/2024	11:10:53	19/03/2024	50	48
CVO28050-2	14/03/2024	15/03/2024	08:58:53	10:28:53	17/03/2024	10:28:53	18/03/2024	11:10:53	19/03/2024	50	48
CVO28050-3	14/03/2024	15/03/2024	08:58:53	10:28:53	17/03/2024	10:28:53	18/03/2024	11:10:53	19/03/2024	50	48
CVO28050-4	14/03/2024	15/03/2024	08:58:53	10:28:53	17/03/2024	10:28:53	18/03/2024	11:10:53	19/03/2024	50	48
CVO28050-5	14/03/2024	15/03/2024	08:58:53	10:28:53	17/03/2024	10:28:53	18/03/2024	11:10:53	19/03/2024	50	48
CVO28050-6	14/03/2024	15/03/2024	08:58:53	10:28:53	17/03/2024	10:28:53	18/03/2024	11:10:53	19/03/2024	50	48

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.5.2. Datos del curado con vapor de agua en los especímenes de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

En la tabla 54 se observa datos esenciales sobre el curado con vapor de agua a 70°C para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, los cuales fueron extraídos de la memoria del sistema de la cámara de vapor.

Tabla 54

Detalle del curado con vapor de agua en los especímenes de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Código de Muestra	Fecha de moldeo	Fecha de Inicio de Curado	Hora de Inicio de Incremento de Temperatura	Hora de Inicio de Curado	Fecha de Fin de Curado	Hora de fin de curado	Fecha de Fin de Descenso de temperatura	Hora de fin del ciclo de curado	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)
CV21070-5	26/02/2024	27/02/2024	09:30:35	12:00:35	27/02/2024	18:00:35	28/02/2024	10:26:35	28/02/2024	70	6
CV21070-6	26/02/2024	27/02/2024	09:30:35	12:00:35	27/02/2024	18:00:35	28/02/2024	10:26:35	28/02/2024	70	6
CV21070-1	20/02/2024	21/02/2024	10:07:39	12:37:39	22/02/2024	02:37:39	22/02/2024	11:54:39	23/02/2024	70	14
CV21070-2	20/02/2024	21/02/2024	10:07:39	12:37:39	22/02/2024	02:37:39	22/02/2024	11:54:39	23/02/2024	70	14
CV21070-3	21/02/2024	22/02/2024	12:01:38	14:31:38	23/02/2024	08:31:38	24/02/2024	01:40:38	24/02/2024	70	18
CV21070-4	21/02/2024	22/02/2024	12:01:38	14:31:38	23/02/2024	08:31:38	24/02/2024	01:40:38	24/02/2024	70	18
CVO21070-1	18/03/2024	19/03/2024	10:50:46	13:20:46	20/03/2024	05:20:46	21/03/2024	01:03:46	22/03/2024	70	16
CVO21070-2	18/03/2024	19/03/2024	10:50:46	13:20:46	20/03/2024	05:20:46	21/03/2024	01:03:46	22/03/2024	70	16
CVO21070-3	18/03/2024	19/03/2024	10:50:46	13:20:46	20/03/2024	05:20:46	21/03/2024	01:03:46	22/03/2024	70	16
CVO21070-4	18/03/2024	19/03/2024	10:50:46	13:20:46	20/03/2024	05:20:46	21/03/2024	01:03:46	22/03/2024	70	16
CVO21070-5	18/03/2024	19/03/2024	10:50:46	13:20:46	20/03/2024	05:20:46	21/03/2024	01:03:46	22/03/2024	70	16
CVO21070-6	18/03/2024	19/03/2024	10:50:46	13:20:46	20/03/2024	05:20:46	21/03/2024	01:03:46	22/03/2024	70	16
CV21050-3	28/02/2024	29/02/2024	10:25:54	11:55:54	29/02/2024	19:55:54	01/03/2024	10:00:54	02/03/2024	50	8
CV21050-4	28/02/2024	29/02/2024	10:25:54	11:55:54	29/02/2024	19:55:54	01/03/2024	10:00:54	02/03/2024	50	8
CV21050-1	27/02/2024	28/02/2024	10:50:41	12:20:41	28/02/2024	00:20:41	29/02/2024	06:27:41	01/03/2024	50	12
CV21050-2	27/02/2024	28/02/2024	10:50:41	12:20:41	28/02/2024	00:20:41	29/02/2024	06:27:41	01/03/2024	50	12
CV21050-5	29/02/2024	01/03/2024	11:04:05	12:34:05	02/03/2024	04:34:05	02/03/2024	19:19:05	02/03/2024	50	16

CV21050-6	29/02/2024	01/03/2024	11:04:05	12:34:05	02/03/2024	04:34:05	02/03/2024	19:19:05	02/03/2024	50	16
CVO21050-1	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-2	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-3	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-4	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-5	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-6	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-7	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48
CVO21050-8	20/03/2024	21/03/2024	08:35:42	10:05:42	23/03/2024	10:05:42	23/03/2024	18:56:42	25/03/2024	50	48

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.5.3. Procedimiento Después del Curado

Finalizado el curado, se procedió a realizar las pruebas de resistencia al día siguiente según las normativas aplicables.

3.8.6. Refrendado de Testigos de Concreto (CAPPING)

- a) Preparación de cilindros de concreto: Selecciona los cilindros de concreto que se refrendarán. Límpialos y asegúrate de que estén completamente curados antes de comenzar el proceso.
- b) Preparación del material de refrendado: Sigue las instrucciones del fabricante para preparar el yeso de alta resistencia, mezclándolo con agua para lograr la consistencia adecuada.
- c) Colocación del cilindro de concreto: Coloca el cilindro de concreto en posición vertical sobre la placa de refrendado y nivélalo para coincidir con la superficie superior de la placa. Asegúrate de que la base del cilindro y la placa estén limpias y libres de polvo.
- d) Aplicación del material de refrendado: Vierte cuidadosamente el yeso de alta resistencia sobre la parte superior del cilindro. Asegúrate de que el yeso se distribuya uniformemente y cubra toda la superficie del extremo del cilindro.
- e) Colocación de la segunda placa y presión: Coloca la segunda placa de refrendado en la parte superior del capping, asegurándote de que se asiente de manera uniforme sobre el yeso. Aplica una presión uniforme hacia abajo para asegurar un buen contacto entre el yeso, el cilindro y la placa.
- f) Fraguado y tiempo de espera: Permite que el capping fragüe según las instrucciones del fabricante del yeso. Esto puede tomar un tiempo específico, así que consulta las recomendaciones del producto. Mantén el capping inmóvil durante este tiempo para evitar movimientos que puedan afectar su conformación.
- g) Extracción y verificación: Una vez que el capping ha fraguado completamente, retira el conjunto de placas y cilindro refrendado. Verifica visualmente que la superficie del capping esté plana, sin imperfecciones y cumpla con los estándares requeridos.

Ilustración 73

Refrendado con CAPPING de las briquetas – Segundo vaciado de prueba



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.7. Ensayos de Concreto en Estado Endurecido

Antes de realizar los respectivos ensayos de compresión, es importante revisar la Tabla N 56, para verificar la edad de ensayo y su tolerancia permisible para su ruptura

Tabla 55

Edades de ensayo y tolerancias permisibles

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h o 2.1 %
3 d	± 2 h o 2.8 %
7 d	± 6 h o 3.6 %
28 d	± 20 h o 3.0 %
90 d	± 48 h o 2.2 %

Nota. Fuente: NTP 339.034

Se siguió el siguiente procedimiento para los ensayos a compresión de los especímenes de concreto

a) **Colocación del Espécimen:**

- Posicionar el bloque de rotura inferior con la cara endurecida hacia arriba bajo el bloque superior de apoyo esférico.
- Limpiar las superficies de contacto y ubicar el espécimen sobre el bloque inferior.

b) **Verificación del Cero y Alineación:**

- Confirmar que el indicador de carga esté en cero.

- Inclinar suavemente la parte móvil del bloque de asiento esférico antes de la carga, alineando su superficie de apoyo con la parte superior del espécimen.

c) **Aplicación Controlada de Carga:**

- Aplicar la carga a una velocidad medida para obtener una velocidad de esfuerzo de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.
- Mantener la velocidad de movimiento durante al menos la mitad final de la fase de carga anticipada.

d) **Fase de Carga Anticipada:**

- En la primera mitad, se permite una velocidad de carga más alta, controlada para evitar cargas de choque.

e) **Registro de Datos:**

- Registrar la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo.
- Describir y esquematizar el patrón de fractura, indicando cualquier irregularidad o evidencia de segregación.

En la presente investigación, se realizó el siguiente programa de ensayos a compresión de las briquetas de concreto curadas por inmersión en agua a 23° y curadas a vapor a 50°C y a 70°C.

Tabla 56*Programa de Ensayo a compresión de los especímenes de concreto*

	Tipo de Espécimen	Programa de Curado y edad
1	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con por inmersión en agua 7 días
2	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con por inmersión en agua 7 días
3	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con por inmersión en agua a los 28 días
4	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 14 horas
5	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 18 horas
6	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 6 horas
7	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 50°C – 12 horas
8	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 50°C – 8 horas
9	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 50°C – 16 horas
12	$f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Desmoldado 1 día
13	$f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 16 horas
14	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con por inmersión en agua a los 28 días
15	$f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 50°C – 48 horas
16	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$	Desmoldado 1 día
17	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 16 horas
18	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 50°C – 48 horas
19	$f'c=280\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 16 horas, 28 días después
20	$f'c=210\text{kgf/cm}^2$	Curado con vapor de agua a 70°C – 16 horas, 28 días después

Nota. Fuente: Elaboración Propia

3.8.7.1. Rotura de Primer Vaciado de prueba– Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$

$f'c=280\text{kgf/cm}^2$

Ilustración 74

Ensayo de compresión para el primer vaciado de prueba – 7 días



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.2. Rotura de Segundo Vaciado de Prueba - Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$

Ilustración 75

Ensayo de compresión para el segundo vaciado de prueba – 7 días



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.7.3. Rotura de Vaciado de Diseño de Mezclas de Concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ a la Edad de 28 Días

Ilustración 76

Fallas de rotura – diseño de mezclas de 210kgf/cm^2 y 280kgf/cm^2





Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 77

Briquetas después del ensayo de compresión – diseño de mezclas de 210 kgf/cm² y 280kgf/cm²

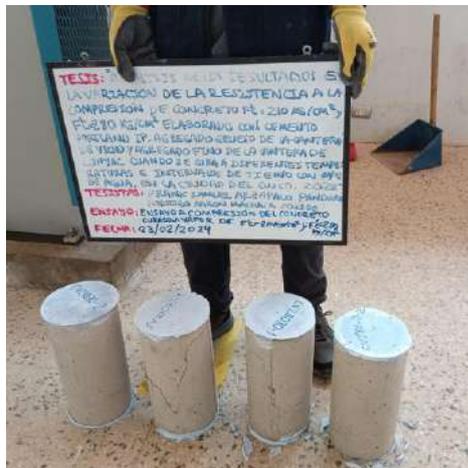


Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.7.4. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 70°C – 14 horas

Ilustración 78

Fallas de rotura para el concreto curadas a vapor 70°C a 14H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.5. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 70°C – 18 horas

Ilustración 79

Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a 70°C -18H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.7.6. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 70°C – 6 horas

Ilustración 80

Fallas de rotura del concreto curadas con vapor 70°C a 6H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Ilustración 81

Fallas de rotura del concreto curadas con vapor 70 °C a 6H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

3.8.7.7. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 50°C – 12 horas

Ilustración 82

Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a 50 °C a 12H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.8. Rotura de Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 50°C – 8 horas

Ilustración 83

Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a 50°C a 8H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.9. Rotura de Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 50°C – 16 horas

Ilustración 84

Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a 50°C a 16H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.10. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ a la Edad de 1 Día

Ilustración 85

Falla de roturas de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ ensayadas a compresión 1 después del moldeado



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.11. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 70°C – 16 horas

Ilustración 86

Falla de roturas de las briquetas curadas a vapor a 70°C a 16H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Ilustración 87

Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curadas a Vapor a 70°C a 16H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.12. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ para Curado con por Inmersión en Agua a los 28 Días

Ilustración 88

Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ curadas por inmersión en agua a 23°C por 28 días



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 196

Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ curadas por inmersión en agua a 23°C por 28 días



Nota. Fuente: Elaboración propia

3.8.7.13. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 50°C – 48 horas

Ilustración 89

Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curadas a vapor a 50°C – 48H

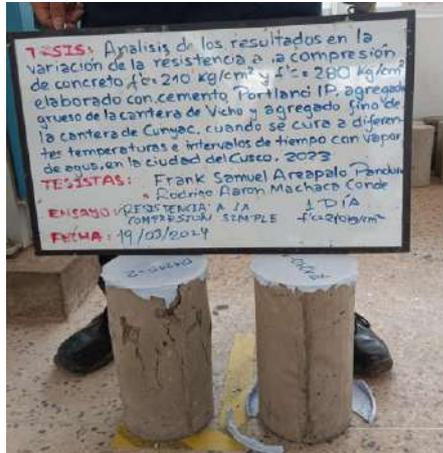


Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.14. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ a la Edad de 1 Día

Ilustración 90

Falla de roturas de las briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ ensayadas 1 después del moldeado.



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.15. Rotura de Vaciado de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a $70^\circ\text{C} - 16$ horas

Ilustración 91

Falla de roturas de briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor $70^\circ\text{C} - 16\text{H}$



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.16. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ para curado con vapor de agua a 50°C – 48 horas

Ilustración 92

Falla de Roturas de briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor 50°C – 48H



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.17. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de agua a 70°C – 16 horas, 28 Días Después

Ilustración 93

Falla de roturas de briquetas de concreto de $f'c=280\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor 70°C – 16H, ensayadas a compresión 28 días después.



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

3.8.7.18. Rotura de Vaciado de Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ para Curado con Vapor de Agua a 70°C – 16 horas, 28 Días Después

Ilustración 94

Falla de roturas de briquetas de concreto de $f'c=210\text{ kgf/cm}^2$ curadas con vapor 70°C – 16H, ensayadas a compresión 28 días después.



Nota. Fuente: Elaboración propia

4. Capítulo IV: Resultados de la Investigación

4.1. Ensayos de Prueba de Asentamiento

Se realizó pruebas de asentamiento para cada vaciado de concreto tanto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, para el diseño de mezclas, para el curado tradicional y para las diferentes temperaturas y diferentes intervalos de tiempo del curado con vapor, todo ello se muestra en la tabla 57.

Tabla 57

Slump de los vaciados de concreto realizados durante la investigación

Tipo de Concreto Vaciado	Fecha de vaciado	Slump	
		cm	in.
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	03/01/2024	10.2	4.0
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	03/01/2024	9.7	3.8
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	11/01/2024	10.2	4.0
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	12/01/2024	9.4	3.7
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	19/02/2024	10.2	4.0
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	19/02/2024	9.4	3.7
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	20/02/2024	10.2	4.0
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	20/02/2024	8.9	3.5
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	21/02/2024	8.9	3.5
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	21/02/2024	8.9	3.5
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	26/02/2024	7.9	3.1
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	26/02/2024	7.6	3.0
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	27/02/2024	8.4	3.3
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	27/02/2024	9.1	3.6
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	28/02/2024	8.9	3.5
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	28/02/2024	7.6	3.0
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	29/02/2024	8.4	3.3
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	29/02/2024	8.1	3.2
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	04/03/2024	8.1	3.2
Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$	14/03/2024	7.6	3.0
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	18/03/2024	9.7	3.8
Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$	20/03/2024	9.7	3.8

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como se observa el asentamiento esta entre 3 a 4 in. de acuerdo con el diseño de mezclas, lo cual nos dice que la trabajabilidad es óptima y cumple con el diseño propuesto.

4.2. Resistencia a la Compresión de Concreto Curado por Inmersión en Agua a 23°C

4.2.1. Resistencia a la Compresión de Especímenes para Validación de Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Tabla 58

Resultado de rotura de briquetas para Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Área (cm ²)	Carga Kg-f	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²) = Y	$Y_n - Y$	$(Y_n - Y)^2$
DM210-1	15.20	181.46	55590.00	306.3	-12.32	151.78
DM210-2	15.20	181.46	50720.00	279.5	14.48	209.67
DM210-3	15.40	186.27	56250.00	302	-8.02	64.32
DM210-4	15.40	186.27	56390.00	302.7	-8.72	76.04
DM210-5	15.10	179.08	50730.00	283.3	10.68	114.06
DM210-6	15.40	186.27	58710.00	315.2	-21.22	450.29
DM210-7	15.30	183.85	51920.00	282.4	11.58	134.10
DM210-8	15.30	183.85	56640.00	308.1	-14.12	199.37
DM210-9	15.20	181.46	51160.00	281.9	12.08	145.93
DM210-10	15.20	181.46	53990.00	297.5	-3.52	12.39
DM210-11	15.00	176.71	53700.00	303.9	-9.92	98.41
DM210-12	15.40	186.27	50050.00	268.7	25.28	639.08
DM210-13	15.30	183.85	57770.00	314.2	-20.22	408.85
DM210-14	15.30	183.85	52470.00	285.4	8.58	73.62
DM210-15	15.30	183.85	51220.00	278.6	15.38	236.54
Σ				4409.7		3014.44

Nota. Fuente: Elaboración propia

De la tabla se obtienen los siguientes resultados:

Cantidad de Datos:

N = 15 datos

Promedio:

$$Y = \Sigma / N = 4409.7/15 = 293.98 \text{ kgf/cm}^2$$

Varianza:

$$S^2 = \frac{\sum(Y_i - Y)^2}{N - 1} = 215.32$$

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2} = 14.67$$

Coefficiente de Variación:

$$V = \frac{S}{Y} = 4.99\% < 9\%$$

Según la ACI 318 el valor del coeficiente debe ser menos que 9%

“Debe cumplirse que el mayor valor de las siguientes relaciones debe ser menor que el promedio de las resistencias obtenidas para que el diseño de mezclas utilizado tenga validez.” Norma E.060

Cuando $f'c \leq 35$ MPa:

$$f'cr = f'c + 1.34Ss \dots \dots \dots (i)$$

$$f'cr = f'c + 2.33Ss - 3.5 \dots \dots \dots (ii)$$

Donde:

Ss: Es la multiplicación del coeficiente de variación estándar por el factor de modificación que según la norma E.060 para un número de 15 ensayos es de 1.16.

$$Ss = 1.16 * S$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente tenemos:

$$f'cr = f'c + 1.34Ss = 232.8 \dots \dots \dots (i)$$

$$f'cr = f'c + 2.33Ss - 3.5 = 214.0 \dots \dots \dots (ii)$$

Por lo tanto, se cumple la siguiente relación:

$$f'cr < f'c \text{ (promedio)}$$

$$232.8 \text{ kg/cm}^2 < 294.0 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.2. Resistencia a la Compresión de Especímenes para Validación de Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$

Tabla 59

Resultado de rotura de briquetas para Diseño de Mezclas para el Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$

Fecha de moldeado	12/01/2024
Fecha de vaciado	09/02/2024
Edad de Rotura	28 días
Resistencia de diseño $f'c$	280 kgf/cm^2

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Área (cm^2)	Carga Kg-f	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2) = Y	$Y_n - Y$	$(Y_n - Y)^2$
DM280-1	15.10	179.08	60550.00	338.1	-16.20	262.44
DM280-2	15.30	183.85	56620.00	308	13.80	190.44
DM280-3	15.40	186.27	56340.00	302.5	19.80	392.04
DM280-4	15.10	179.08	60560.00	338.2	-16.20	262.44
DM280-5	15.20	181.46	63410.00	349.4	-27.20	739.84
DM280-6	15.20	181.46	62670.00	345.4	-23.20	538.24
DM280-7	15.30	183.85	51090.00	277.9	43.80	1918.44
DM280-8	15.00	176.71	61400.00	347.5	-25.20	635.04
DM280-9	15.10	179.08	60150.00	335.9	-14.20	201.64
DM280-10	15.30	183.85	55320.00	300.9	20.80	432.64
DM280-11	15.40	186.27	55040.00	295.5	26.80	718.24
DM280-12	15.20	181.46	54970.00	302.9	18.80	353.44
DM280-13	15.40	186.27	60830.00	326.6	-5.20	27.04
DM280-14	15.40	186.27	60370.00	324.1	-2.20	4.84
DM280-15	15.30	183.85	61800.00	336.1	-14.20	201.64
Σ				4829		6921.07

Nota. Fuente: Elaboración propia

De la tabla se obtienen los siguientes resultados:

Cantidad de Datos:

$N = 15$ datos

Promedio:

$$Y = \Sigma / N = 4829 / 15 = 321.9 \text{ kgf/cm}^2$$

Varianza:

$$S^2 = \frac{\Sigma(Y_i - Y)^2}{N - 1} = 494.36$$

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{S^2} = 22.23$$

Coefficiente de Variación:

$$V = \frac{S}{Y} = 6.91\% < 9\%$$

Según la ACI 318 el valor del coeficiente debe ser menos que 9%

Según la norma E.060 debe cumplirse que el mayor valor de las siguientes relaciones debe ser menor que el promedio de las resistencias obtenidas para que el diseño de mezclas utilizado tenga validez

Cuando $f'c \leq 35$ MPa:

$$f'cr = f'c + 1.34Ss \dots \dots \dots (i)$$

$$f'cr = f'c + 2.33Ss - 3.5 \dots \dots \dots (ii)$$

Donde:

Ss: Es la multiplicación del coeficiente de variación estándar por el factor de modificación que según la norma E.060 para un numero de 15 ensayos es de 1.16.

$$Ss = 1.16 * S$$

Reemplazando lo valores obtenidos anteriormente tenemos:

$$f'cr = f'c + 1.34Ss = 314.6 \dots \dots \dots (i)$$

$$f'cr = f'c + 2.33Ss - 3.5 = 304.4 \dots \dots \dots (ii)$$

Por lo tanto, se cumple la siguiente relación:

$$f'cr < f'c \text{ (promedio)}$$
$$314.6 \text{ kg/cm}^2 < 321.9 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.3. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera

Tradicional a los 7 días

Tabla 60

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 7 días

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (días)		Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
					Lb-f	Kg-f		
03/01/2024	10/01/2024	23		7				
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)	
				Lb-f	Kg-f			
PR2-2101	15.20	30.10	181.46	63692	28890.00	159.2	Tipo 4	
PR2-2102	15.20	30.50	181.46	64397	29210.00	161	Tipo 3	
Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (días)		Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
					Lb-f	Kg-f		
03/01/2024	10/01/2024	23		7				
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)	
				Lb-f	Kg-f			
PR2-2801	15.20	30.30	181.46	77978	35370.00	194.9	Tipo 2	
PR2-2802	15.20	30.00	181.46	85187	38640.00	212.9	Tipo 4	

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 28 días

Tabla 61

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 28 días

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Lb-f	Kg-f		
19/02/2024	18/03/2024	23	28				
CT210-1	15.00	30.00	176.71	115081	52200.00	295.4	Tipo 4
CT210-2	15.10	30.00	179.08	120615	54710.00	305.5	Tipo 4
CT210-3	15.00	30.00	176.71	112348	50960.00	288.4	Tipo 3
CT210-4	15.10	30.10	179.08	113362	51420.00	287.1	Tipo 4
CT210-5	15.00	30.00	176.71	114795	52070.00	294.7	Tipo 2
CT210-6	15.10	30.00	179.08	111466	50560.00	282.3	Tipo 2

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 28 días

Tabla 62

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado de Manera Tradicional a los 28 días

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Lb-f	Kg-f		
19/02/2024	18/03/2024	23	28				
CT280-1	15.00	30.00	176.71	138472	62810.00	355.4	Tipo 4
CT280-2	15.00	30.40	176.71	135342	61390.00	347.4	Tipo 4
CT280-3	15.00	30.50	176.71	138032	62610.00	354.3	Tipo 4
CT280-4	15.00	30.30	176.71	134813	61150.00	346.0	Tipo 4
CT280-5	15.00	30.40	176.71	132123	59930.00	339.1	Tipo 4
CT280-6	15.00	30.50	176.71	125377	56870.00	321.8	Tipo 4

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Desmoldado a 24 Horas

Tabla 63

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ desmoldado a 24 Horas

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Lb-f	Kg-f		
18/03/2024	19/03/2024	-	24				
R121070-1	15.00	30.00	176.71	23171	10510.00	59.5	Tipo 3
R121070-2	15.00	30.00	176.71	21694	9840.00	55.7	Tipo 3

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.7. Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Desmoldado a 24 Horas

Tabla 64

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ desmoldado a 24 Horas

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Edad del concreto (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Lb-f	Kg-f		
12/03/2024	13/03/2024	-	24				
R128070-1	15.10	30.10	179.08	29961	13590.00	75.9	Tipo 3
R128070-2	14.90	30.00	174.37	26963	12230.00	70.1	Tipo 2

Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3. Resistencia a la Compresión de Concreto Curado con Vapor de Agua a 70°C

4.3.1. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70 °C-6H

Tabla 65

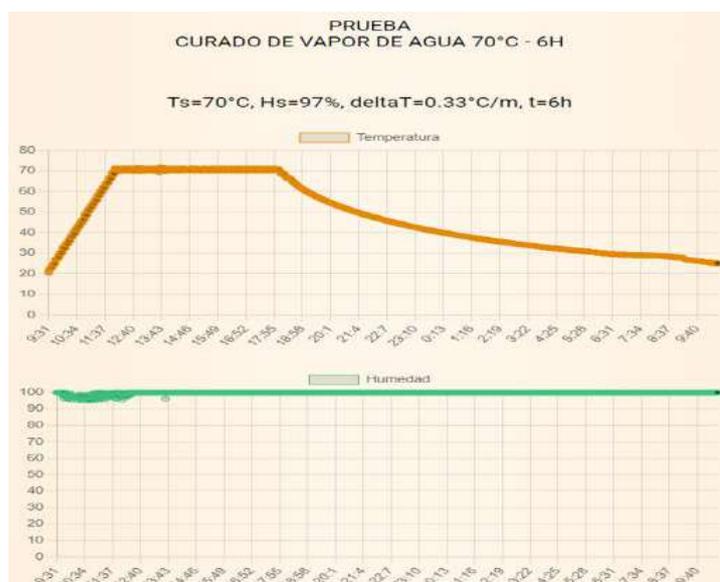
Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70 °C-6H

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresion $f'c$ (kgf/cm2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
26/02/2024	28/02/2024	70	6				
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm2)	Lb-f	Kg-f	Resistencia a la Compresion $f'c$ (kgf/cm2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
CV21070-5	15.00	30.00	176.71	71055	32230.00	182.4	Tipo 3
CV21070-6	15.00	30.00	176.71	69997	31750.00	179.7	Tipo 4
CV28070-5	15.00	30.00	176.71	89001	40370.00	228.5	Tipo 3
CV28070-6	15.00	30.00	176.71	90037	40840.00	231.1	Tipo 3

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 95

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 70 °C-16H de 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 extraído del sistema de la cámara



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -14H

Tabla 66

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -14H

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
20/02/2024	23/02/2024	70	14				
Código de Muestra	D_{promedio} (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)				
CV21070-1	15.10	30.00	179.08	101854	46200.00	258.0	Tipo 4
CV21070-2	14.90	30.30	174.37	103485	46940.00	269.2	Tipo 4
CV28070-1	15.00	30.00	176.71	125840	57080.00	323.0	Tipo 4
CV28070-2	14.80	30.10	172.03	121144	54950.00	319.4	Tipo 4

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 96

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 70°C -14H de 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 extraído del sistema de la cámara



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $70^\circ\text{C}-18\text{H}$

Tabla 67

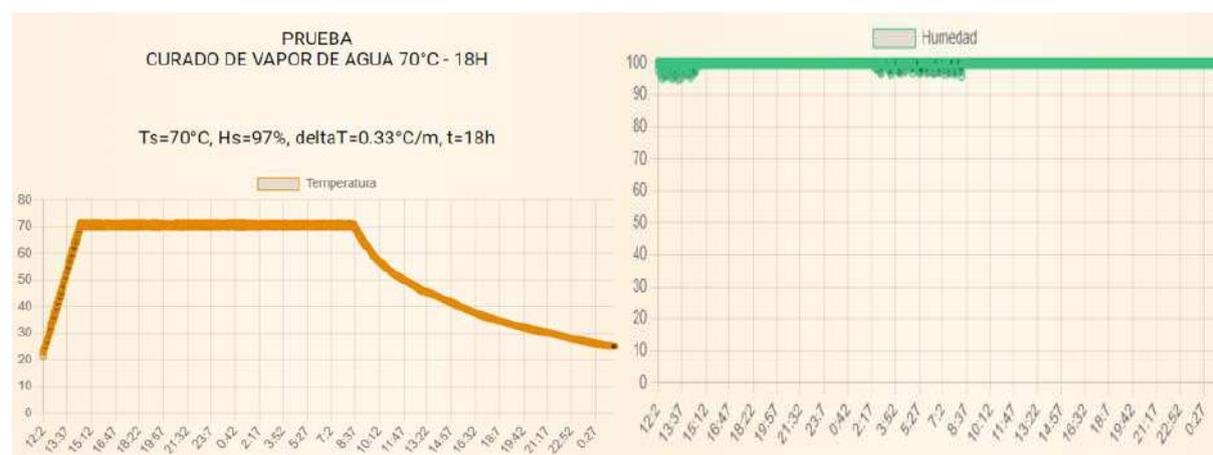
Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $70^\circ\text{C}-18\text{H}$

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
21/02/2024	24/02/2024	70	18				
Código de Muestra	D_{promedio} (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)				
CV21070-3	15.00	30.00	176.71	113075	51290.00	290.2	Tipo 3
CV21070-4	15.10	30.00	179.08	117021	53080.00	296.4	Tipo 4
CV28070-3	15.00	30.30	176.71	132608	60150.00	340.4	Tipo 4
CV28070-4	14.90	30.10	174.37	134901	61190.00	350.9	Tipo 3

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 97

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor $70^\circ\text{C}-18\text{H}$ de 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Óptimo Con Vapor de Agua a 70°C -16H

Tabla 68

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 70°C -16H

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)
18/03/2024	22/03/2024	70	16

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
CVO21070-1	14.70	30.00	169.72	112061	50830.00	299.5	Tipo 4
CVO21070-2	15.00	30.00	176.71	102978	46710.00	264.3	Tipo 3
CVO21070-3	15.00	29.90	176.71	114839	52090.00	294.8	Tipo 4
CVO21070-4	14.90	30.00	174.37	124010	56250.00	322.6	Tipo 3
CVO21070-5	15.20	30.10	181.46	120328	54580.00	300.8	Tipo 2
CVO21070-6	15.00	30.30	176.71	106395	48260.00	273.1	Tipo 4

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)
12/03/2024	15/03/2024	70	16

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
CVO28070-1	15.00	30.00	176.71	133997	60780	344.0	Tipo 4
CVO28070-2	15.00	30.00	176.71	136753	62030	351.0	Tipo 4
CVO28070-3	15.00	30.50	176.71	132829	60250	341.0	Tipo 2
CVO28070-4	14.80	30.20	172.03	134240	60890	353.9	Tipo 4
CVO28070-5	15.10	30.50	179.08	131859	59810	334.0	Tipo 1
CVO28070-6	15.00	30.50	176.71	131660	59720	338.0	Tipo 4

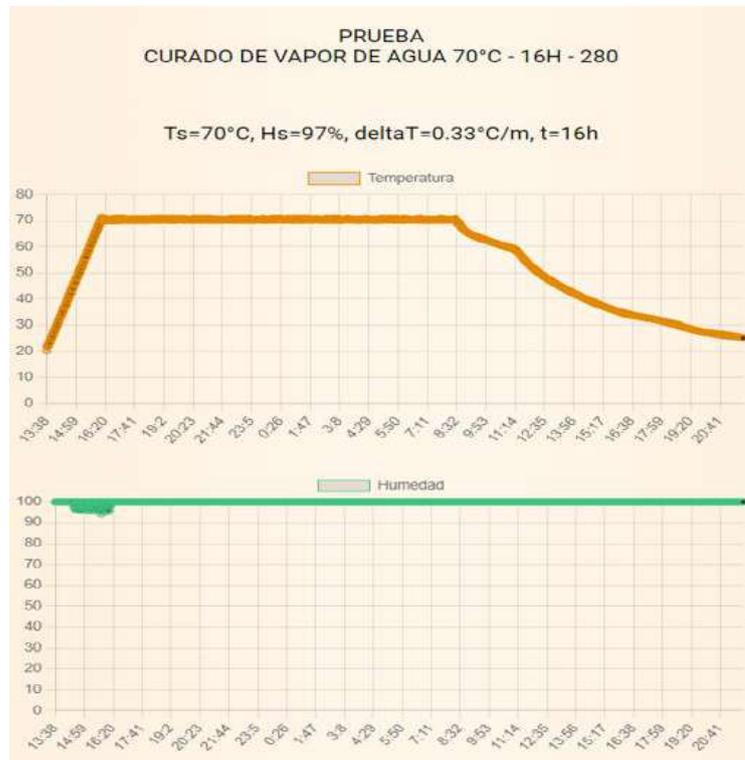
Nota. Fuente: Elaboración propia

De las 6 briquetas de resistencia a la compresión de diseño $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ que se sometieron a compresión se observa que desarrolla una resistencia de 143%, 126%, 140%, 154%, 143% y 130% respecto a la resistencia de diseño.

Por otro lado, de las 6 briquetas de resistencia a la compresión de diseño $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ que se sometieron a compresión se observa que desarrolla una resistencia de 123%, 125%, 122%, 126%, 119%, 121% respecto a la resistencia de diseño.

Ilustración 98

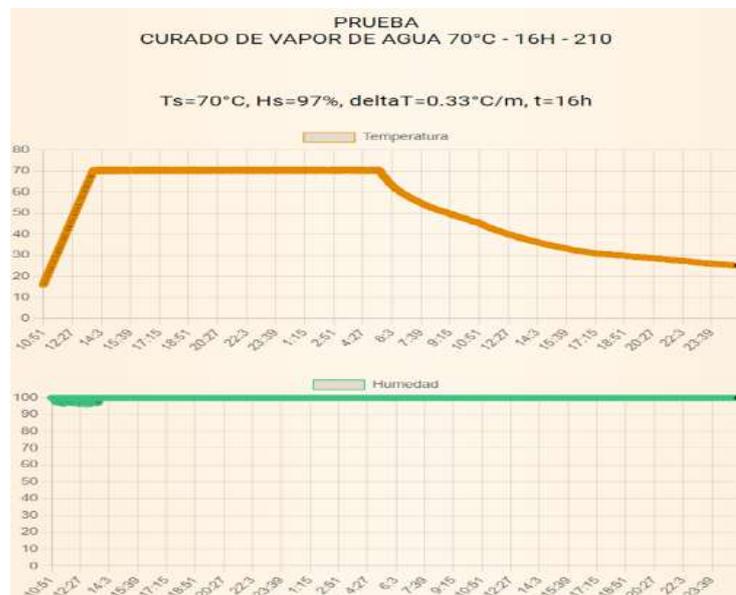
Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 70 °C-16H de 280 kg/cm² extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 99

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 70 °C-16H de 280 kg/cm² extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Óptimo con Vapor de Agua a $70^\circ\text{C} - 16\text{H}$, 28 Días Después

Tabla 69

Resultados de ensayo a la compresión del Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Óptimo con Vapor de Agua a $70^\circ\text{C} - 16\text{H}$, 28 días después

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Edad del concreto (días)	
18/03/2024	18/04/2024	70	16	31	

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
RV210-1	15.00	30.00	176.71	114266	51830.00	293.3	Tipo 3
RV210-2	15.00	30.10	176.71	116206	52710.00	298.3	Tipo 3
RV210-3	15.00	30.10	176.71	114839	52090.00	294.8	Tipo 3
RV210-4	15.00	30.00	176.71	117396	53250.00	301.3	Tipo 4

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los 4 especímenes de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ ensayados 28 días después del curado con vapor de agua a 70°C durante 16 horas, se observó que no se presentaron fisuras a simple vista y que la resistencia aumento en un 1.6% en promedio respecto al promedio de los especímenes ensayados después del curado óptimo

4.3.6. Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H, 28 días después

Tabla 70

Resultados de ensayo a la compresión del Concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H, 28 días después

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Lb-f	Kg-f		
RV280-1	15.00	30.20	176.71	137965	62580.00	354.1	Tipo 3
RV280-2	15.00	30.10	176.71	134350	60940.00	344.9	Tipo 3
RV280-3	15.00	30.10	176.71	136510	61920.00	350.4	Tipo 3
RV280-4	15.00	30.20	176.71	137458	62350.00	352.8	Tipo 3

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los 4 especímenes de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ ensayados 28 días después del curado con vapor de agua a 70°C durante 16 horas, se observó que no se presentaron fisuras a simple vista y que la resistencia aumento en un 1.9% en promedio respecto al promedio de los especímenes ensayados después del curado óptimo

4.4. Resistencia a la Compresión de Concreto Curado con Vapor de Agua a 50°C

4.4.1. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50 °C-8H

Tabla 71

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a 50 °C-8H

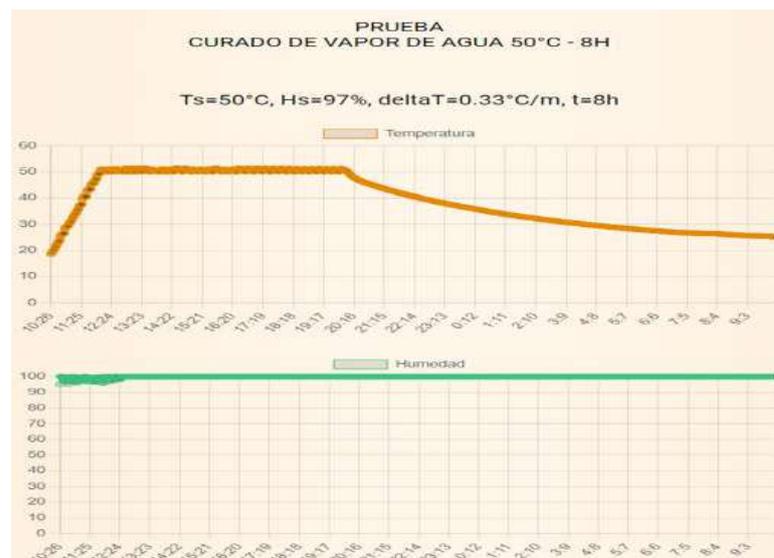
Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
28/02/2024	02/03/2024	50	8				

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
CV21050-3	15.00	30.00	176.71	58334	26460.00	149.7	Tipo 3
CV21050-4	15.00	30.00	176.71	56945	25830.00	146.2	Tipo 4
CV28050-3	15.00	30.00	176.71	70350	31910.00	180.6	Tipo 3
CV28050-4	15.00	30.00	176.71	82806	37560.00	212.6	Tipo 4

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 100

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor 50 °C-8H de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm² extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -12H

Tabla 72

Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -12H

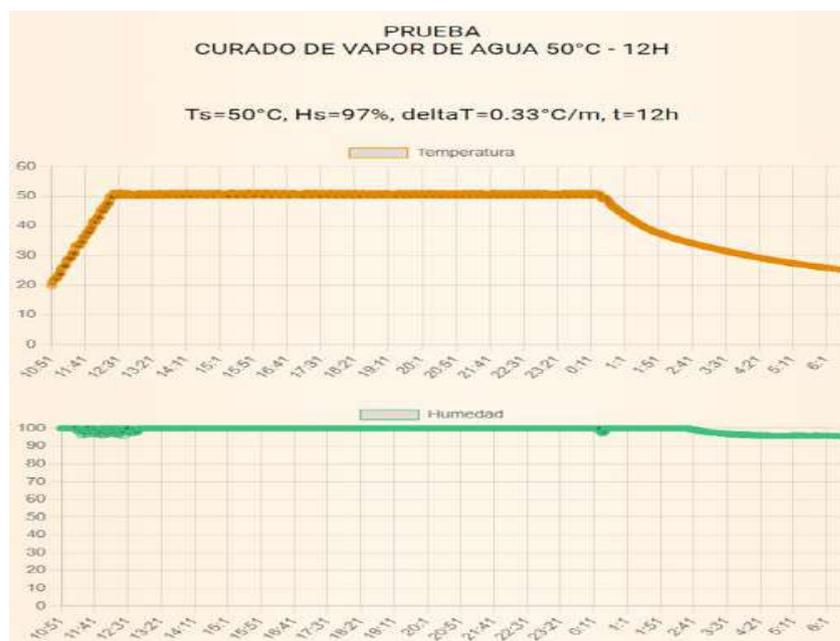
Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
27/02/2024	01/03/2024	50	12				

Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
CV21050-1	15.00	30.00	176.71	71573	32465.00	183.7	Tipo 3
CV21050-2	15.00	30.00	176.71	67638	30680.00	173.6	Tipo 3
CV28050-1	15.00	30.00	176.71	89883	40770.00	230.7	Tipo 3
CV28050-2	15.00	30.00	176.71	84724	38430.00	217.5	Tipo 3

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 101

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -12H de 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}-16\text{H}$

Tabla 73

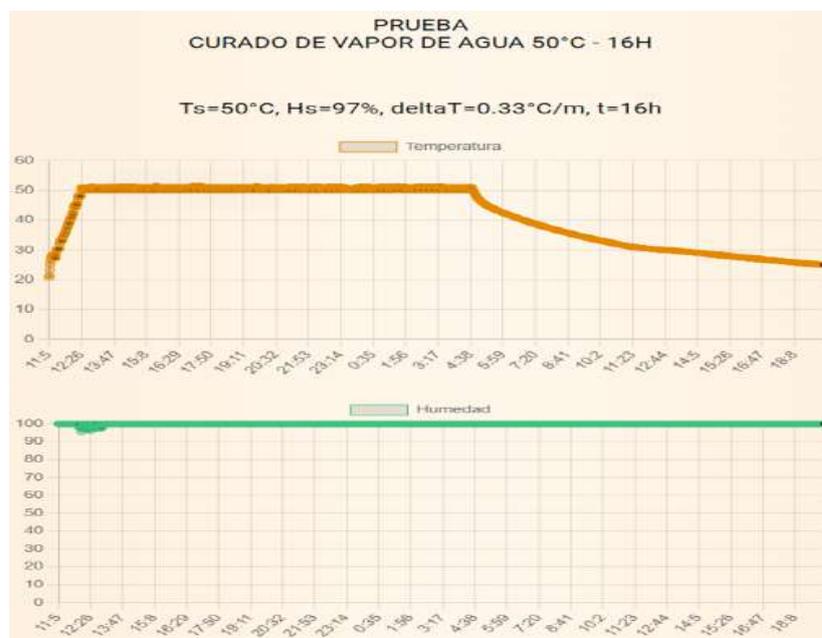
Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}-16\text{H}$

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
				Lb-f	Kg-f		
29/02/2024	02/03/2024	50	16				
Código de Muestra	D_{promedio} (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)				
CV21050-5	15.00	30.00	176.71	77448	35130.00	198.8	Tipo 4
CV21050-6	15.00	30.00	176.71	76258	34590.00	195.7	Tipo 3
CV28050-5	15.00	30.00	176.71	97026	44010.00	249.1	Tipo 3
CV28050-6	14.90	30.10	174.37	94777	42990.00	246.5	Tipo 4

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 102

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado con vapor $50 \text{ }^\circ\text{C}-16\text{H}$ de 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Óptimo Con Vapor de Agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -48H

Tabla 74

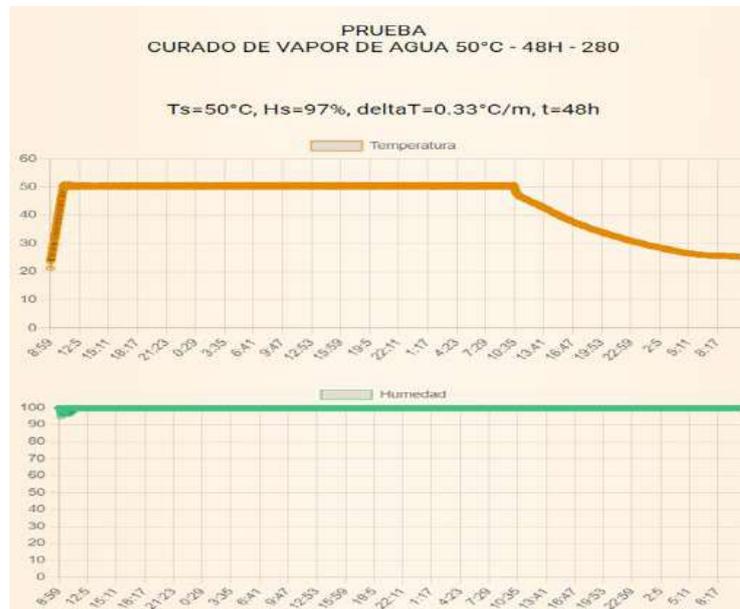
Resultado de rotura de briquetas de Concreto $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado Con Vapor de Agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -48H

Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Lb-f	Kg-f		
20/03/2024	25/03/2024	50	48				
CVO21050-1	15.00	30.20	176.71	109967	49880.00	282.3	Tipo 3
CVO21050-2	15.00	30.20	176.71	110363	50060.00	283.3	Tipo 3
CVO21050-3	15.00	30.50	176.71	110826	50270.00	284.5	Tipo 3
CVO21050-4	15.00	30.50	176.71	112414	50990.00	288.6	Tipo 3
CVO21050-5	15.00	30.30	176.71	113538	51500.00	291.4	Tipo 3
CVO21050-6	15.00	30.20	176.71	123679	56100.00	317.5	Tipo 3
Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Carga		Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Tipo de Falla (NTP 339.034)
Código de Muestra	$D_{promedio}$ (cm)	Altura (cm)	Área (cm^2)	Lb-f	Kg-f		
14/03/2024	19/03/2024	50	48				
CVO28050-1	15.00	30.30	176.71	131616	59700.00	337.8	Tipo 4
CVO28050-2	15.00	30.40	176.71	130536	59210.00	335.1	Tipo 3
CVO28050-3	15.00	30.40	176.71	135011	61240.00	346.6	Tipo 3
CVO28050-4	15.00	30.50	176.71	130712	59290.00	335.5	Tipo 3
CVO28050-5	15.00	30.40	176.71	131925	59840.00	338.6	Tipo 4
CVO28050-6	15.00	30.40	176.71	128265	58180.00	329.2	Tipo 4

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 103

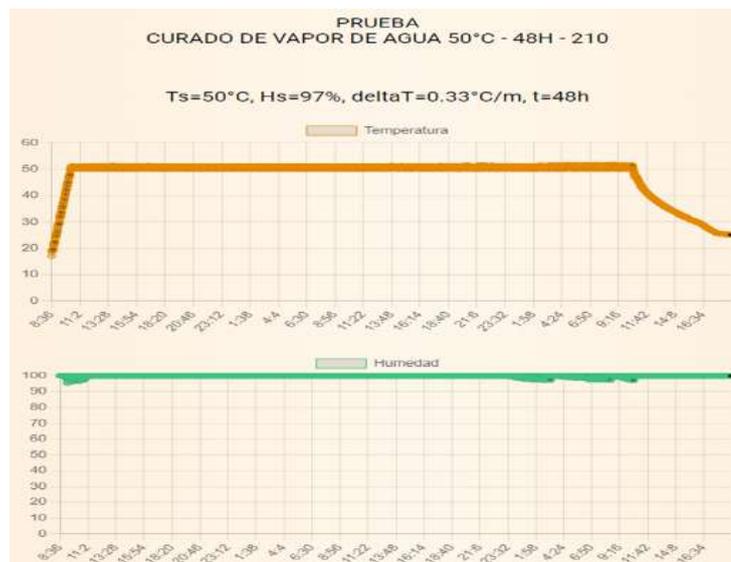
Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 50 °C-48H de 280 kgf/cm² extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 104

Gráfica de temperatura vs tiempo y humedad vs tiempo para el curado óptimo con vapor 50 °C-48H de 210 kgf/cm² extraído del sistema de la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia

De las 8 briquetas de resistencia a la compresión de diseño $f'_c=210$ kgf/cm² que se sometieron a compresión se observa que desarrolla una resistencia de 134%, 135%, 135%, 137%, 139% y 151% respecto a la resistencia de diseño.

Por otro lado, de las 6 briquetas de resistencia a la compresión de diseño $f'_c=280$ kgf/cm² que se sometieron a compresión se observa que desarrolla una resistencia de 121%, 120%, 124%, 120%, 121% y 118% respecto a la resistencia de diseño.

5. Capítulo V: Análisis y Discusión de los Resultados

5.1. Análisis de los Resultados del Asentamiento del Concreto

- ❖ Los Asentamientos del concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ fueron entre 3" a 4", según lo diseñado en el capítulo III.
- ❖ En promedio se obtuvo un asentamiento de 3.53" equivalente a 8.9cm.
- ❖ El menor asentamiento que se obtuvo es de 3" donde se pudo observar poca trabajabilidad en la mezcla.
- ❖ El mayor asentamiento que se obtuvo es de 4" donde se pudo observar una mejor trabajabilidad en comparación con el concreto de asentamiento de 3".

5.2. Análisis de los Resultados de la Resistencia a la Compresión de los Especímenes Curados por Inmersión en Agua a 23°C

De acuerdo con el diseño de mezclas expuesto en el acápite 3.6 dentro del capítulo III, el concreto se diseñó para que alcance una resistencia superior a las resistencias de diseño que son 210 kgf/cm^2 y 280 kgf/cm^2 por al menos 85 kgf/cm^2 , lo cual es indicado por la norma E-0.60 cuando no se tiene diseños de mezclas anteriores con las cuales avalar el diseño de mezclas, de acuerdo con lo expuesto y a los resultados del acápite 4.2 se resalta los siguientes puntos:

- ❖ Para Concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$
 - El menor resultado del Ensayo a compresión del concreto fue de 268.7 kgf/cm^2
 - El mayor resultado del Ensayo a compresión del concreto fue de 315.2 kgf/cm^2
 - El promedio de los resultados del Ensayo a compresión del concreto fue de 293.98 kgf/cm^2
 - El diseño de mezclas elaborado cumple con la norma E-060 según lo desarrollado en el acápite 4.2.1 del Capítulo IV.
- ❖ Para Concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$
 - El menor resultado del Ensayo a compresión del concreto fue de 277.9 kgf/cm^2
 - El mayor resultado del Ensayo a compresión del concreto fue de 349.4 kgf/cm^2
 - El promedio de los resultados del Ensayo a compresión del concreto fue de 321.93 kgf/cm^2

- El diseño de mezclas elaborado cumple con la norma E-060 según lo desarrollado en el acápite 4.2.2 del Capítulo IV.

5.2.1. Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua a 23°C

En la Tabla 75 y en la Ilustración 105, se observa la evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ cuando se cura de manera tradicional, para elaborar la tabla y la figura mencionada se utilizaron las resistencias alcanzadas a las edades de 1 día, 7 días y 28 días.

Tabla 75

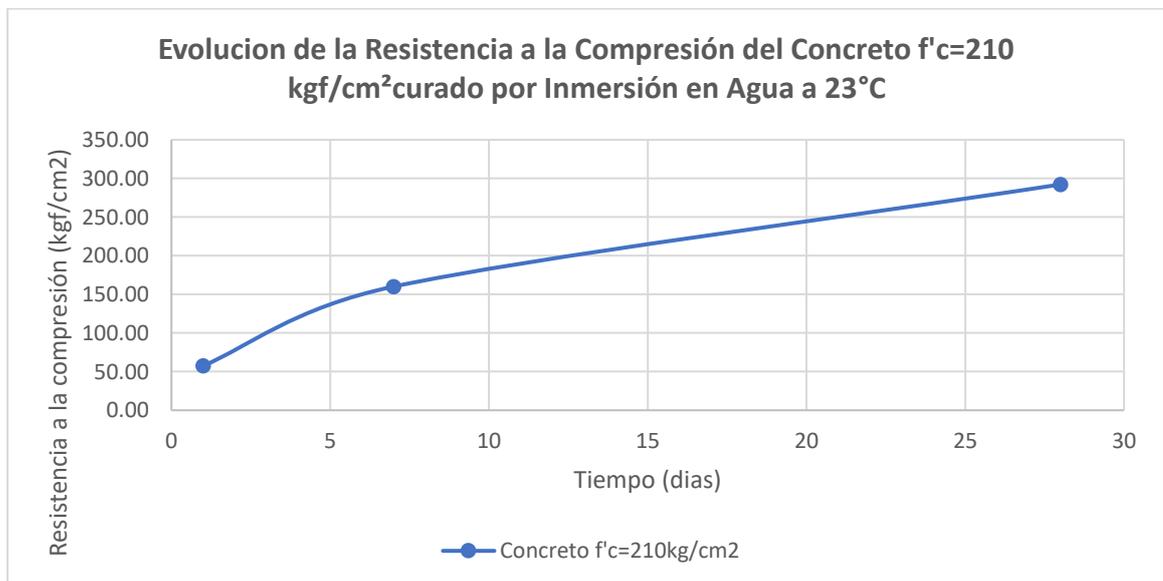
Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua

Edad del Concreto (días)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Curado	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
1	57.60			210
7	160.10	Por inmersión	23	210
28	292.23	Por inmersión	23	210

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 105

Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ curado por Inmersión en Agua a 23°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua a 23°C

En la Tabla 76 y en la Ilustración 106, se observa la evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se cura de manera tradicional, para elaborar la tabla y la figura mencionada se utilizaron las resistencias alcanzadas a las edades de 1 día, 7 días y 28 días.

Tabla 76

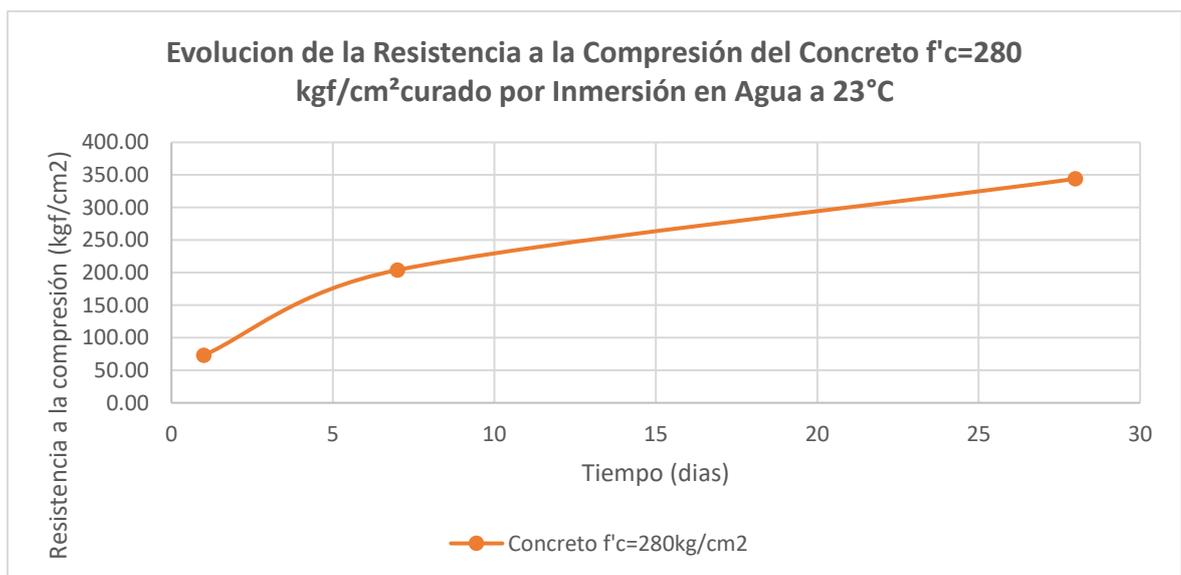
Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado por Inmersión en Agua

Edad del Concreto (días)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Curado	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
1	73.00			280
7	203.90	Por inmersión	23	280
28	344.00	Por inmersión	23	280

Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 106

Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curado por Inmersión en Agua a 23°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.3. Análisis del Procedimiento de Curado con Vapor de Agua a 50°C y a 70°C

5.3.1. Procedimiento de Curado

- ❖ Como se detalló en el acápite 3.8.4 el procedimiento de curado con vapor de agua consiste en tres etapas, el incremento gradual de temperatura en un gradiente de 20°C por hora, seguido del curado con vapor propiamente dicho a 50°C o a 70°C, culminando con el descenso de temperatura en un gradiente de 10°C. El ensayo a compresión se realizó 1 día después de culminado el proceso de curado.

5.3.2. Parámetros de Curado

- ❖ La temperatura de curado con vapor de agua dentro de la cámara de vapor se mantuvo a 50°C±2 °C y a 70°C±2°C (lapso de tiempo luego del incremento gradual y previo al descenso gradual de temperatura) durante todos los procedimientos de curado que se realizaron en la presente investigación.
- ❖ La humedad relativa durante todo el procedimiento de curado con vapor de agua dentro de la cámara de vapor se mantuvo por encima del 95% como recomienda la normativa internacional.

5.3.3. Tiempo de Curado

- ❖ En el caso del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² se observó que a mayor temperatura se obtiene un rápido desarrollo de la resistencia a la compresión, lo cual se comprende realizando un análisis de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto, explicado en la siguiente sección.

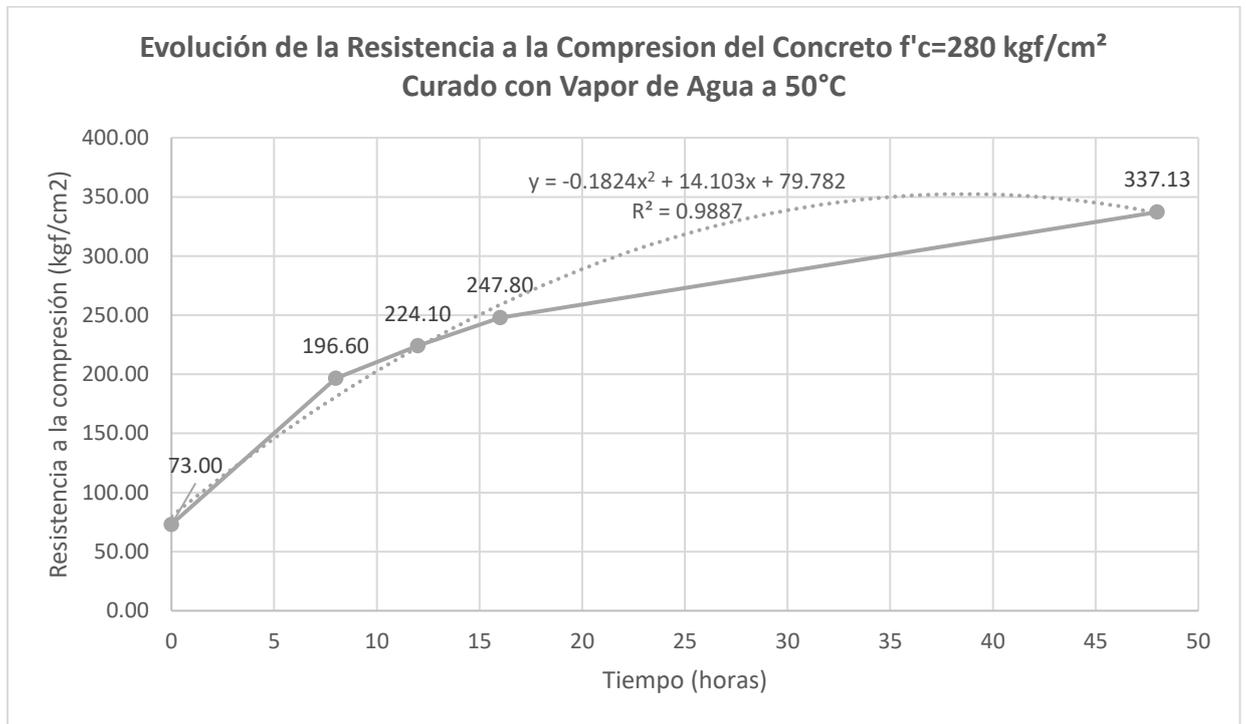
5.4. Análisis de los Resultados de la Resistencia a la Compresión de los Especímenes Curados con Vapor de Agua a 50°C

5.4.1. Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=280$ kgf/cm² Curado con Vapor de Agua a 50 °C

En la ilustración 107, se observa la evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm² cuando se cura con vapor de agua a 50°C desde 0 horas hasta 48 horas desde el desmoldado de los especímenes de concreto.

Ilustración 107

Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ Curado con Vapor de Agua a 50°C



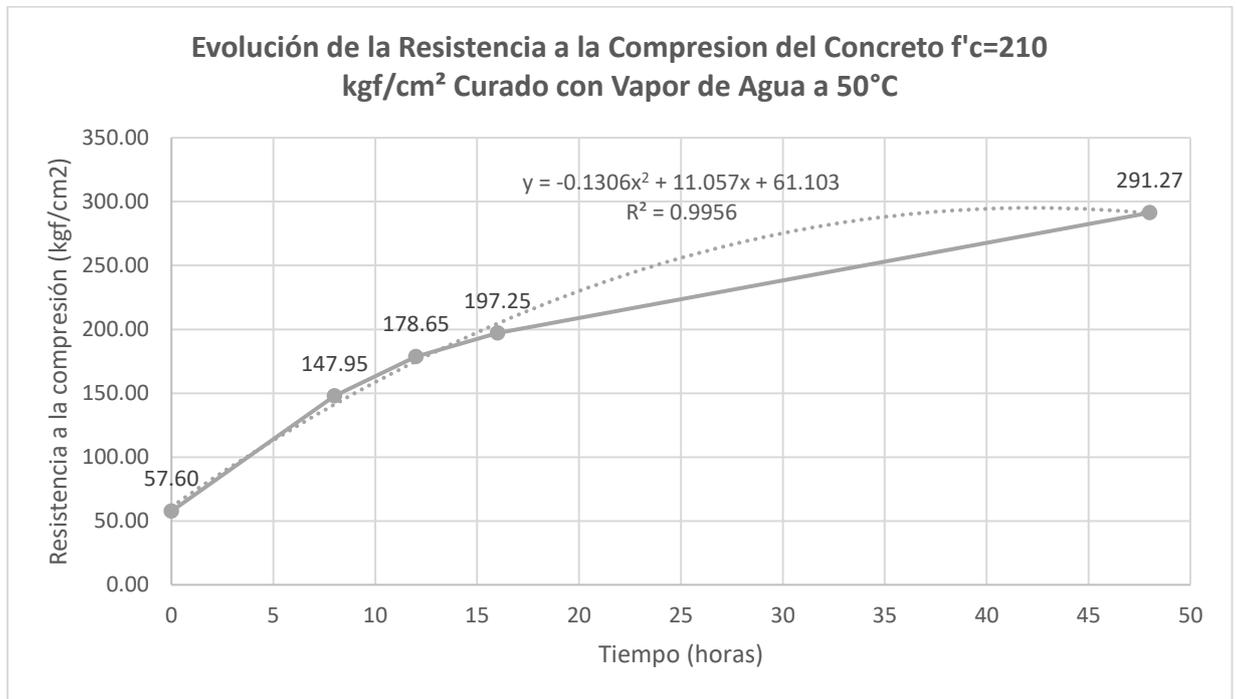
Nota. Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ Curado con Vapor de Agua a 50°C

En la ilustración 108, se observa la evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se cura con vapor de agua a 50°C desde 0 horas hasta 48 horas desde el desmoldado de los especímenes de concreto.

Ilustración 108

Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=210$ kgf/cm² Curado con Vapor de Agua a 50°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Determinación de la Ecuación de Madurez para la Obtención del Curado Óptimo para la Temperatura de 50 °C

De acuerdo con el resultado obtenido en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm², para las diferentes temperaturas e intervalos de tiempo de curado, se obtiene el siguiente resumen promediando los valores antes expuestos.

Tabla 77

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm² para cada tiempo de curado (50°C)

Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	57.60		210
8	147.95	50	210
12	178.65	50	210
16	197.25	50	210
48	291.27	50	210

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 78

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm² para cada tiempo de curado (50°C)

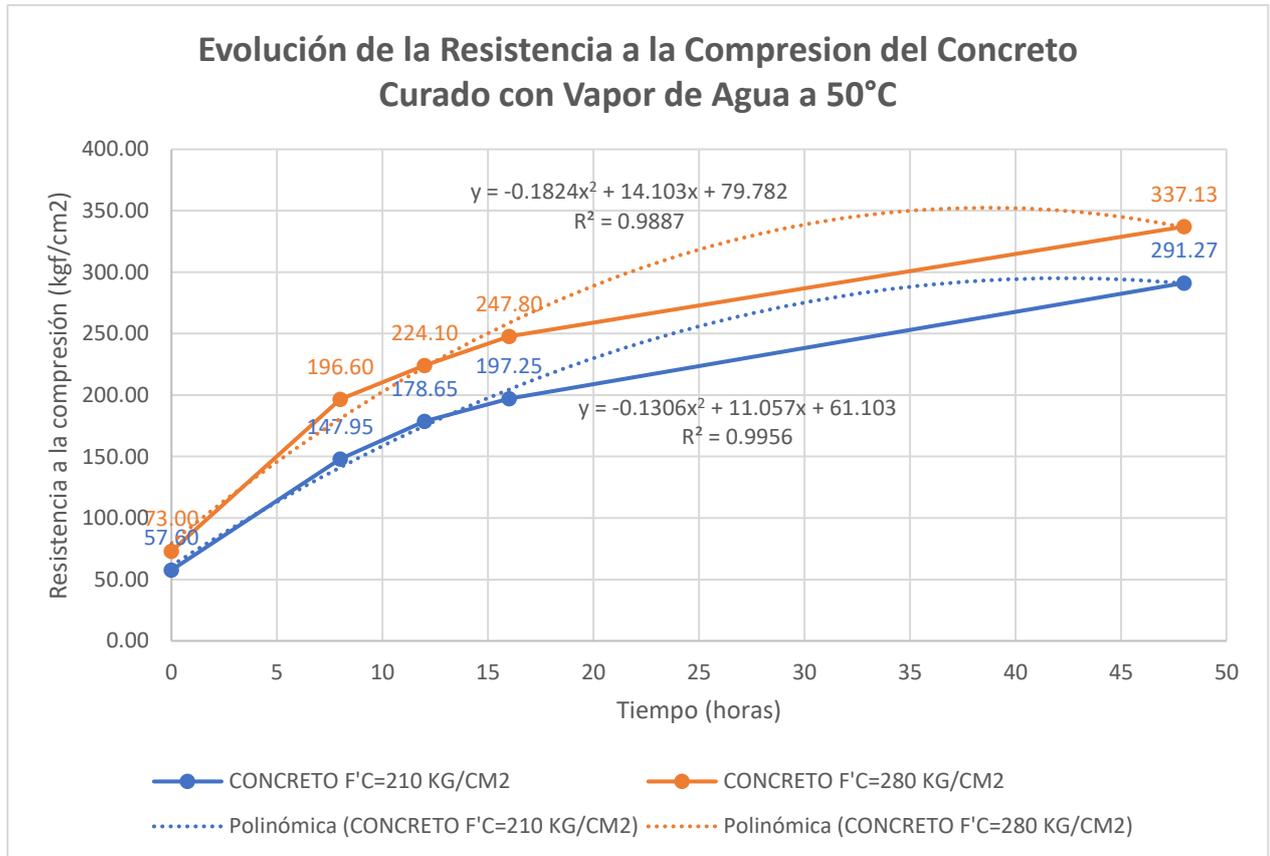
Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	73.00		280
8	196.60	50	280
12	224.10	50	280
16	247.80	50	280
48	337.13	50	280

Nota. Fuente: Elaboración propia

A partir del cual se elabora el siguiente gráfico, del cual se pueden extraer ecuaciones de madurez del concreto que obedecen a la evolución de la resistencia a la compresión del concreto en el intervalo de tiempo de 0h a 48hrs de curado con vapor de agua a una temperatura de 50°C

Ilustración 109

Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto Curado con Vapor de Agua a 50°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la gráfica 109 se extraen 3 tipos de ecuaciones las cuales son las siguientes:

- Para concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$

Ecuación lineal: $y = 4.2767x + 102.7, R^2 = 0.8695$

Ecuación Polinómica: $y = -0.1306x^2 + 11.057x + 61.103, R^2 = 0.9956$

Ecuación Exponencial: $y = 98.993e^{0.0264x}, R^2 = 0.7644$

- Para concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$

Ecuación lineal: $y = 4.6346x + 137.87, R^2 = 0.7968$

Ecuación Polinómica: $y = -0.1824x^2 + 14.103x + 79.782, R^2 = 0.9887$

Ecuación Exponencial: $y = 128.9e^{0.0241x}, R^2 = 0.6875$

En cuanto a la elección de la ecuación de madurez se optó por aquella ecuación que tiene el mayor grado de correlación es decir la que más se aproxima a nuestros datos, cumpliendo con este

criterio se tiene a la ecuación polinómica con un coeficiente de correlación de 0.9956 y 0.9887 para los diseños de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y 280 kgf/cm^2 respectivamente.

5.4.4. Determinación de la Resistencia a la Compresión del Curado Optimo con Vapor de Agua

5.4.4.1. Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 50°C - 16H

De acuerdo con lo observado en la Ilustración N°109 y a los datos de la Tabla N°79 y realizando una comparación de los valores promedios de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curado con vapor de agua a la temperatura de 50°C a los intervalos de tiempo de 8,12,16 y 48 horas; y curado de manera tradicional por inmersión en agua durante 28 días, llegamos a la conclusión que el tiempo óptimo de curado es de 48H.

Tabla 79

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$

Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm^2)	Temperatura de Curado ($^\circ\text{C}$)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm^2)
0	73.00		280
8	196.60	50	280
12	224.10	50	280
16	247.80	50	280
48	337.13	50	280
28 días	344.0	23	280

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.4.4.2. Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H

De acuerdo con lo observado en la Ilustración N°109 y a los datos de la Tabla N°80 y realizando una comparación de los valores promedios de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ curado con vapor de agua a la temperatura de 70°C a los intervalos de tiempo de 8,12,16 y 48 horas; y curado de manera tradicional por inmersión en agua durante 28 días, llegamos a la conclusión que el tiempo óptimo de curado es de 48H.

Tabla 80

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm²

Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	57.60	50	210
8	147.95	50	210
12	178.65	50	210
16	197.25	50	210
48	291.27	50	210
28 días	292.2	23	210

Nota. Fuente: Elaboración propia

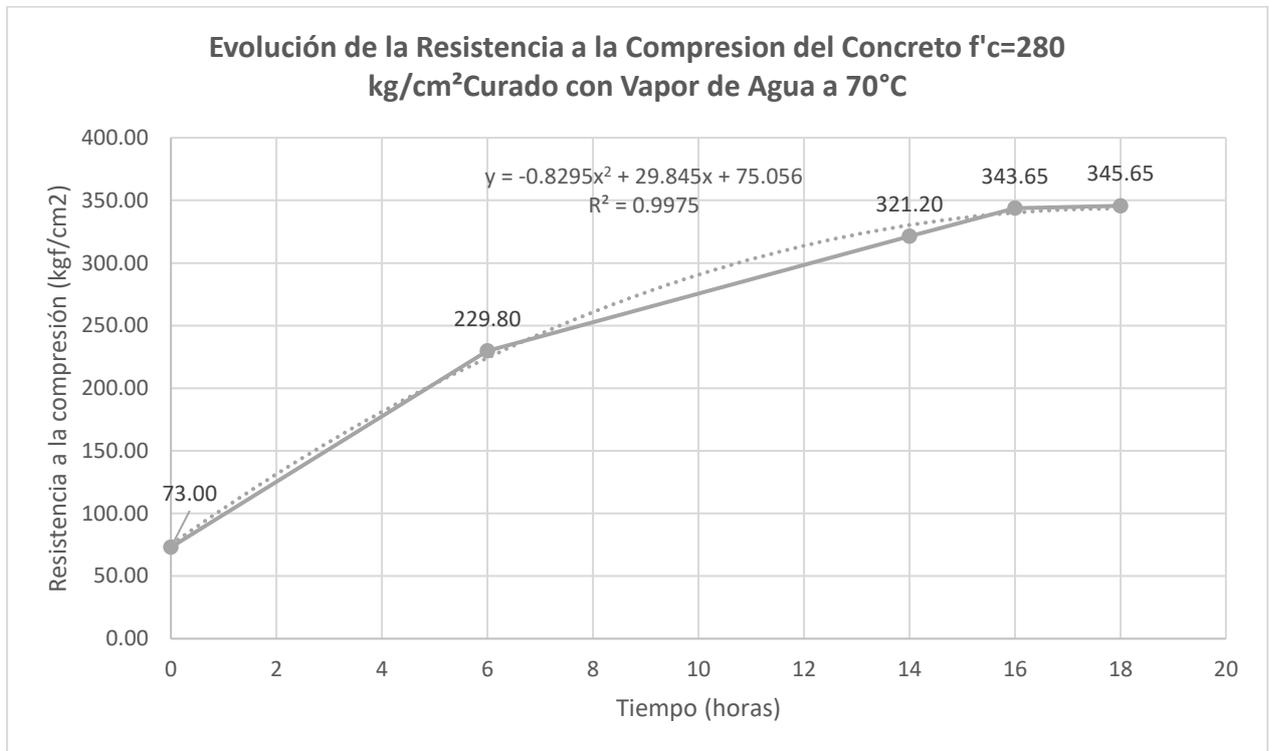
5.5. Análisis de los Resultados de la Resistencia a la Compresión de los Especímenes Curados con Vapor de Agua a 70°C

5.5.1. Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=280$ kgf/cm² Curado con Vapor de Agua a 70 °C

En la ilustración 110, se observa la evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm² cuando se cura con vapor de agua a 70°C desde 0 horas hasta 18 horas desde el desmoldado de los especímenes de concreto.

Ilustración 110

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm² curado con vapor de agua a 70°C



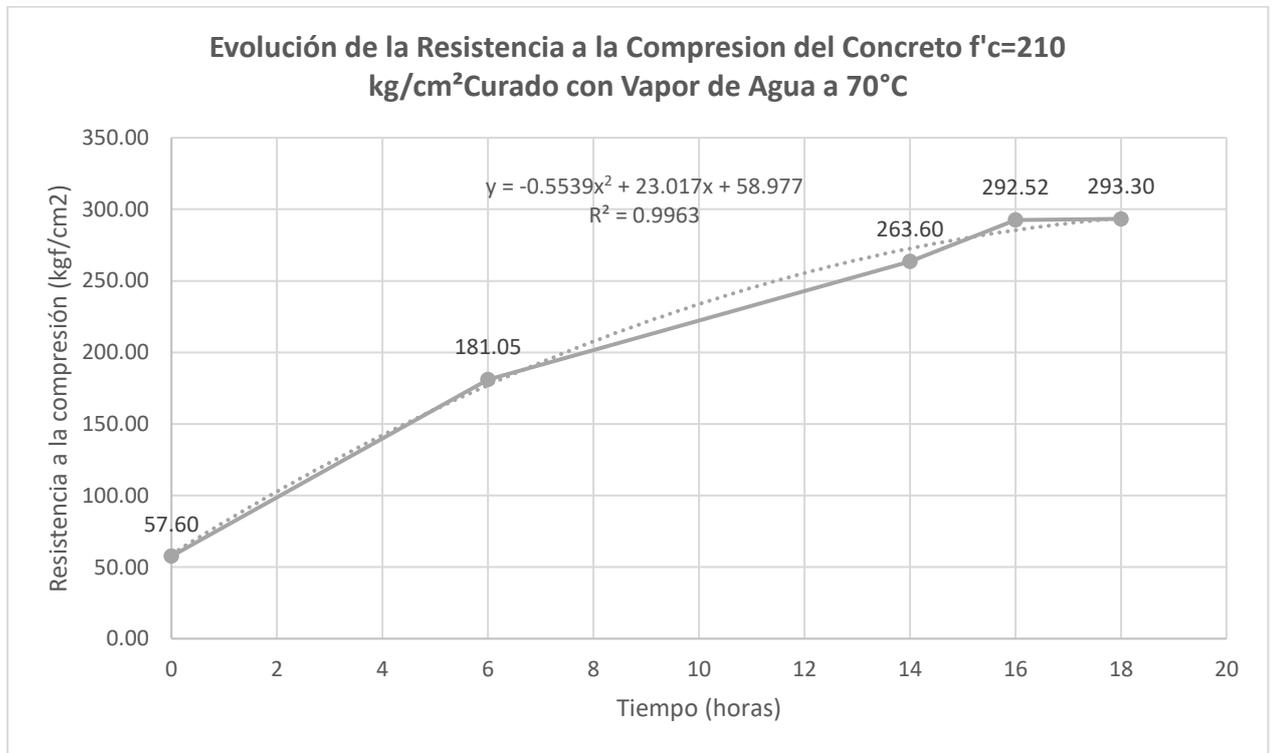
Nota. Fuente: Elaboración propia

5.5.2. Evolución de la Resistencia a la Compresión para el Concreto $f'c=210$ kgf/cm² Curado con Vapor de Agua a 70 °C

En la ilustración 111, se observa la evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm² cuando se cura con vapor de agua a 70°C desde 0 horas hasta 18 horas desde el desmoldado de los especímenes de concreto.

Ilustración 111

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ curado con vapor de agua a 70°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Determinación de la Ecuación de Madurez para la Obtención del Curado Óptimo para la Temperatura de 70°C

De acuerdo con el resultado obtenido en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, para las diferentes temperaturas e intervalos de tiempo de curado, se obtiene el siguiente resumen promediando los valores antes expuestos.

Tabla 81

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm² para cada tiempo de curado (70°C)

Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	57.60		210
6	181.05	70	210
14	263.60	70	210
16	292.52	70	210
18	293.30	70	210

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 82

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm² para cada tiempo de curado (70°C)

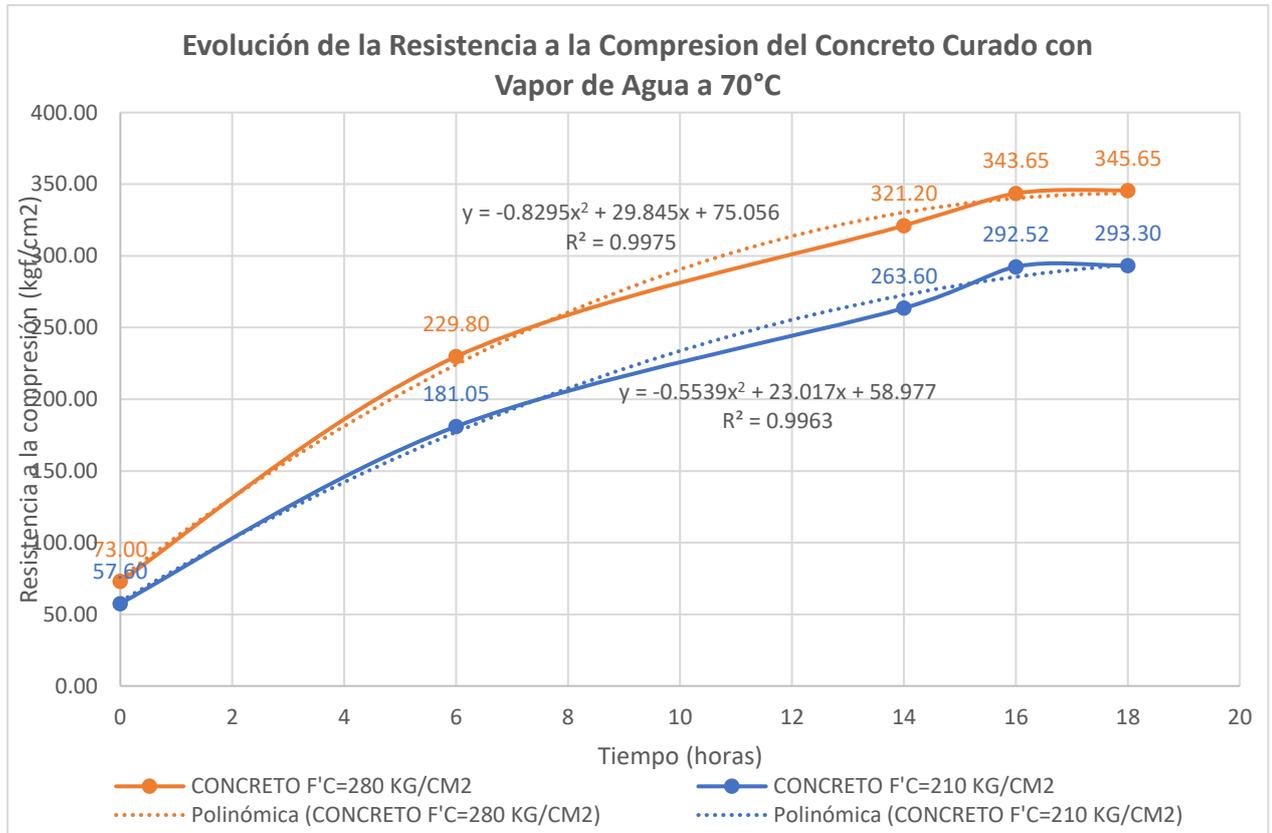
Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	73.00		280
6	229.80	70	280
14	321.20	70	280
16	343.65	70	280
18	345.65	70	280

Nota. Fuente: Elaboración propia

A partir del cual se elabora el siguiente gráfico, del cual se pueden extraer ecuaciones de madurez del concreto que obedecen a la evolución de la resistencia a la compresión del concreto en el intervalo de tiempo de 0h a 18hrs de curado con vapor de agua a una temperatura de 70°C

Ilustración 112

Evolución de la Resistencia a la Compresión del Concreto Curado con Vapor de Agua a 70°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la gráfica 112 se extraen 3 tipos de ecuaciones las cuales son las siguientes:

- Para concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$

Ecuación lineal: $y = 13.047x + 76.701, R^2 = 0.9642$

Ecuación Polinómica: $y = -0.5539x^2 + 23.017x + 58.977, R^2 = 0.9963$

Ecuación Exponencial: $y = 74.813e^{0.0781x}, R^2 = 0.876$

- Para concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$

Ecuación lineal: $y = 14.913x + 101.6, R^2 = 0.9436$

Ecuación Polinómica: $y = -0.8295x^2 + 29.845x + 75.056, R^2 = 0.9975$

Ecuación Exponencial: $y = 95.992e^{0.0817x}, R^2 = 0.8466$

En cuanto a la elección de la ecuación de madurez se optó por aquella ecuación que tiene el mayor grado de correlación es decir la que más se aproxima a nuestros datos, cumpliendo con este

criterio se tiene a la ecuación polinómica con un coeficiente de correlación de 0.9963 y 0.9975 para los diseños de $f'c=210$ kgf/cm² y 280 kgf/cm² respectivamente.

5.5.4. Determinación de la Resistencia a la Compresión del Curado Optimo con Vapor de Agua

5.5.4.1. Concreto $f'c = 280$ kg/cm² Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H

De acuerdo con lo observado en la Ilustración N°112 y a los datos de la Tabla N°83 y realizando una comparación de los valores promedios de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm² curado con vapor de agua a la temperatura de 70°C a los intervalos de tiempo de 0,6,14,16 y 18 horas; y curado de manera tradicional por inmersión en agua durante 28 días, llegamos a la conclusión que el tiempo óptimo de curado es de 16H.

Tabla 83

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=280$ kgf/cm²

Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	73.00		280
6	229.80	70	280
14	321.20	70	280
16	343.65	70	280
18	345.65	70	280
28 días	344.0	23	280

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.5.4.2. Concreto $f'c = 210$ kg/cm² Curado Optimo con Vapor de Agua a 70°C - 16H

De acuerdo con lo observado en la Ilustración N°112 y a los datos de la Tabla N°84 y realizando una comparación de los valores promedios de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm² curado con vapor de agua a la temperatura de 70°C a los intervalos de tiempo de 6,14,16 y 18 horas; y curado de manera tradicional por inmersión en agua durante 28 días, llegamos a la conclusión que el tiempo óptimo de curado es de 16H.

Tabla 84

Promedio de los resultados de ensayo a la compresión del concreto $f'c=210$ kgf/cm²

Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia de Diseño $f'c$ (kgf/cm ²)
0	57.60		210
6	181.05	70	210
14	263.60	70	210
16	292.52	70	210
18	293.30	70	210
28 días	292.2	23	210

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.6. Análisis de la Resistencia a la Compresión después de 28 días del Curado Óptimo con Vapor de Agua

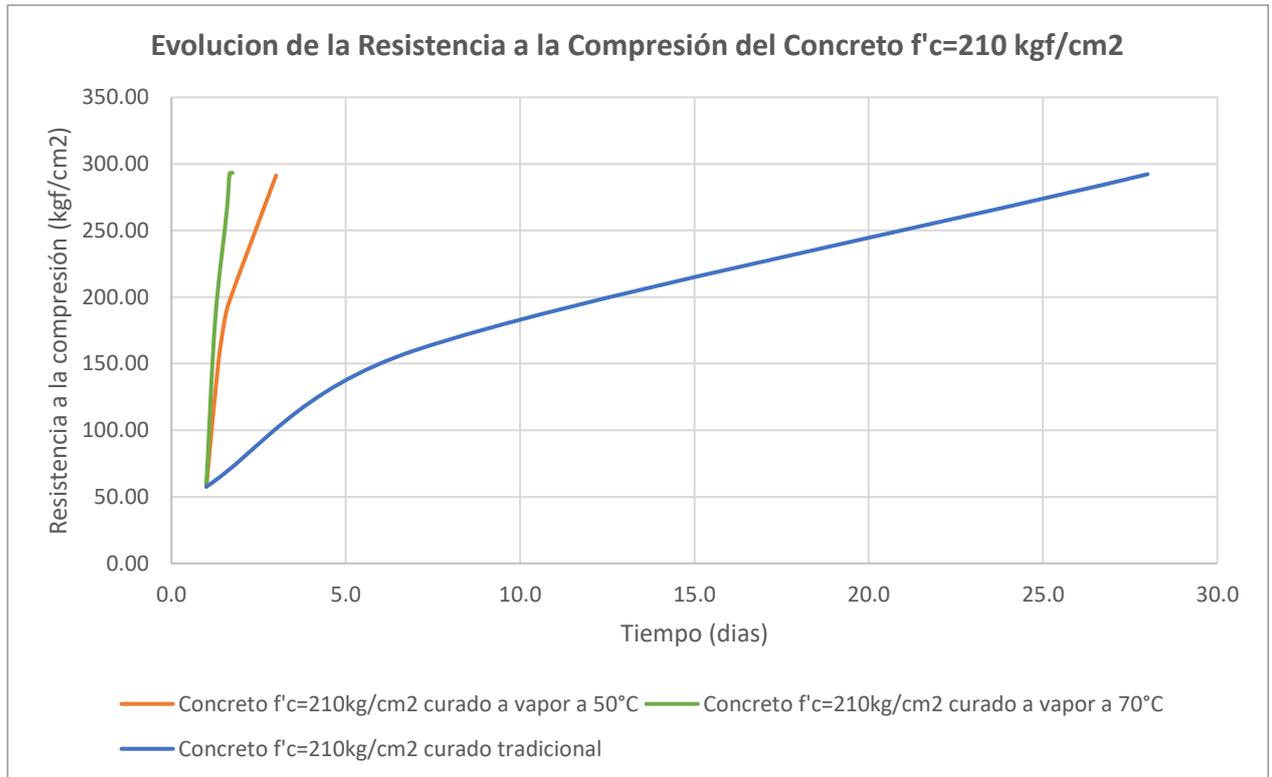
- ❖ Los 4 especímenes de concreto de $f'c=210$ kgf/cm² ensayados 28 días después del curado con vapor de agua a 70°C durante 16 horas, se observó que no se presentaron fisuras a simple vista y que la resistencia aumento en un 1.5% en promedio respecto al promedio de los especímenes ensayados después del curado óptimo
- ❖ Los 4 especímenes de concreto de $f'c=280$ kgf/cm² ensayados 28 días después del curado con vapor de agua a 70°C durante 16 horas, se observó que no se presentaron fisuras a simple vista y que la resistencia aumento en un 1.9% en promedio respecto al promedio de los especímenes ensayados después del curado óptimo

5.7. Comparación de la resistencia a compresión entre el método de curado con vapor de agua y el método tradicional

En la Ilustración 113 se observa que el curado con vapor de agua a 70°C produce una más rápida evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm², respecto a la evolución que produce el curado con vapor a 50°C y el curado tradicional.

Ilustración 113

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$

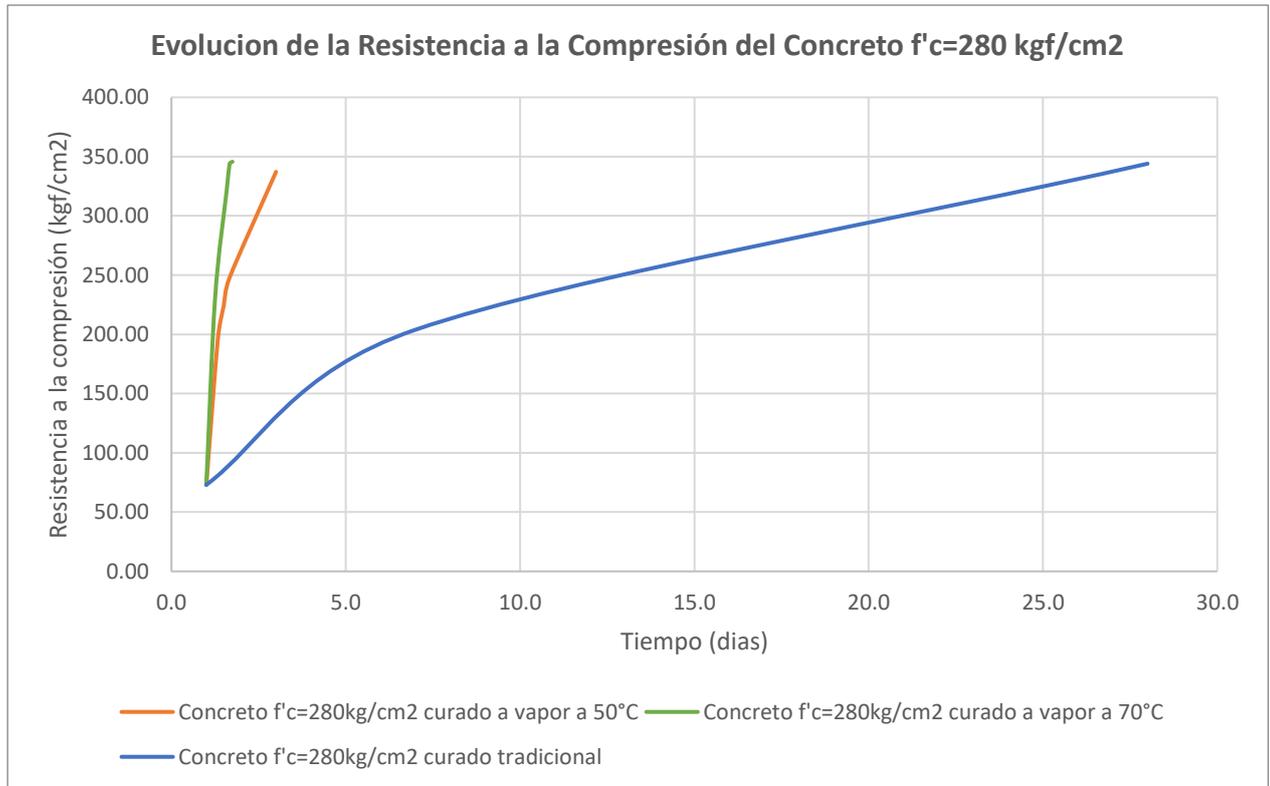


Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 114 se observa que el curado con vapor de agua a 70°C produce una más rápida evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$, respecto a la evolución que produce el curado con vapor a 50°C y el curado tradicional.

Ilustración 114

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$



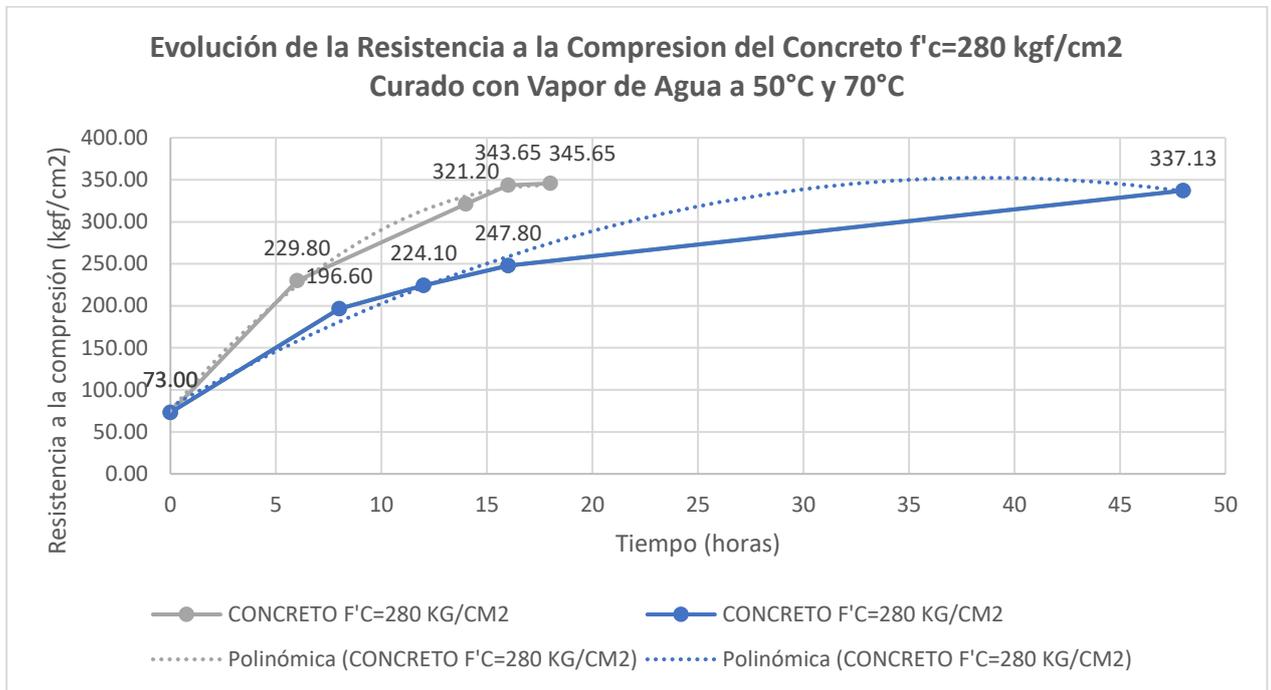
Nota. Fuente: Elaboración propia

5.8. Discusión de Resultados en Función de las Hipótesis Planteadas.

- ❖ En base a las ilustraciones 115 y 116 que son las gráficas de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ curados a vapor a 50°C y 70°C , se observa una maduración más rápida con el curado a vapor a 70°C con respecto a la otra temperatura.
- ❖ Se observa también, que el curado a vapor a 50°C y 70°C para el concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ y para el concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, tienen evoluciones similares en términos de resistencia a la compresión.
- ❖ Se observa que a mayor temperatura menor es el tiempo de curado con vapor de agua.
- ❖ Se determina que el tiempo de curado tanto de 50°C y 70°C son mucho menos que 28 días correspondientes al curado tradicional con agua a 23°C .
- ❖ Se observa que tanto para el tiempo óptimo de curado con vapor con 50°C y 70°C , la resistencia a la compresión es muy similar.

Ilustración 115

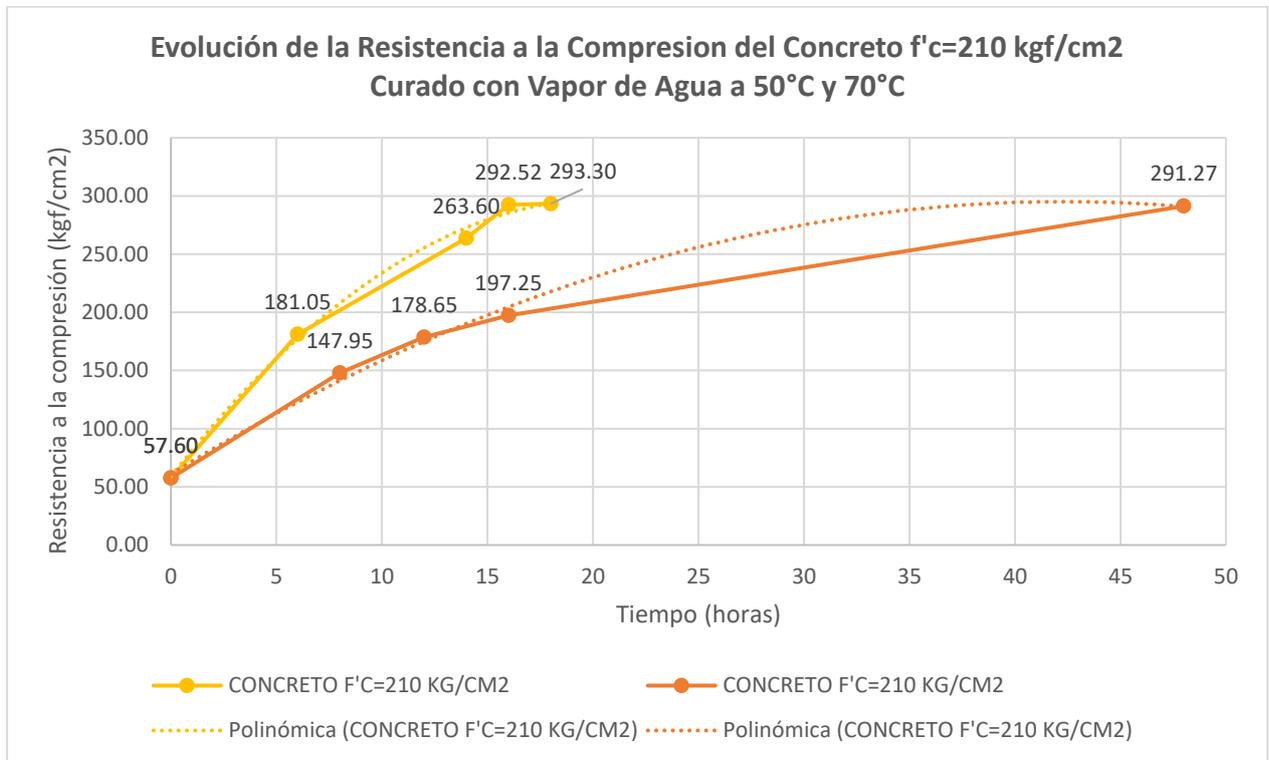
Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ curado con vapor de agua a 50°C y 70°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ilustración 116

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ curado con vapor de agua a 50°C y 70°C



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.9. Identificación de las Condiciones Óptimas de Temperatura y Tiempo de Curado con Vapor de Agua para Alcanzar la Resistencia a Compresión Deseada.

La temperatura óptima de curado con vapor, tanto para el concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ como para el concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ es de 70°C en un intervalo de tiempo de 16h, condiciones con las cuales se logró una resistencia a la compresión del concreto equivalente a un curado del concreto inmerso en agua durante 28 días.

5.10. Validación de los Ensayos de la Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$

Para la validación de los resultados de los ensayos a compresión del concreto de la presente investigación se utilizó la norma E.060 que en su capítulo 5 indica lo siguiente:

- ❖ “Un ensayo de resistencia es el promedio de las resistencias a la compresión de dos muestras cilíndricas de 15cm de diámetro y 30 cm de altura moldeadas de la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a compresión a los 28 días o a una determinada edad.
- ❖ La Resistencia de una clase de concreto se considera satisfactoria si cumple con dos condiciones: Primero que el promedio aritmético de 3 ensayos es igual o superior a la resistencia de diseño $f'c$, segundo que ningún ensayo tenga como resultado una resistencia menor a la resistencia de diseño $f'c$ ” (Norma E.060)

A continuación, se realiza un análisis del cumplimiento de la norma E.060 en los ensayos realizados.

- a) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C para 6, 14 y 18 horas.

Tabla 85

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor a 70°C a 6, 14 y 18 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 175 kgf/cm ²	≥ 210 kgf/cm ²						
CV21070-5	15.00	30.00	176.71	32230	182.4	87%	Tipo 3	26/02/2024	28/02/2024	6	181.05	
CV21070-6	15.00	30.00	176.71	31750	179.7	86%	Tipo 4	26/02/2024	28/02/2024	6		
CV21070-1	15.10	30.00	179.08	46200	258.0	123%	Tipo 4	20/02/2024	23/02/2024	14	263.6	245.98
CV21070-2	14.90	30.30	174.37	46940	269.2	128%	Tipo 4	20/02/2024	23/02/2024	14		
CV21070-3	15.00	30.00	176.71	51290	290.2	138%	Tipo 3	21/02/2024	24/02/2024	18	293.3	
CV21070-4	15.10	30.00	179.08	53080	296.4	141%	Tipo 4	21/02/2024	24/02/2024	18		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se analizó un total de 3 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 70°C a 6, 14 y 18 horas, para validar según la norma E-60 los ensayos realizados. Según la primera condición de la norma E.060 todas cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio esta tanda es mayor a 210 kgf/cm^2 .

b) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C .

Tabla 86

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C a 16 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)						> 175 kgf/cm ²	≥ 210 kgf/cm ²
CVO21070-1	14.70	30.00	169.72	50830	299.5	143%	Tipo 4	18/03/2024	22/03/2024	16	281.9	
CVO21070-2	15.00	30.00	176.71	46710	264.3	126%	Tipo 3	18/03/2024	22/03/2024	16		
CVO21070-3	15.00	29.90	176.71	52090	294.8	140%	Tipo 4	18/03/2024	22/03/2024	16	308.7	292.52
CVO21070-4	14.90	30.00	174.37	56250	322.6	154%	Tipo 3	18/03/2024	22/03/2024	16		
CVO21070-5	15.20	30.10	181.46	54580	300.8	143%	Tipo 2	18/03/2024	22/03/2024	16	286.95	
CVO21070-6	15.00	30.30	176.71	48260	273.1	130%	Tipo 4	18/03/2024	22/03/2024	16		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se analizó un total de 3 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 70°C a 16 horas para validar según la norma E-60 los ensayos realizados. Según la primera condición de la norma E.060 todas cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio esta tanda es mayor a 210 kgf/cm^2 .

c) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C

Tabla 86

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C a 48 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)						> 175 kgf/cm ²	≥ 210 kgf/cm ²
CVO21050-1	15.00	30.20	176.71	49880	282.3	134%	Tipo 3	20/03/2024	25/03/2024	48	282.8	
CVO21050-2	15.00	30.20	176.71	50060	283.3	135%	Tipo 3	20/03/2024	25/03/2024	48		
CVO21050-3	15.00	30.50	176.71	50270	284.5	135%	Tipo 3	20/03/2024	25/03/2024	48	286.55	291.27
CVO21050-4	15.00	30.50	176.71	50990	288.6	137%	Tipo 3	20/03/2024	25/03/2024	48		
CVO21050-5	15.00	30.30	176.71	51500	291.4	139%	Tipo 3	20/03/2024	25/03/2024	48	304.45	
CVO21050-6	15.00	30.20	176.71	56100	317.5	151%	Tipo 3	20/03/2024	25/03/2024	48		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la validación de los ensayos realizados según la norma E-060, se analizó 3 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 50°C a 48 horas, donde según la primera condición de la norma E.060, las 3 muestras cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio de esta tanda es mayor a 210 kgf/cm^2

d) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas

Tabla 87

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	(kgf/cm ²)						> 175 kgf/cm ²	\geq 210 kgf/cm ²
CV21050-3	15.00	30.00	176.71	26460	149.7	71%	Tipo 3	28/02/2024	02/03/2024	8	147.95	
CV21050-4	15.00	30.00	176.71	25830	146.2	70%	Tipo 4	28/02/2024	02/03/2024	8		
CV21050-1	15.00	30.00	176.71	32465	183.7	87%	Tipo 3	27/02/2024	01/03/2024	12	178.65	174.62
CV21050-2	15.00	30.00	176.71	30680	173.6	83%	Tipo 3	27/02/2024	01/03/2024	12		
CV21050-5	15.00	30.00	176.71	35130	198.8	95%	Tipo 4	29/02/2024	02/03/2024	16	197.25	
CV21050-6	15.00	30.00	176.71	34590	195.7	93%	Tipo 3	29/02/2024	02/03/2024	16		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la validación de los ensayos realizados según la norma E-060, se analizó 3 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas, donde según la primera condición de la norma E.060, 2 muestras cumplen y 1 no cumple con la primera condición. Esto debido a que estas pruebas se realizaron con el objetivo de conocer la evolución del concreto bajo la influencia del curado con vapor.

- e) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16 h

Tabla 88

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16h

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (día)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 175 kgf/cm ²						≥ 210 kgf/cm ²	
R121070-1	15.00	30.00	176.71	10510	59.5	28%	Tipo 3	18/03/2024	19/03/2024	1	57.6	
R121070-2	15.00	30.00	176.71	9840	55.7	27%	Tipo 3	18/03/2024	19/03/2024	1		
RV210-1	15.00	30.00	176.71	51830	293.3	140%	Tipo 3	18/03/2024	18/04/2024	16h	295.8	217.15
RV210-2	15.00	30.10	176.71	52710	298.3	142%	Tipo 3	18/03/2024	18/04/2024	16h		
RV210-3	15.00	30.10	176.71	52090	294.8	140%	Tipo 3	18/03/2024	18/04/2024	16h	298.05	
RV210-4	15.00	30.00	176.71	53250	301.3	143%	Tipo 4	18/03/2024	18/04/2024	16h		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la validación de los ensayos realizados se agrupó los resultados en 3 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16h, donde según la primera condición de la norma E.060, 2 muestras cumplen y 1 muestra no cumple.

f) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas de manera tradicional por inmersión en agua

Tabla 89

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas de manera tradicional

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 175 kgf/cm ²						≥ 210 kgf/cm ²	
CT210-1	15.00	30.00	176.71	52200	295.4	141%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28	300.45	
CT210-2	15.10	30.00	179.08	54710	305.5	145%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28		
CT210-3	15.00	30.00	176.71	50960	288.4	137%	Tipo 3	19/02/2024	18/03/2024	28	287.75	292.23
CT210-4	15.10	30.10	179.08	51420	287.1	137%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28		
CT210-5	15.00	30.00	176.71	52070	294.7	140%	Tipo 2	19/02/2024	18/03/2024	28	288.5	
CT210-6	15.10	30.00	179.08	50560	282.3	134%	Tipo 2	19/02/2024	18/03/2024	28		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la validación de los ensayos realizados se agrupó los resultados en 3 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados de manera tradicional, donde según la primera condición de la norma E.060, las 3 muestras cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio de esta tanda es mayor a 210 kgf/cm²

g) Briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$, curadas de manera tradicional por inmersión en agua, para diseño de mezclas

Tabla 90

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ para diseño de mezclas, curadas de manera tradicional

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (días)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 175 kgf/cm ²	\geq 210 kgf/cm ²					
DM210-1	15.20	30.30	181.46	55590.00	306.3	Tipo 1	11/01/2024	09/02/2024	29	292.9	298.17
DM210-2	15.20	30.50	181.46	50720.00	279.5	Tipo 5	11/01/2024	09/02/2024	29		
DM210-3	15.40	30.50	186.27	56250.00	302	Tipo 2	11/01/2024	09/02/2024	29	302.35	298.17
DM210-4	15.40	30.40	186.27	56390.00	302.7	Tipo 4	11/01/2024	09/02/2024	29		
DM210-5	15.10	30.40	179.08	50730.00	283.3	Tipo 4	11/01/2024	09/02/2024	29	299.25	298.17
DM210-6	15.40	30.40	186.27	58710.00	315.2	Tipo 4	11/01/2024	09/02/2024	29		
DM210-7	15.30	30.50	183.85	51920.00	282.4	Tipo 3	11/01/2024	09/02/2024	29	295.25	298.17
DM210-8	15.30	30.30	183.85	56640.00	308.1	Tipo 3	11/01/2024	09/02/2024	29		
DM210-9	15.20	30.20	181.46	51160.00	281.9	Tipo 2	11/01/2024	09/02/2024	29	289.7	290.42
DM210-10	15.20	30.30	181.46	53990.00	297.5	Tipo 4	11/01/2024	09/02/2024	29		
DM210-11	15.00	30.40	176.71	53700.00	303.9	Tipo 4	11/01/2024	09/02/2024	29	286.3	290.42
DM210-12	15.40	30.40	186.27	50050.00	268.7	Tipo 4	11/01/2024	09/02/2024	29		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la validación de los ensayos realizados se agrupó en 6 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados de manera tradicional en agua a 23°C, donde según la primera condición de la norma E.060 todas cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 2 tandas de 3 muestras, donde el promedio de cada una de estas tandas es mayor a 210 kgf/cm².

Los datos presentados en el capítulo IV. Resultados de la Investigación, que no se encuentran en esta sección, se debe a que es necesario agrupar 3 pares de ensayos, que no fue posible para dichos datos.

5.11. Validación de los Ensayos de la Resistencia a la Compresión del Concreto $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$

a) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C a 6, 14 y 18 horas

Tabla 91

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C a 6, 14 y 18 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)						> 255 kgf/cm ²	≥ 280 kgf/cm ²
CV28070-5	15.00	30.00	176.71	40370	228.5	82%	Tipo 3	26/02/2024	28/02/2024	6	229.8	
CV28070-6	15.00	30.00	176.71	40840	231.1	83%	Tipo 3	26/02/2024	28/02/2024	6		
CV28070-1	15.00	30.00	176.71	57080	323.0	115%	Tipo 4	20/02/2024	23/02/2024	14	321.2	298.88
CV28070-2	14.80	30.10	172.03	54950	319.4	114%	Tipo 4	20/02/2024	23/02/2024	14		
CV28070-3	15.00	30.30	176.71	60150	340.4	122%	Tipo 4	21/02/2024	24/02/2024	18	345.65	
CV28070-4	14.90	30.10	174.37	61190	350.9	125%	Tipo 3	21/02/2024	24/02/2024	18		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 3 muestras de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 70°C a 6, 14 y 18 horas, donde según la primera condición de la norma E.060, 2 muestras cumplen y 1 no cumple con la primera condición. Esto debido a que estas pruebas se realizaron con el objetivo de conocer la evolución del concreto bajo la influencia del curado con vapor.

b) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C

Tabla 92

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 70°C a 16 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)						> 255 kgf/cm ²	≥ 280 kgf/cm ²
CVO28070-1	15.00	30.00	176.71	60780	344.0	123%	Tipo 4	12/03/2024	15/03/2024	16	347.5	343.65
CVO28070-2	15.00	30.00	176.71	62030	351.0	125%	Tipo 4	12/03/2024	15/03/2024	16		
CVO28070-3	15.00	30.50	176.71	60250	341.0	122%	Tipo 2	12/03/2024	15/03/2024	16	347.45	343.65
CVO28070-4	14.80	30.20	172.03	60890	353.9	126%	Tipo 4	12/03/2024	15/03/2024	16		
CVO28070-5	15.10	30.50	179.08	59810	334.0	119%	Tipo 1	12/03/2024	15/03/2024	16	336	
CVO28070-6	15.00	30.50	176.71	59720	338.0	121%	Tipo 4	12/03/2024	15/03/2024	16		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 3 muestras de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 70°C a 16 horas, donde según la primera condición de la norma E.060, 3 muestras cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio de esta tanda es mayor a 280 kgf/cm²

c) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas

Tabla 93

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida a $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 255 kgf/cm ²						≥ 280 kgf/cm ²	
CV28050-3	15.00	30.00	176.71	31910	180.6	65%	Tipo 3	28/02/2024	02/03/2024	8	196.6	
CV28050-4	15.00	30.00	176.71	37560	212.6	76%	Tipo 4	28/02/2024	02/03/2024	8		
CV28050-1	15.00	30.00	176.71	40770	230.7	82%	Tipo 3	27/02/2024	01/03/2024	12	224.1	
CV28050-2	15.00	30.00	176.71	38430	217.5	78%	Tipo 3	27/02/2024	01/03/2024	12		222.83
CV28050-5	15.00	30.00	176.71	44010	249.1	89%	Tipo 3	29/02/2024	02/03/2024	16	247.8	
CV28050-6	14.90	30.10	174.37	42990	246.5	88%	Tipo 4	29/02/2024	02/03/2024	16		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 3 muestras de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 50°C a 8, 12 y 16 horas, donde según la primera condición de la norma E.060, las 3 muestras no cumplen con la primera condición. Esto debido a que estas pruebas se realizaron con el objetivo de conocer la evolución del concreto bajo la influencia del curado con vapor.

d) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C

Tabla 94

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas con vapor de agua a 50°C a 48 horas

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida a $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 255 kgf/cm ²						≥ 280 kgf/cm ²	
CVO28050-1	15.00	30.30	176.71	59700	337.8	121%	Tipo 4	14/03/2024	19/03/2024	48	336.45	
CVO28050-2	15.00	30.40	176.71	59210	335.1	120%	Tipo 3	14/03/2024	19/03/2024	48		
CVO28050-3	15.00	30.40	176.71	61240	346.6	124%	Tipo 3	14/03/2024	19/03/2024	48	341.05	337.13
CVO28050-4	15.00	30.50	176.71	59290	335.5	120%	Tipo 3	14/03/2024	19/03/2024	48		
CVO28050-5	15.00	30.40	176.71	59840	338.6	121%	Tipo 4	14/03/2024	19/03/2024	48	333.9	
CVO28050-6	15.00	30.40	176.71	58180	329.2	118%	Tipo 4	14/03/2024	19/03/2024	48		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 3 muestras de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ curados con vapor de agua a 50°C a 48 horas, donde según la primera condición de la norma E.060, las 3 muestras cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio de cada una de estas tandas es mayor a 280 kgf/cm^2 .

e) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas de manera tradicional por inmersión en agua

Tabla 95

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas de manera tradicional

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (h)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 175 kgf/cm ²	≥ 210 kgf/cm ²						
CT280-1	15.00	30.00	176.71	62810	355.4	127%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28	351.4	
CT280-2	15.00	30.40	176.71	61390	347.4	124%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28		
CT280-3	15.00	30.50	176.71	62610	354.3	127%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28	350.15	344.00
CT280-4	15.00	30.30	176.71	61150	346.0	124%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28		
CT280-5	15.00	30.40	176.71	59930	339.1	121%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28	330.45	
CT280-6	15.00	30.50	176.71	56870	321.8	115%	Tipo 4	19/02/2024	18/03/2024	28		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 3 muestras de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ curados de manera tradicional, donde según la primera condición de la norma E.060 ,3 muestras cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 1 tanda de 3 muestras, donde el promedio de esta tanda es mayor a 280 kgf/cm²

f) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, ensayadas a 1 día después del moldeo y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16 h

Tabla 96

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16h

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Evolución (%)	Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeado	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (día)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 245 kgf/cm ²						≥ 280 kgf/cm ²	
R128070-1	15.10	30.10	179.08	13590	75.9	27%	Tipo 3	12/03/2024	13/03/2024	1	73	
R128070-2	14.90	30.00	174.37	12230	70.1	25%	Tipo 2	12/03/2024	13/03/2024	1		
RV280-1	15.00	30.20	176.71	62580	354.1	126%	Tipo 3	12/03/2024	11/04/2024	16h	349.5	258.03
RV280-2	15.00	30.10	176.71	60940	344.9	123%	Tipo 3	12/03/2024	11/04/2024	16h		
RV280-3	15.00	30.10	176.71	61920	350.4	125%	Tipo 3	12/03/2024	11/04/2024	16h	351.6	
RV280-4	15.00	30.20	176.71	62350	352.8	126%	Tipo 3	12/03/2024	11/04/2024	16h		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para analizar la validación de los ensayos realizados se agrupó los resultados en 3 muestras de concreto de $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ ensayadas a 1 día después del moldeado y a 28 días después del curado con vapor a 70°C a 16h, donde según la primera condición de la norma E.060, 2 muestras cumplen y 1 muestra no cumple.

g) Briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$, curadas de manera tradicional por inmersión en agua, para diseño de mezclas

Tabla 97

Resumen de los resultados del ensayo a compresión de las briquetas de concreto $f'c=280\text{kgf/cm}^2$ para diseño de mezclas, curadas de manera tradicional

Código de Muestra	D. promedio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Falla (NTP 339.034)	Fecha de moldeo	Fecha de ruptura	Tiempo de curado (días)	Norma E.060	Norma E.060
				Kg-f	> 255 kgf/cm ²	≥ 280 kgf/cm ²					
DM280-1	15.10	30.40	179.08	60550.00	338.1	Tipo 3	12/01/2024	09/02/2024	28	323.05	330.27
DM280-2	15.30	30.10	183.85	56620.00	308	Tipo 2	12/01/2024	09/02/2024	28		
DM280-3	15.40	30.30	186.27	56340.00	302.5	Tipo 3	12/01/2024	09/02/2024	28	320.35	330.27
DM280-4	15.10	30.40	179.08	60560.00	338.2	Tipo 2	12/01/2024	09/02/2024	28		
DM280-5	15.20	30.30	181.46	63410.00	349.4	Tipo 4	12/01/2024	09/02/2024	28	347.4	
DM280-6	15.20	30.30	181.46	62670.00	345.4	Tipo 3	12/01/2024	09/02/2024	28		
DM280-7	15.30	30.50	183.85	51090.00	277.9	Tipo 4	12/01/2024	09/02/2024	28	312.7	
DM280-8	15.00	30.10	176.71	61400.00	347.5	Tipo 4	12/01/2024	09/02/2024	28		
DM280-9	15.10	30.50	179.08	60150.00	335.9	Tipo 4	12/01/2024	09/02/2024	28	318.4	310.10
DM280-10	15.30	30.40	183.85	55320.00	300.9	Tipo 3	12/01/2024	09/02/2024	28		
DM280-11	15.40	30.40	186.27	55040.00	295.5	Tipo 3	12/01/2024	09/02/2024	28	299.2	
DM280-12	15.20	30.40	181.46	54970.00	302.9	Tipo 4	12/01/2024	09/02/2024	28		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizaron un total de 6 muestras de concreto de $f'c=210\text{kgf/cm}^2$ curados de manera tradicional en agua a 23°C, donde según la primera condición de la norma E.060 todas cumplen, asimismo para verificar la segunda condición de la norma E.060 se agrupa en 2 tandas de 3 muestras, donde el promedio de cada una de estas tandas es mayor a 210 kgf/cm².

Los datos presentados en el capítulo IV. Resultados de la Investigación, que no se encuentran en esta sección, se debe a que es necesario agrupar 3 pares de ensayos, que no fue posible para dichos datos.

5.12. Análisis de Costos

En la presente sección se realiza un análisis de costo beneficio para determinar si el curado de concreto con vapor de agua es viable para su aplicación, para lo cual, se realiza un análisis de los precios unitarios de la aplicación de un curado con agua a 23°C por 28 días y la aplicación de un curado con vapor de agua a 50°C y 70°C, adicionalmente se calculó los análisis de precios unitarios de la elaboración de concreto y del zarandeo del material que fueron parte del procedimiento seguido en esta investigación.

Las siguientes tablas muestran el análisis de precios unitarios de la elaboración del concreto $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm².

Tabla 98

Análisis de precios unitarios de elaboración de concreto $f'c=210$ kgf/cm²

04.06.05.02	CONCRETO F'C=210KGF/CM2	Rend.	22.00	m3/Dia	Precio unitario	S/.	378.38
Revisado		Jornada	8.000	horas			
Descripción del producto		Und	Cuadr	Cantida d	Precio S/.		Parcial S/.
Mano de Obra							
	Operario	h.h	1.00	0.364	S/. 24.31	S/.	S/.
	Oficial	h.h	1.00	0.364	S/. 19.11	S/.	S/.
	Peón	h.h	6.00	2.182	S/. 17.29	S/.	S/.
	Operador de equipo Liviano	h.h	2.00	0.727	S/. 19.11	S/.	S/.
							S/. 67.41
Materiales							
	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m ³		0.660	S/. 59.32	S/.	S/.
	ARENA GRUESA	m ³		0.450	S/. 127.12	S/.	S/.
	AGUA	m ³		0.230	S/. 3.73	S/.	S/.
	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 kg)	bol		8.770	S/. 23.73	S/.	S/.
							S/. 305.31
Equipos							
	Herramientas manuales	% MO		3%	S/.	S/.	S/.
					67.41		2.022
	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	1.00	0.364	S/.	S/.	S/.
					2.00		0.727
	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	1.00	0.364	S/.	S/.	S/.
					8.00		2.909
							S/. 5.66

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 99*Análisis de precios unitarios de elaboración de concreto $f'c=280$ kgf/cm²*

04.06.05.02	CONCRETO F'C=280KGF/CM2	Rend.	22.00	m3/Dia	Precio unitario	S/.	414.11
Revisado		Jornada	8.000	horas			
Descripción del producto		Und	Cuadr	Cantida	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
	Operario	h.h	1.00	0.364	S/. 24.31	S/. 8.84	
	Oficial	h.h	1.00	0.364	S/. 19.11	S/. 6.95	
	Peón	h.h	6.00	2.182	S/. 17.29	S/. 37.72	
	Operador de equipo Liviano	h.h	2.00	0.727	S/. 19.11	S/. 13.90	
						S/. 67.41	
Materiales							
	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m ³		0.660	S/. 59.32	S/. 39.15	
	ARENA GRUESA	m ³		0.410	S/. 127.12	S/. 52.12	
	AGUA	m ³		0.230	S/. 3.73	S/. 0.86	
	CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 kg)	bol		10.490	S/. 23.73	S/. 248.92	
						S/. 341.04	
Equipos							
	Herramientas manuales	% MO		3%	S/. 67.41	S/. 2.022	
	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"	hm	1.00	0.364	S/. 2.00	S/. 0.727	
	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)	hm	1.00	0.364	S/. 8.00	S/. 2.909	
						S/. 5.66	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis de precios unitarios de zarandeo de material grueso y del material fino, debido a que, en la presente investigación, como se explicó en el capítulo 6, se buscó elaborar concreto de manera uniforme a pesar de realizarse en diferentes tandas.

Tabla 100*Análisis de precios unitarios de zarandeo de agregado grueso*

04.06.05.02	ZARANDEO DE AGREGADO GRUESO	Rend.	2.00	m3/Dia	Precio unitario	S/.	83.33
Revisado		Jornada.	8.000	horas			
Descripción del producto		Und	Cuadr.	Cantidad	Precio S/.		Parcial S/.
Mano de Obra	Peón	h.h	1.00	4.000	S/.	17.29	S/.
							69.15
							69.15
Equipos	Herramientas manuales	% MO		3%	S/.	69.15	S/.
	ZARANDA METALICA N°4	hm	1.00	4.000	S/.	0.76	S/.
	ZARANDA METALICA 3/8"	hm	1.00	4.000	S/.	0.76	S/.
	ZARANDA METALICA 1/2"	hm	1.00	4.000	S/.	0.76	S/.
	ZARANDA METALICA 3/4"	hm	1.00	4.000	S/.	0.76	S/.
							14.18

Nota. Fuente: Elaboración propia**Tabla 101***Análisis de precios unitarios de zarandeo de agregado fino*

04.06.05.02	ZARANDEO DE AGREGADO FINO	Rend.	4.00	m3/Dia	Precio unitario	S/.	50.07
Revisado		Jornada.	8.000	horas			
Descripción del producto		Und	Cuadr.	Cantidad	Precio S/.		Parcial S/.
Mano de Obra	Peón	h.h	1.00	2.000	S/.	17.29	S/.
							34.58
							34.58
Materiales	ARENA GRUESA	m ³		0.102	S/.	127.12	S/.
							12.94
							12.94
Equipos	Herramientas manuales	% MO		3%	S/.	34.58	S/.
	ZARANDA METALICA N°4	hm	1.00	2.000	S/.	0.76	S/.
							1.037
							1.513
							2.55

Nota. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los tipos de curado que se realizaron, cabe analizar los siguientes puntos:

1) Costos de infraestructura y equipo:

- Curado con vapor de agua: Requiere la instalación de sistemas de generación y suministro de vapor, así como de un sistema de control de humedad y de temperatura. Estos equipos y su instalación pueden generar costos iniciales significativos.

- Curado convencional con agua: Requiere la instalación de un sistema de control de temperatura específica para el curado, por otro lado, el agua necesaria para el curado puede ser obtenida de fuentes naturales o sistemas de abastecimiento existentes.

2) Consumo de recursos:

- Curado con vapor de agua: Requiere un suministro continuo de vapor de agua, para esta tesis en particular esta generación de vapor es a partir de electricidad. Los costos asociados a este suministro de agua pueden variar dependiendo de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona.
- Curado convencional con agua: Requiere el suministro de electricidad y de agua para el curado, que puede ser obtenida de fuentes naturales o sistemas de abastecimiento existentes.

3) Tiempo de curado:

- Curado con vapor de agua: El proceso de curado reduce los tiempos requeridos para alcanzar la resistencia deseada. Esto puede resultar en una mayor eficiencia en la producción de concreto, un rápido análisis y determinación de diseños de concreto.
 - ❖ De acuerdo con los datos mostrados en el capítulo 4, se llega a la conclusión que los tiempos de curado óptimos son similares para el concreto de diseño 210 kgf/cm² y 280kgf/cm² y son los siguientes:
 - ❖ Tiempo de curado óptimo con vapor de agua a 50 °C es 48 horas para concreto de ambas resistencias de diseño a la compresión.
 - ❖ Tiempo de curado óptimo con vapor de agua a 70 °C es 16 horas para concreto de ambas resistencias de diseño a la compresión.
- Curado convencional con agua: Requiere un tiempo de curado más prolongado, lo que implica esperar un período de tiempo específico para que el concreto alcance la resistencia requerida. Esto puede prolongar los tiempos, disminuir la productividad de concreto.
 - ❖ Tiempo de curado óptimo con agua a 23 °C es 28 días.

4) Calidad del concreto:

- Curado con vapor de agua: Al proporcionar condiciones de curado controladas y uniformes, el curado con vapor de agua puede contribuir a una mayor calidad del concreto en términos de resistencia y durabilidad. Esto puede reducir los costos asociados a reparaciones y mantenimiento a largo plazo.

- Curado convencional con agua: Del mismo modo que el curado con vapor de agua, el curado convencional se realiza en un recipiente metálico a una temperatura controlada, por lo tanto, la calidad del concreto en términos de resistencia y durabilidad será igual.

Tomando en cuenta los puntos 1, 2 y 3 se tiene los siguientes análisis de precios unitarios:

Tabla 102

Análisis de precios unitarios de curado por inmersión en agua a 23°C, para 10 briquetas de concreto.

04.06.05.02	CURADO DE CONCRETO POR INMERSIÓN A 23°C	Rend.	1.00	glb/Dia	Precio unitario	S/.	3,548.06	
Revisado		Jornada.	8.000	horas				
Descripción del producto		Und	Cuadr.	Cantidad	Precio S/.		Parcial S/.	
Mano de Obra								
	Peón	h.h	0.10	0.800	S/.	17.29	S/.	13.83
							S/.	13.83
Materiales								
	ESTRUCTURA DE ACERO	und		1.000	S/.	1,016.95	S/.	1,016.95
	RESISTENCIA DE 2000W	und		4.000	S/.	50.85	S/.	203.39
	RELE DE ESTADO SOLIDO DC- AC 40 A 480 VAC MAX.	und		1.000	S/.	34.15	S/.	34.15
	ENTRADA 3 - 32 VDC SALIDA 90 - 480 VAC							
	DISPLAY ALFANUMÉRICO STM32 STM321F411	und		1.000	S/.	28.81	S/.	28.81
	STM32F411CEU6	und		1.000	S/.	32.20	S/.	32.20
	BLACK PILL							
	SS RELÉ ESTADO SÓLIDO DE 2	und		1.000	S/.	18.64	S/.	18.64
	CANALES							
	SENSOR DE TEMPERATURA DIGITAL	und		2.000	S/.	8.47	S/.	16.95
	SERVOMOTOR	und		1.000	S/.	25.42	S/.	25.42
	PINTURA EPOXICA	und		1.000	S/.	184.75	S/.	184.75
	ENERGIA ELECTRICA	kW.h		61.511	S/.	32.06	S/.	1,972.00
	AGUA	m ³		0.145	S/.	3.73	S/.	0.54
							S/.	3,533.81
Equipos								
	Herramientas manuales	% MO		3%	S/.	13.83	S/.	0.415
							S/.	0.41

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 103

Análisis de precios unitarios de curado de concreto con vapor de agua a 70°C por 16 horas, para 10 briquetas de concreto

04.06.05.02	CURADO DE CONCRETO CON VAPOR DE AGUA A 70°C	Rend.	1.00	glb/Dia	Precio unitario	S/.	3,331.49
Revisado		Jornada.	8.000	horas			
Descripción del producto		Und	Cuadr.	Cantidad	Precio S/.		Parcial S/.
Mano de Obra							
	Peón	h.h	0.10	0.800	S/.	17.29	S/.
							S/.
							13.83
Materiales							
	ESTRUCTURA HERMÉTICA DE ACERO INOX CON FIBRA DE VIDRIO	und		1.000	S/.	2,118.64	S/.
	RASPBERRY PI ZERO 2 W	und		1.000	S/.	66.10	S/.
	RASPBERRY PI ZERO 2 W	und		1.000	S/.	50.85	S/.
	MÓDULO DIMMER AC PARA CONTROLAR CON ARDUINO	und		1.000	S/.	50.85	S/.
	SENSOR BME280 PRESIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD	und		2.000	S/.	25.42	S/.
	MÓDULO RELAY SSR 1CH 5VDC	und		1.000	S/.	8.47	S/.
	HUMIDIFICADOR ULTRASÓNICO 24V DC	und		1.000	S/.	33.90	S/.
	CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-UP 2.5A XL6009	und		1.000	S/.	8.47	S/.
	CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596	und		1.000	S/.	10.17	S/.
	FUENTE DE PODER SWITCHING 12V 5A 60W	und		1.000	S/.	50.85	S/.
	SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO	und		1.000	S/.	6.78	S/.
	MANGUERA DE INGRESO PARA ENTRADA DE AGUA PARA LAVADORA DE 3M.	und		1.000	S/.	22.03	S/.
	VALVULA SOLENOIDE DE 1/2" INGRESO Y SALIDA 220 VAC	und		1.000	S/.	20.34	S/.
	NIPLE PVC DE 1/2" X 5/8"	und		1.000	S/.	1.69	S/.
	TUBO DE ABASTO PARA LAVATORIO	und		1.000	S/.	1.69	S/.
	MICRO SD 32GB	und		1.000	S/.	15.25	S/.
	RESISTENCIA DE COCINA ELÉCTRICA DE 1000 W	und		3.000	S/.	16.95	S/.
	TRANSISTOR TIC29C NPM (ALTERNATIVO)	und		3.000	S/.	2.54	S/.
	VENTILADOR PARA INCUBADORA INDUSTRIAL 100 A 600 HUEVOS 220V	und		1.000	S/.	127.12	S/.
	COSTOS DE ENVIO	vje		1.000	S/.	10.17	S/.
	PROGRAMACION	dia		3.000	S/.	169.49	S/.
	ENERGIA ELECTRICA	kW.h		4.576	S/.	32.06	S/.
	AGUA	m³		0.056	S/.	3.73	S/.
							S/.
							3,317.25
Equipos							
	Herramientas manuales	% MO		3%	S/.	13.83	S/.
							S/.
							0.41

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 104

Análisis de precios unitarios de curado de concreto con vapor de agua a 50°C por 48 horas, para 10 briquetas de concreto

04.06.05.02	CURADO DE CONCRETO CON VAPOR DE AGUA A 50°C	Rend.	1.00	glb/Dia	Precio unitario	S/.	3,513.75	
Revisado		Jornada.	8.000	horas				
Descripción del producto		Und	Cuadr.	Cantidad	Precio S/.		Parcial S/.	
Mano de Obra								
	Peón	h.h	0.10	0.800	S/.	15.86	S/.	12.69
							S/.	12.69
Materiales								
	ESTRUCTURA HERMÉTICA DE ACERO INOX CON FIBRA DE VIDRIO	und		1.000	S/.	2,118.64	S/.	2,118.64
	RASPBERRY PI ZERO 2 W	und		1.000	S/.	66.10	S/.	66.10
	RASPBERRY PI ZERO 2 W MÓDULO DIMMER AC PARA CONTROLAR CON ARDUINO	und		1.000	S/.	50.85	S/.	50.85
	SENSOR BME280 PRESIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD	und		2.000	S/.	25.42	S/.	50.85
	MÓDULO RELAY SSR 1CH 5VDC	und		1.000	S/.	8.47	S/.	8.47
	HUMIDIFICADOR ULTRASÓNICO 24V DC	und		1.000	S/.	33.90	S/.	33.90
	CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-UP 2.5A XL6009	und		1.000	S/.	8.47	S/.	8.47
	CONVERTIDOR VOLTAJE DC-DC STEP-DOWN 3A LM2596	und		1.000	S/.	10.17	S/.	10.17
	FUENTE DE PODER SWITCHING 12V 5A 60W	und		1.000	S/.	50.85	S/.	50.85
	SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO	und		1.000	S/.	6.78	S/.	6.78
	MANGUERA DE INGRESO PARA ENTRADA DE AGUA PARA LAVADORA DE 3M.	und		1.000	S/.	22.03	S/.	22.03
	VALVULA SOLENOIDE DE 1/2" INGRESO Y SALIDA 220 VAC	und		1.000	S/.	20.34	S/.	20.34
	NIPLE PVC DE 1/2" X 5/8"	und		1.000	S/.	1.69	S/.	1.69
	TUBO DE ABASTO PARA LAVATORIO	und		1.000	S/.	1.69	S/.	1.69
	MICRO SD 32GB	und		1.000	S/.	15.25	S/.	15.25
	RESISTENCIA DE COCINA ELÉCTRICA DE 1000 W	und		3.000	S/.	16.95	S/.	50.85
	TRANSISTOR TIC29C NPM (ALTERNATIVO)	und		3.000	S/.	2.54	S/.	7.63
	VENTILADOR PARA INCUBADORA INDUSTRIAL 100 A 600 HUEVOS 220V	und		1.000	S/.	127.12	S/.	127.12
	COSTOS DE ENVIO	vje		1.000	S/.	10.17	S/.	10.17
	PROGRAMACION	dia		3.000	S/.	169.49	S/.	508.47
	ENERGIA ELECTRICA	kW.h		10.298	S/.	32.06	S/.	330.13
	AGUA	m³		0.056	S/.	3.73	S/.	0.21
							S/.	3,500.68
Equipos								
	Herramientas manuales	% MO		3%	S/.	12.69	S/.	0.381
							S/.	0.38

Nota. Fuente: Elaboración propia

El curado con vapor de agua ofrece la ventaja de acelerar el proceso de curado del concreto, lo que resulta en tiempos de fabricación, análisis y de investigación más cortos. Esto puede traducirse en una reducción de tiempo y de costos asociados al consumo energético.

En términos de calidad del concreto, el curado con vapor de agua y el curado convencional ofrecen la misma calidad en términos de resistencia y durabilidad.

En conclusión, si bien el curado con vapor de agua puede implicar costos iniciales más altos, estos gastos pueden amortizarse por la disminución del consumo energético, de tiempo y de agua a lo largo de la realización de las aplicaciones mencionadas en esta tesis.

Tabla 105

Costo directo de los 3 tipos de curado que se realizaron en la presente investigación.

TIPO DE CURADO	COSTO DIRECTO	PORCENTAJE RESPECTO AL CURADO TRADICIONAL
CURADO DE CONCRETO POR INMERSIÓN A 23°C	S/ 3,548.06	100.00%
CURADO DE CONCRETO CON VAPOR DE AGUA A 70°C	S/ 3,331.49	93.90%
CURADO DE CONCRETO CON VAPOR DE AGUA A 50°C	S/ 3,513.75	99.03%

Nota. Estos precios unitarios se calcularon para cada tipo de curado aplicado a 10 briquetas de concreto. Fuente: Elaboración propia

Considerando los beneficios a largo plazo y la optimización de los recursos, el curado con vapor de agua puede ser una opción costo-eficiente y sostenible para la industria de la construcción en la ciudad de Cusco y en otras regiones.

6. Capítulo VI: Observaciones, Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Observaciones

Observación 1: La temperatura de curado con vapor de agua influye positivamente en el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm²

Observación 2: La velocidad de desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto es directamente proporcional con la temperatura de curado con vapor de agua.

Observación 3: Cuando se cura concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² con vapor de agua a 50°C es necesario más tiempo a comparación de un curado con vapor de agua a 70°C para lograr un desarrollo de la resistencia a compresión del concreto equivalente a 28 días en agua a 23°C.

Observación 4: Cuando se cura concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² con vapor de agua a 70°C durante 16 horas se logra un desarrollo de la resistencia a compresión del concreto equivalente a 28 días en agua a 23°C.

Observación 5: Son necesarias 48 de curado de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² con vapor de agua a 50°C para lograr una resistencia a compresión del concreto equivalente a 28 días en agua a 23°C, por otro lado, si el concreto es sometido a un curado a 70°C son necesarias 16 horas de curado para lograr la resistencia equivalente.

Observación 6: El curado de concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² con vapor de agua a 50°C y a 70°C logra desarrollar una resistencia del concreto equivalente a la desarrollada cuando el concreto es sometido a un curado en agua a 23°C durante 28 días.

Observación 7: El curado con vapor de agua logra reducir el tiempo de producción del concreto de 28 días a 3 días o 4 días dependiendo si se somete a un curado con vapor a 50°C o a 70°C respectivamente.

Observación 8: El curado con vapor de agua del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y $f'c=280$ kgf/cm² a 50°C y a 70°C produce en promedio un desarrollo de la resistencia a compresión del concreto del 80% desde el desencofrado hasta 1 día después de terminado el procedimiento de curado con vapor.

Observación 9: Se observó que la evolución de la resistencia a la compresión del concreto se adecua de mejor manera a ecuaciones cuadráticas dentro del margen de horas estudiadas que para el caso de un curado con vapor a 70°C fue de 0 a 18 horas de curado y para el curado a 50°C fue de 0 a 48 horas de curado.

Observación 10: El régimen de curado con vapor de agua a 70°C no genera un estancamiento o disminución de la evolución de la resistencia a la compresión luego de 28 días.

Observación 11: Se observó que los tipos de falla más predominantes durante la investigación fueron las fallas tipo 3 y tipo 4, lo cual evidencia la presencia de convexidad o concavidad en el capeado de yeso de las briquetas de concreto para el caso de la falla tipo 3 y se evidencia la falta de paralelismo entre las caras de las briquetas de concreto para el caso de la falla tipo 4.

6.2. Conclusiones

Conclusión 1 respecto al objetivo general: Se observó una variación significativa en los resultados de resistencia a la compresión del concreto de $\approx 210 \text{ kgf/cm}^2$ y $\approx 280 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se aplicaron diferentes temperaturas e intervalos de tiempo de curado con vapor de agua. Los resultados indican que ciertas combinaciones de temperatura y tiempo de curado producen una aceleración del desarrollo de la resistencia a la compresión en comparación con el curado tradicional con agua.

Conclusión 2 respecto al objetivo específico 1: Se observó que el concreto de resistencia $\approx 210 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se cura a 70°C durante 16 horas se obtiene el 100.1% de la resistencia a la 28 días, en cambio si se cura a 50°C durante 16 horas se obtiene el 67.5% de la resistencia a 28 días; por otro lado se observó que el concreto de resistencia $\approx 280 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se cura a 70°C durante 16 horas se obtiene el 99.9% de la resistencia a la 28 días, en cambio, si se cura a 50°C durante 16 horas se obtiene el 72.03% de la resistencia a 28 días; en general, se pudo observar un rápido desarrollo en la resistencia a la compresión para ambos tipos de concreto cuando se utilizó el curado con vapor de agua a 70°C con respecto al curado con vapor a 50°C .

Tabla 106

Influencia del curado con vapor en la evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$

Resistencia a la Compresión de diseño $f'c$ (kgf/cm^2)	Temperatura de curado con Vapor ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de curado (h)	Resistencia a la compresión $f'c$ alcanzada a los 28 días con el curado tradicional (kgf/cm^2)	Resistencia a la compresión $f'c$ curado con vapor (kgf/cm^2)	Porcentaje respecto a la resistencia a 28 días
280	50	6	344	157.83	45.88%
280	70	6	344	229.80	66.80%
210	50	6	292.2	122.74	42.00%
210	70	6	292.2	181.05	61.95%
280	50	12	344	224.10	65.15%
280	70	12	344	313.75	91.21%
210	50	12	292.2	178.65	61.13%
210	70	12	292.2	255.42	87.40%
280	50	16	344	247.80	72.03%
280	70	16	344	344.10	99.90%
210	50	16	292.2	197.25	67.50%
210	70	16	292.2	292.52	100.10%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Conclusión 3 respecto al objetivo específico 2: Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión del concreto de $\approx 210 \text{ kgf/cm}^2$ cuando se cura con vapor de agua a 70°C por 6, 14, 16 y 18

horas, presenta una resistencia del 61.95%, 90.20%, 100.10% y 100.37% respectivamente, y cuando se cura con vapor de agua a 50°C por 8, 12, 16 y 48 horas, presenta una resistencia del 50.63%, 61.13%, 67.50% y 99.67% respectivamente.

Por otro lado, para el concreto de $f'c=280$ kgf/cm² cuando se cura con vapor de agua a 70°C por 6, 14, 16 y 18 horas, presenta una resistencia del 66.80%, 93.37%, 99.90% y 100.48% respectivamente, y cuando se cura con vapor de agua a 50°C por 8, 12, 16 y 48 horas, presenta una resistencia del 57.15%, 65.15%, 72.03% y 98% respectivamente.

Se observó que cuando se cura con vapor a la temperatura de 70°C el intervalo de tiempo necesario es menor que si se curase a la temperatura de 50°C, ello aplica para ambas resistencias.

Tabla 107

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² curado con vapor a 50°C y 70°C

Resistencia a la Compresión de diseño $f'c$ (kgf/cm ²)	Tiempo de curado (h)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia a la compresión obtenido con el curado con vapor (kgf/cm ²)	Resistencia a la Compresión alcanzada a los 28 días con el curado tradicional (kgf/cm ²)	Porcentaje respecto a la resistencia a 28 días
210	0		57.6	292.2	19.71%
210	8	50	147.95	292.2	50.63%
210	12	50	178.65	292.2	61.13%
210	16	50	197.25	292.2	67.50%
210	48	50	295.94	292.2	99.67%
210	6	70	181.05	292.2	61.96%
210	14	70	263.6	292.2	90.20%
210	16	70	292.52	292.2	100.10%
210	18	70	293.3	292.2	100.37%
210	28 días	23	292.2		100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 108

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=280$ kgf/cm² curado con vapor a 50°C y 70°C

Resistencia a la Compresión de diseño $f'c$ (kgf/cm ²)	Tiempo de curado (h)	Temperatura de Curado (°C)	Resistencia a la compresión obtenido con el curado con vapor (kgf/cm ²)	Resistencia a la Compresión alcanzada a los 28 días con el curado tradicional (kgf/cm ²)	Porcentaje respecto a la resistencia a 28 días
280	0		73	344	21.22%
280	8	50	196.6	344	57.15%
280	12	50	224.1	344	65.15%
280	16	50	247.8	344	72.03%
280	48	50	337.13	344	98.00%
280	6	70	229.8	344	66.80%
280	14	70	321.2	344	93.37%
280	16	70	344.1	344	100.03%
280	18	70	345.65	344	100.48%
280	28 días	23	344		100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Conclusión 4 respecto al objetivo específico 3: A través del análisis de los resultados de resistencia a la compresión, se determinó que la temperatura óptima de curado con vapor de agua para alcanzar una resistencia equivalente al curado convencional con agua a los 28 días para los concretos de resistencia a la compresión de $=210$ kgf/cm² y $=280$ kgf/cm² fue de 70 °C, observándose que obtiene una resistencia de 100.10% y 100.03% con respecto a la resistencia a 28 días, respectivamente. Este hallazgo proporciona una guía importante para la industria de la construcción en la selección de las condiciones de curado más eficientes y efectivas.

Conclusión 5 respecto al objetivo específico 4: Se determinó que el tiempo óptimo de curado con vapor de agua para alcanzar una resistencia equivalente al curado convencional con agua a los 28 días fue de 16 horas para un curado a vapor a 70°C y de 48 horas para un curado a vapor a 50°C para ambos tipos de concreto abordados durante la presente investigación. Este resultado ofrece una pauta valiosa para el proceso de curado con vapor de agua de concreto en condiciones específicas de temperatura y tiempo en la ciudad de Cusco.

Conclusión 6 respecto al objetivo específico 5: Se encontró una equivalencia significativa en términos de resistencia a la compresión entre los concretos de $=210$ kgf/cm² y $=280$ kgf/cm² cuando se

curaron con vapor de agua a diferentes temperaturas y tiempos, en comparación con los concretos curados convencionalmente con agua a los 28 días.

En la presente investigación se obtuvo una equivalencia del 100.1% y 99.7% cuando se cura a vapor el concreto de diseño $f'c=210$ kgf/cm², a 70°C durante 16 horas y a 50°C durante 48 horas respectivamente, tomando como referencia del 100% a la resistencia obtenida a los 28 días mediante el curado tradicional con agua a 23 C°.

En cuanto al concreto de diseño $f'c=280$ kgf/cm², se obtuvo una equivalencia del 100% y 98% cuando se cura a vapor a 70°C durante 16 horas y a 50°C durante 48 horas respectivamente, del mismo modo se tomó como referencia la resistencia alcanzada mediante el curado tradicional.

Esto sugiere que el curado con vapor de agua puede ser una alternativa efectiva al curado tradicional con agua en términos de resistencia a la compresión.

Tabla 109

Comparación de la resistencia a la compresión de concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y 280 kgf/cm² cuando se cura con vapor respecto al curado por inmersión a 28 días

Resistencia a la Compresión de diseño $f'c$ (kgf/cm ²)	Tipo de Curado	Temperatura de Curado (°C)	Tiempo de curado (h)	Resistencia a la Compresión Obtenida $f'c$ (kgf/cm ²)	Porcentaje respecto a la resistencia a 28 días
210	A vapor	50	48	291.27	99.70%
210	A vapor	70	16	292.52	100.10%
210	Por inmersión	23	28 días	292.20	100.00%
280	A vapor	50	48	337.13	98.00%
280	A vapor	70	16	344.10	100.03%
280	Por inmersión	23	28 días	344.00	100.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Estas conclusiones respaldan los objetivos planteados en la investigación y proporcionan información importante para la industria de la construcción, especialmente en el desarrollo de prácticas de curado más eficientes y efectivas para el concreto prefabricado, expediente técnicos etc.

Conclusión 7: De acuerdo con el análisis de costo-beneficio se concluye que el curado con vapor de agua a 70°C ofrece una reducción de costos del 6.10% con respecto al curado tradicional y que el curado con vapor de agua a 50°C ofrece una reducción de costos del 0.97% con respecto al curado tradicional, pero la productividad se incrementa significativamente ya que el tiempo de curado se reduce en 26 días para la temperatura de 70°C y 25 días para la temperatura de 50°C, es decir que si se

cura con vapor de agua de manera seguida, se podría producir 26 veces o 25 veces más que si se cura de manera tradicional.

Conclusión 8: De acuerdo con el análisis del ensayo de resistencia a la compresión a 24 horas después del vaciado de los concretos de ambas resistencias se concluye que el curado con vapor a 70°C durante 16 horas aumenta en un 80.3% la resistencia del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y en 78.8% la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=280$ kgf/cm² tomando como 100% la resistencia promedio alcanzada luego del curado con vapor de agua. Por otro lado, cuando se cura con vapor a 50°C durante 48 horas, la resistencia a la compresión aumenta en un 80.2% en el caso del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y en 78.3% en el caso del concreto de $f'c=280$ kgf/cm² tomando como 100% la resistencia a compresión promedio alcanzada luego del curado con vapor de agua.

Conclusión 9: De acuerdo con el análisis de los valores de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y del concreto $f'c=280$ kgf/cm² se determinó sus ecuaciones de madurez, las cuales son las siguientes:

Para concreto de $f'c=210$ kgf/cm², curado a la temperatura de 70°C

$$= -0.5539x^2 + 23.017x + 58.977, R^2 = 0.9963$$

Para concreto de $f'c=280$ kgf/cm², curado a la temperatura de 70°C

$$y = -0.8295x^2 + 29.845x + 75.056, R^2 = 0.9975$$

Para concreto de $f'c=210$ kgf/cm², curado a la temperatura de 50°C

$$y = -0.1306x^2 + 11.057x + 61.103, R^2 = 0.9956$$

Para concreto de $f'c=280$ kgf/cm², curado a la temperatura de 50°C

$$y = -0.1824x^2 + 14.103x + 79.782, R^2 = 0.9887$$

Conclusión 10: En cuanto al análisis de las briquetas curadas con vapor de manera óptima dejadas por 28 días, se observó que no hubo presencia de grietas ni deformaciones en las mismas, además al ser ensayadas a compresión su resistencia continúa incrementándose en menor grado.

Conclusión 11: Se concluye de acuerdo con las fallas generadas en los ensayos de resistencia a la compresión, que la presencia de convexidad o concavidad en el capeado de yeso de las briquetas de concreto produce la falla tipo 3 y la falta de paralelismo entre las caras de las briquetas de concreto produce la falla tipo 4.

6.3. Recomendaciones

Recomendación 1: Se recomienda el curado con vapor de agua para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto cuando es necesario obtener un concreto con una resistencia equivalente a la obtenida a 28 días.

Recomendación 2: Según lo observado en la presente investigación, se recomienda el curado con vapor de agua a 70°C sobre el curado con vapor a 50°C, debido a que a mayor temperatura se obtiene un mayor desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto.

Recomendación 3: Se recomienda el curado con vapor de agua a 70°C y a 50°C porque ambos logran acelerar el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto, reduciendo el tiempo de curado del concreto de 28 días a 16 y 48 horas respectivamente.

Recomendación 4: Se recomienda el curado con vapor de agua a 70°C para el concreto de $f'c=210$ kgf/cm² y para el concreto $f'c=280$ kgf/cm², porque el desarrollo de la resistencia a la compresión bajo la influencia del curado con vapor es similar para ambos tipos de concreto.

Recomendación 5: Se recomienda mantener los materiales con un adecuado almacenamiento, principalmente con una protección contra la humedad, ya que dicho factor es fundamental a la hora de obtener la resistencia requerida, de este modo se evita variaciones en los diseños de mezclas.

Recomendación 6: Se recomienda tomar precauciones al momento de desmoldar las briquetas de los moldes de plástico, ya que al inyectar aire por medio del inflador, se genera una gran presión que expulsa el molde con una gran fuerza, en nuestro caso los moldes de plástico teniendo un grosor bastante considerable lo cual impedía su rápida expansión con agua caliente o exponiéndolo al sol, además este proceso de exposición podría afectar de alguna manera las investigaciones, por lo tanto se recomienda tomar precauciones al momento de desmoldar o usar moldes de plástico con un grosor menor.

Recomendación 7: Se recomienda tomar la humedad tanto del agregado grueso como del agregado fino un día antes de realizar el mezclado de los materiales, en caso de notar variaciones en la humedad.

Recomendación 8: Se recomienda un mayor análisis en cuanto al cálculo del porcentaje de desperdicios, esta investigación recomienda tomar un mayor porcentaje de desperdicios para una menor cantidad de concreto y un menor porcentaje de desperdicios para una mayor cantidad de concreto.

Recomendación 9: En cuanto a la cantidad de agua que se obtiene del diseño de mezclas no siempre será el más óptimo, por ello se recomienda que al momento de mezclar utilizar aproximadamente un 90% del total de agua y luego adicionar de acuerdo con la trabajabilidad del concreto que se desea

obtener, por otro se recomienda realizar vaciados previos de 3 o 2 especímenes de concreto para así entender y calcular de una mejor manera la cantidad de agua que se necesita.

Recomendación 10: Se recomienda colocar capping sobre los especímenes secos y no húmedos, ya que, al estar húmedos, provoca que el capping se desprende de las caras del espécimen de concreto.

6.4. Implicancias y Aplicaciones Prácticas

Aplicación 1: Control de Calidad en Expedientes Técnicos

Al tener acceso a datos confiables sobre las condiciones de curado óptimas, los ingenieros y técnicos de control de calidad pueden realizar análisis y evaluaciones más rápidas de las muestras de concreto, verificando rápidamente si las muestras de concreto cumplen con los estándares de calidad especificados en los expedientes técnicos.

Esto permite una respuesta más rápida ante posibles desviaciones en la calidad del concreto y la implementación o ajuste oportuno de medidas correctivas.

Aplicación 2: Elaboración de Diseños de Mezclas

Al poder diseñar mezclas de concreto con rapidez y precisión, se acorta significativamente el tiempo requerido para la obtención de la resistencia requerida del concreto.

Por otro te permite analizar con mayor rapidez las propiedades de un concreto con distintas características, como distintas granulometrías, otros tipos de agregados, distintas relaciones agua/cemento, implementación de materiales que reemplacen al cemento o a los agregados.

Aplicación 3: Optimización del Proceso de Curado en la Industria del Concreto Prefabricado:

Los resultados obtenidos permiten establecer condiciones óptimas de temperatura y tiempo de curado con vapor de agua para alcanzar niveles de resistencia a la compresión equivalentes al curado convencional con agua a los 28 días.

Esto puede conducir a una optimización de los procesos de producción en la industria del concreto prefabricado, reduciendo los tiempos de curado y mejorando la eficiencia sin comprometer la calidad del producto final.

6.5. Recomendaciones para Futuras Investigaciones

Recomendación 1: Explorar otros Tiempos, temperaturas y presiones de curado con vapor de agua

En esta investigación se centró en dos temperaturas las cuales son 50 °C y 70 °C con una humedad relativa mayor al 95%, estas fueron elegidas debido a bibliografía previa, pero se podría explorar otros aspectos del curado, como temperaturas mayores a 70 °C, presiones mayores del vapor, la humedad relativa y la composición del vapor, para comprender mejor su impacto en la resistencia del concreto. La presente investigación se realizó bajo las condiciones de presión atmosférica en la ciudad del Cusco, por lo que podría investigarse la variación del curado con vapor de agua realizado a nivel del mar.

Recomendación 2: Estudiar el Efecto del Curado con Vapor de Agua en otras Propiedades del concreto

Además de la resistencia a la compresión, futuras investigaciones podrían investigar cómo el curado con vapor de agua afecta otras propiedades importantes del concreto, como la durabilidad, la permeabilidad, la resistencia al desgaste y la adherencia del refuerzo.

Se recomienda investigar la influencia del curado con vapor de agua a distintas temperaturas y presiones, en el módulo de elasticidad del concreto inmediatamente después del curado, así como a largo plazo.

Recomendación 3: Analizar Diferentes Tipos de Diseños de Concreto

Se podría realizar un estudio de distintos tipos de concreto de distintas granulometrías, otros tipos de agregados, distintas relaciones agua/ cemento o la implementación de materiales como reemplazo del cemento tales como cenizas de ladrillos, grafeno, etc., con el fin de evaluar cómo responden a diferentes condiciones de curado con vapor de agua.

Recomendación 4: Investigar el Comportamiento a Largo Plazo del Concreto Curado con Vapor

Sería interesante realizar un seguimiento del desempeño del concreto curado con vapor de agua a lo largo del tiempo para evaluar su resistencia y durabilidad a largo plazo en condiciones reales de servicio.

Recomendación 5: Explorar otras Aplicaciones del Curado con Vapor de Agua

Además de las aplicaciones mencionadas en esta tesis, se podría investigar el uso del curado con vapor de agua en otras aplicaciones de la industria del concreto, como la producción de elementos de concreto armado in situ.

6.6. Bibliografía

Libros y Documentos de Investigación

1. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed: -). México D.F.: McGraw-Hill.
2. Carbajal, E. P. (1996). *Tópicos de tecnología del concreto* (2.^a ed.). Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.
3. De Guzmán, D. S. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Pontificia Universidad Javeriana.
4. Montoya, P. J., & Meseguer, Á. G. (2009). *Hormigón armado* (15.^a ed.). Gustavo Gili, SL, Barcelona, 2009.
5. Del Concreto, I., & De Productores De Concreto, A. C. (1997). *Tecnología y propiedades (del concreto y el mortero)* (2.^a ed.).
6. Villegas Negrette, L y. (2012). *Viga de concreto micro-reforzado para losas prefabricadas en edificaciones de uso residencial*. Universidad EIA.
7. Carreño Bustos, A. (2015). *Estudio de la prefabricación en concreto reforzado y su influencia en la construcción de estructuras en Colombia*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
8. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concreto Microestructura, Propiedades y Materiales*
9. Neville, A. m. (1999). *Tecnología del Concreto* .
10. Von Halasz, R., & Tantow, G. (1982). *Construccion con Grandes Elementos Prefabricados*.
11. Fonseca Lopez, J., & Diaz Bello, S. (2020). *Aspectos químicos y termonidamicos del cemento y el concreto*.

Tesis y Artículos de Investigación

1. Valdivia Torres, G. C. (2017) *Diseños de mezclas de concreto con curado acelerado por el método de agua caliente en la ciudad de Arequipa – 2017*. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Santa María <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8184>
2. Caparó Guevara, A. (2017). *Diseño de Mezclas de Concreto de Alta Resistencia para Elementos Prefabricados y/o Pretensados Utilizando Adiciones Minerales y Aditivos en Edades Tempranas Mediante Curado a Vapor y Curado Adiabático en la Ciudad de*

Arequipa. [Tesis para optar el título profesional, Universidad Católica de Santa María].
Repositorio institucional de la Universidad Católica de Santa María
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6854>

3. Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., Adesina, A., De Azevedo, A. R. G., Amin, M., Hadzima-Nyarko, M., & Agwa, I. S. (2022). *Review on effect of steam curing on behavior of concrete*. *Cleaner materials*, 3, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100042>
4. Hernandez, B. E. (2016). *Transferencia de masa y calor con reacción química en materiales base cemento durante el curado con vapor de agua*. [Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional] Repositorio del Instituto Politécnico Nacional
http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/handle/LITER_CIIDIROAX/330
5. Abdullah M. Zeyad, Megat Azmi Megat Johari, Aref Abadel, Ahmed Abutaleb, M.J.A. Mijarsh, Ali Almalki, (2022). *Transport properties of palm oil fuel ash-based high-performance green concrete subjected to steam curing regimes*, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 16, e01077, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01077>.
6. Niño, P. A. (2014). *Influencia del régimen de curado sobre la resistencia a compresión de concretos de ultra alto desempeño (CUAD)*. [Tesis para optar el título profesional, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/16790>.
7. Palazzi, S. B. (1999). *Mezclas óptimas de hormigón curadas a vapor para la prefabricación de diferentes elementos estructurales*. [Tesis para optar el grado académico de Magíster, Universidad Nacional de Tucumán].
8. Liu, B., Xie, Y., & Li, J. (2005). *Influence of steam curing on the compressive strength of concrete containing supplementary cementing materials*. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 994-998. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.044>
9. Bao-Ju, L., Youjun, X., Shi-Qiong, Z., & Li, J. (2001). *Some factors affecting early compressive strength of steam-curing concrete with ultrafine fly ash*. *Cement and Concrete Research*, 31(10), 1455-1458. [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(01\)00559-2](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(01)00559-2)
10. Shi, J., Liu, B., Zhou, F., Shen, S., Dai, J., Ji, R., & Tan, J. (2020). Heat damage of concrete surfaces under steam curing and improvement measures. *Construction and Building Materials*, 252, 119104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119104>
11. Filio Chagua F .C. (2019, 27 agosto). Evaluación y análisis de la influencia de curado acelerado por el método de agua caliente en la resistencia a la compresión de concreto $f'c=210$ kgf/cm², en la Provincia y Región de Pasco.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1514>

12. Cruzado, J. (2018). Efecto de la aplicación de curado acelerado en la resistencia a la compresión de especímenes de concreto utilizando el método de la NTP 339.213, año 2015 (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/14175>
13. Monteagudo, S. (2014). Estudio Microestructural y de los procesos de hidratación de cementos con adiciones). [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]

Comités

1. ACI 211.1: Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para Concreto Normal, Pesado y Masivo
2. ACI 308: Curado del Hormigón
3. ACI 516: Práctica moderna de curado con vapor a alta presión y propiedades de los productos esterilizados en autoclave
4. ACI 517.2R-92: Curado Acelerado de Concreto a Presión Atmosférica

Normativa International:

1. “ASTM C 702 / C702M: Practica Estándar para Reducción de las Muestras de Agregado a Tamaño de Prueba”
2. “ASTM C 143: Método de ensayo estándar para el revenimiento del concreto de cemento hidráulico”
3. “ASTM C 39 / C 39M: Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto”
4. “AASHTO T231: Método estándar de prueba para encapsular especímenes cilíndricos de concreto.
5. “ASTM C617/C617M: Procedimiento normalizado para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón”
6. “ASTM C 192/C 192M – 02: Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo”
7. “ASTM C 143: Método de ensayo estándar para el revenimiento del concreto de cemento hidráulico”
8. “ASTM C 39 / C 39M: Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto”

9. "AASHTO T231: Método estándar de prueba para encapsular especímenes cilíndricos de concreto.
10. "ASTM C617/C617M: Procedimiento normalizado para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón"
11. "CIRSOC 201: Ministerio de planificación federal, inversión pública y servicios secretaria de obras públicas de la nación"
12. "ASTM C 192/C 192M – 02: Práctica Estándar para Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Concreto para Ensayo"

Normativa Nacionales:

1. "NTP 400.043: AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras a tamaño de ensayo"
2. "MTC E204: Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos"
3. "NTP 400.012: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global"
4. "NTP 400.037: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón"
5. "MTC E 215: Método de Ensayo para Contenido de Humedad Total de los Agregados por Secado"
6. "NTP 339.185: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado"
7. "MTC E 202: Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 mm (Nº 200) por lavado"
8. "NTP 400.018: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 mm (Nº200) por lavado en agregados"
9. "MTC E 205: Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos"
10. "MTC E 206: Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos"
11. "NTP 400.022: AGREGADOS Método de ensayo normalizado para la densidad relativa (peso específico) y absorción de agregado fino"
12. "NTP 400.021: AGREGADOS Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso"
13. "MTC E 203: Peso Unitario y Vacíos de los Agregados"

14. "NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado"
15. "MTC E 203: Peso Unitario y Vacíos de los Agregados"
16. "NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado"
17. "MTC E 207: Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37,5 mm (1 ½)"
18. "NTP 400.019: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto de Los Ángeles"
19. "NTP 339.035: Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams"
20. "NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas"
21. "NTP 334.077: Ambientes, gabinetes y tanques de almacenamiento utilizados en los ensayos de cemento y concreto. Requisitos"
22. "NTP 339.183: Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio"

Páginas Web

Cemento YURA. (s.f.). Obtenido de <https://www.yura.com.pe/>

Gúzman, D. S. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Barcelona: BHANDAR EDITORES LTDA.

Hernández Sampieri, R. F. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 6). Mexico.

Jiménez Montoya, P., García Meseguer, Á., Morán Cabré, F., & Arroyo Portero, J. (2009). *Hormigón Armado*. Barcelona: Gustavo Gili SL.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concreto Microestructura, Propiedades y Materiales*.

Neville, A. m. (1999). *Tecnología del Concreto* .

Pasaimper. (s.f.). *Pasaimper*. Obtenido de Pasaimper: <https://pasaimper.com.mx/que-funcion-tienen-las-membranas-de-curado/>

Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.

Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., & J. Velazco, G. (2014). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: PGA Marketing Soluciones.

Von Halasz, R., & Tantow, G. (1982). *Construccion con Grandes Elementos Prefabricados* .

Yura. (s.f.). *Yura*. Obtenido de Yura: <https://www.yura.com.pe/blog/curado-concreto-primera-parte/>

7. Anexos

Anexo A. Diseño de mezclas de Concreto $f'_c=210 \text{ kgf/cm}^2$ - ACI 211.1

Diseño de Concreto ACI 211.1 $f'_c=210 \text{ kgf/cm}^2$

DISEÑO DE CONCRETO ACI 211.1 F'C=210 KGF/CM2			
A) Resistencia promedio necesaria			
Según Norma E.060	f'_c $21 \leq f'_c \leq 35$ f'_{cr}	210 $f'_{cr}=f'_c+8.5$ 296.68	kgf/cm ² MPa kgf/cm ²
B) Tamaño Maximo Nominal			
Según la granulometría		19 mm	
C) Asentamiento			
	Rango elegido	75 a 100	mm
	Slump recomendado por ACI 211.1	Slump máx	Slump min
	Para vigas, columnas	100	25
D) Selección del Volumen unitario de agua			
Agua en kg/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado			
Asentamiento (mm)	9.5	12.5	19
Concreto sin entrada de aire			
25 a 50	207	199	190
75 a 100	228	216	205
150 a 175	243	228	216
Para concreto sin entrada de aire		205	l/m ³
E) Selección del Contenido de Aire Atrapado			
Tamaño Máximo Nominal (mm)	Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)		
9.5	3		
12.5	2.5		
19	2		
25	1.5		
Contenido de Aire atrapado		2	
F) Selección de la relacion agua-cemento			
Resistencia a la compresión a los 28 días		Relación a/c	
Mpa	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido	

	40	0.42	-
	35	0.47	0.39
	30	0.54	0.45
	25	0.61	0.52
	20	0.69	0.6
	15	0.79	0.7
Resistencia requerida	29.67	Relación a/c calculada	0.55

G) Determinación del Factor Cemento

C	372.73	kgf/cm ³
---	--------	---------------------

H) Determinación del Contenido de Agregado Grueso

	Módulo de Finura	3.03			
	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto				
Tamaño máximo nominal del agregado mm	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino.				
	2.4	2.6	2.8	3	
9.50	0.5	0.48	0.46		0.44
12.50	0.59	0.57	0.55		0.53
19.00	0.66	0.64	0.62		0.6
25.00	0.71	0.69	0.67		0.65
Contenido de Agregado grueso (%)	0.5970		m ³ /m ³		
P. U. Compactado del Agr. grueso	1534.11		kg/m ³		
Contenido de Agregado grueso (kg/m ³)	915.86		kg/m ³		

I) Determinación de la Suma de los Volúmenes Absolutos de Cemento, Agua de Diseño, Aire y Agregado Grueso

Insumo	Peso específico (kg/m ³)	Datos de diseño	Volumen (m ³)
Cemento	2850	372.73	0.131
Agua	1000	205.00	0.205
Aire	-	2.00	0.020
Agregado Grueso	2493.50	915.86	0.367
Total			0.723

J) Determinación del volumen absoluto del agregado fino

Volumen de Agregado Fino	0.2769	m ³ /m ³
--------------------------	--------	--------------------------------

K) Determinación del peso del agregado fino

P. Específico del A. Fino	2494.92	kg/m ³
Peso del Agregado Fino	690.89	kg/m ³

L) Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino

Material	Datos de diseño en estado seco	Unidad	Proporción
Cemento	372.73	kg/m ³	1.00
Agua	205.00	l/m ³	0.83
Aire	2.00	%	
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	2.67
Agregado Fino	690.89	kg/m ³	1.77

M) Corrección de los Valores de Diseño por Humedad y Absorción del Agregado

Corrección por humedad			
Material	Peso específico (kg/m ³)	% Humedad	Valores corregidos (kg/m ³)
Agregado Grueso	915.86	0.00	915.86
Agregado Fino	690.89	1.58	701.81

Corrección por absorción				
Material	Peso específico (kg/m ³)	% Humedad	% Absorción	Aporte de agua a la mezcla (l/m ³)
Agregado Grueso	915.86	0.00	1.74	-15.94
Agregado Fino	690.89	1.58	2.75	-8.08
Total				-24.02
Aporte de agua a la mezcla				229.02

N) Determinación de la Proporción en Peso del Diseño

Material	En peso	Unidad	P.U. suelto (kg/m ³)	En volumen
Cemento	372.73	kg/m ³		8.77 bls
Agregado Grueso	915.86	kg/m ³	1379.15	0.66 m ³
Agregado Fino	701.81	kg/m ³	1570.12	0.45 m ³
Agua	229.02	l/m ³		0.23 m ³

Material	En peso	Proporción
Cemento	372.73	1.00
Agregado Grueso	915.86	2.67
Agregado Fino	701.81	1.80
Agua	229.02	0.92

Nota. Fuente: Elaboración propia

Anexo B. Diseño de mezclas de Concreto $f'c=280$ kgf/cm² - ACI 211.1

DISEÑO DE CONCRETO ACI 211.1 F'C=280 KGF/CM2

A) Resistencia promedio necesaria

Según Norma E.060	$f'c$	280	kgf/cm ²
	$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8.5$	Mpa
	$f'cr$	366.68	kgf/cm ²

B) Tamaño Maximo Nominal

Según la granulometría	19 mm
------------------------	-------

C) Asentamiento

Rango elegido	75 a 100	mm
Slump recomendado por ACI 211.1	Slump máx	Slump min
Para vigas, columnas	100	25

D) Selección del Volumen unitario de agua

Agua en kg/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado			
Asentamiento (mm)	9.5	12.5	19
Concreto sin entrada de aire			
25 a 50	207	199	190
75 a 100	228	216	205
150 a 175	243	228	216
Para concreto sin entrada de aire		205	l/m ³

E) Selección del Contenido de Aire Atrapado

Tamaño Máximo Nominal (mm)	Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)
9.5	3
12.5	2.5
19	2
25	1.5
Contenido de Aire atrapado	2

F) Selección de la relación agua-cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días	Relación a/c	
Mpa	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45

	25	0.61	0.52
	20	0.69	0.6
	15	0.79	0.7
Resistencia requerida	36.67	Relación a/c calculada	0.46

G) Determinación del Factor Cemento

C	445.65	kgf/cm ³
---	--------	---------------------

H) Determinación del Contenido de Agregado Grueso

Módulo de Finura		3.03				
Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto						
Tamaño máximo nominal del agregado	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino.					
mm	2.4	2.6	2.8	3		
9.50	0.5	0.48	0.46		0.44	
12.50	0.59	0.57	0.55		0.53	
19.00	0.66	0.64	0.62		0.6	
25.00	0.71	0.69	0.67		0.65	
Contenido de Agregado grueso (%)	0.5970		m ³ /m ³			
P. U. Compactado del Agr. grueso	1534.11		kg/m ³			
Contenido de Agregado grueso (kg/m ³)	915.86		kg/m ³			

I) Determinación de la Suma de los Volúmenes Absolutos de Cemento, Agua de Diseño, Aire y Agregado Grueso

Insumo	Peso específico (kg/m ³)	Datos de diseño	Volumen (m ³)
Cemento	2850	445.65	0.156
Agua	1000	205.00	0.205
Aire	-	2.00	0.020
Agregado Grueso	2493.50	915.86	0.367
Total			0.749

J) Determinación del volumen absoluto del agregado fino

Volumen de Agregado Fino	0.2513	m ³ /m ³
--------------------------	--------	--------------------------------

K) Determinación del peso del agregado fino

P. Específico del A. Fino	2494.92	kg/m ³
Peso del Agregado Fino	627.05	kg/m ³

L) Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino

Material	Datos de diseño en estado seco	Unidad	Proporción
Cemento	445.65	kg/m ³	1.00

Agua	205.00	l/m3	0.69
Aire	2.00	%	
Agregado Grueso	915.86	kg/m3	2.24
Agregado Fino	627.05	kg/m3	1.34

M) Corrección de los Valores de Diseño por Humedad y Absorción del Agregado

Corrección por humedad			
Material	Peso específico (kg/m3)	% Humedad	Valores corregidos (kg/m3)
Agregado Grueso	915.86	0.00	915.86
Agregado Fino	627.05	1.58	636.96

Corrección por absorción				Aporte de agua a la mezcla (l/m3)
Material	Peso específico (kg/m3)	% Humedad	% Absorción	
Agregado Grueso	915.86	0.00	1.74	-15.94
Agregado Fino	627.05	1.58	2.75	-7.33
Total				-23.27
Aporte de agua a la mezcla				228.27

N) Determinación de la Proporción en Peso del Diseño

Material	En peso	Unidad	P.U. suelto (kg/m3)	En volumen
Cemento	445.65	kg/m3		10.49 bls
Agregado Grueso	915.86	kg/m3	1379.15	0.66 m3
Agregado Fino	636.96	kg/m3	1570.12	0.41 m3
Agua	228.27	l/m3		0.23 m3

Material	En peso	Proporción
Cemento	445.65	1.00
Agregado Grueso	915.86	2.24
Agregado Fino	636.96	1.37
Agua	228.27	0.77

Nota. Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Tabla de Costo hora hombre 2023-2024

CÁLCULO DE INCIDENCIAS DEL 01/06/2023 AL 31/05/2024					
Sem	Feriado	Cae en día	Dominical	Feridos	Día No Laborado
1	San Pedro	Jueves	1	1.0625	2.0625
2	Fiestas Patrias	Viernes y sábado	1	1.75	2.75
3	Santa Rosa de Lima	Miércoles	1	1.0625	2.0625
4	Combate de Angamos	Domingo	1	0	1

5	Día de Construcción Civil	Domingo	1	0	1
6	Día de Todos los Santos	Miércoles	1	0	1
7	Día de la Inmaculada Concepción y batalla de Ayacucho	Viernes y sábado	1	1.75	2.75
8	Navidad	Lunes	1	1.0625	2.0625
9	Año Nuevo	Lunes	1	1.0625	2.0625
10	Semana Santa	Jueves y viernes	1	2.125	3.125
11	Día del Trabajo	Martes	1	1.0625	2.0625
12-52	41 Semanas Normales		41	0	0
			52	10.9375	62.9375
Días Laborados en el Período =				365 - 62.9375=	302.0625
INCIDENCIA DEL DESCANSO DOMINICAL				17.21%	
INCIDENCIA DE LOS FERIADOS				3.62%	
INCIDENCIA DE LA GRATIFICACION				26.48%	
INCIDENCIA DE LA ESCOLARIDAD					
ESCOLARIDAD 1				9.93%	
ESCOLARIDAD 2				19.86%	
ESCOLARIDAD 3				29.80%	
INCIDENCIA DE VACACIONES				11.32%	
INCIDENCIA DEL OVEROL (02 Overoles por año)				S/.	0.50
COSTO DE OVEROL				S/.	76
COSTO ANUAL				S/.	152
INCIDENCIA DEL SEGURO DE VIDA				S/.	0.20
UIT				S/.	4950
VALOR DE OBRA (250 UIT)				S/.	1,237,500.00
PRESUPUESTO				S/.	2,000,000.00

CÁLCULO DEL VALOR DE LA HORA HOMBRE PARA EL PERIODO 2023 - 2024 - SPP

DESCRIPCIÓN	ABREV	PORCENT %	OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
Jornal Básico	JB		S/. 84.70	S/. 66.45	S/. 59.80
Bonificación Unificada de Construcción	BUC		32.00%	30.00%	30.00%
Bonificación por Alta Especialización	BAE		S/27.10	S/ 19.94	S/ 17.94
Leyes Sociales					
Liquidación	LIQ	12.00%	S/ 10.16	S/ 7.97	S/ 7.18
CTS	CTS	3.00%	S/ 2.54	S/ 1.99	S/ 1.79
Vacaciones	VAC	11.32%	S/ 9.59	S/ 7.52	S/ 6.77
Dominical	DOM	17.21%	S/ 14.58	S/ 11.44	S/ 10.29
Feridos	FER	3.62%	S/ 3.07	S/ 2.41	S/ 2.17
Gratificación	GRAT	26.48%	S/ 22.43	S/ 17.60	S/ 15.84

Escolaridad	ESC	29.80%	S/.	25.24	S/.	19.80	S/.	17.82	
Aportes del Empleador (Sobre Remuneración Afecta)									
ESSALUD	Essalud	9.00%	S/.	14.76	S/.	11.46	S/.	10.31	
SCTR	Sctr	3.00%	S/.	4.92	S/.	3.82	S/.	3.44	
Aporte a la AFP	A_AFP	1.00%	S/.	1.64	S/.	1.27	S/.	1.15	
Otros Pagos									
Bonificación por Movilidad Acumulada	MOV		S/.	8.00	S/.	8.00	S/.	8.00	
Overol (2 por año)	OVE	SI	S/.	0.50	S/.	0.50	S/.	0.50	
Seguro de Vida	SV		S/.	0.20	S/.	0.20	S/.	0.20	
			S/.	229.43	S/.	180.37	S/.	163.20	
VALOR HORA HOMBRE =			S/.	28.68	S/.	22.55	S/.	20.40	
Bonificación por Altura (primer tramo)	NO	7.00% JB	S/.	0.84	S/.	0.66	S/.	0.59	
Bonificación por Contacto con el Agua	NO	20.00% JB	S/.	2.39	S/.	1.88	S/.	1.69	
Bonificación por Altitud	NO	S/.	2.00	S/.	0.28	S/.	0.28	S/.	0.28
Bonificación por laborar bajo la cota cero	NO	S/.	1.90	S/.	0.27	S/.	0.27	S/.	0.27
Bonificación por Alta Temperatura	NO	S/.	3.50	S/.	0.49	S/.	0.49	S/.	0.49
Bonificación por Trabajo Nocturno	NO	25% JB	S/.	2.99	S/.	2.35	S/.	2.11	
TOTAL INCLUIDO BONIFICACIONES =			S/.	28.68	S/.	22.55	S/.	20.40	

Nota. Cálculo del costo Hora Hombre 2023-2024 para la ciudad del Cusco. Fuente: Elaboración propia

Anexo D. Data del proceso de curado en la interfaz de la cámara de curado con vapor de agua.



Nota. Se realizó 20 procesos de curado con vapor de agua, los cuales están registrados en la interfaz de la cámara con vapor de agua, disponibles para la descarga de datos en formato Excel, y disponibles para observar los gráficos de tiempo vs temperatura y tiempo vs humedad relativa. Fuente: Elaboración propia

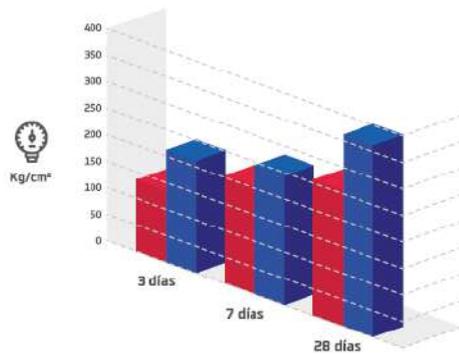
Anexo E. Tabla de las características técnicas del Cemento Yura IP

FICHA TÉCNICA 2024 / V.1



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS		Requisitos Norma Técnica Peruana 334.090:2020 y Norma Americana ASTM C595/C595M-20 CEMENTO TIPO IP		CEMENTO YURA MULTI-PROPÓSITO TIPO IP
REQUISITOS QUÍMICOS	UNIDAD			
Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6,0		1,5 a 3,0
Trióxido de azufre (SO ₃)	%	máximo 4,0		1,5 a 3,0
Pérdida de ignición	%	máximo 5,0		1,5 a 4,0
REQUISITOS FÍSICOS				
Densidad	g/cm ³	-		2,70 a 2,8
Contracción / Expansión en Autoclave	%	-0,20 a 0,80		-0,09 a 0,05
Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420		140 a 260
Contenido de aire	%	máximo 12		3 a 8
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
3 días	kgf/cm ²	mínimo 133		150 a 210
7 días	kgf/cm ²	mínimo 204		210 a 240
28 días	kgf/cm ²	mínimo 255		290 a 360
RESISTENCIA A LOS SULFATOS				
Expansión a 6 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0,05		< 0,05
Expansión a 12 meses para alta resistencia a sulfatos	%	máximo 0,10		< 0,07



COMPARACIÓN RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

CEMENTO YURA MULTI-PROPÓSITO TIPO IP VS REQUISITOS NORMAS TÉCNICAS NTP 334,090

- Cemento Tipo IP
Norma técnica
NTP 334.090 (ASTM C595)
- Cemento Multi-Propósito
Yura Tipo IP

OTRAS PROPIEDADES



Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, hace que el CEMENTO MULTIPROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a otros tipos de cemento,

Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana,



Nota. Especificaciones Técnicas del Cemento Yura IP. Fuente: *Cemento YURA*. (s.f.). Obtenido de <https://www.yura.com.pe/>

Anexo F. Certificado de Laboratorio y Certificado de Calibración de la Prensa de Concreto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
Av. de la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN**

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

HACE CONSTAR:

Que los tesisistas; conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. **FRANK SAMUEL ARZAPALO PANDURO** y Bach. **RODRIGO AARON MACHACA CONDE**, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: "ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE $F'C=210\text{KG}/\text{CM}^2$ Y $280\text{ KG}/\text{CM}^2$ ELABORADO CON CEMENTO PORTLAND IP, AGREGADO GRUESO DE LA CANTERA DE VICHO Y AGREGADO FINO DE LA CANTERA DE CUNYAC; CUANDO SE CURA A DIFERENTES TEMPERATURAS E INTERVALOS DE TIEMPO CON VAPOR DE AGUA, EN LA CIUDAD DE CUSCO 2023".

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.	NTP 339.185	06
02	Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global	NTP 400.012	02
03	Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz de $75\mu\text{m}$ (N°200) por lavado en agregados	NTP 400.018	06
04	Peso específico y absorción del agregado grueso	NTP 400.021	03
05	Peso específico y absorción del agregado fino	NTP 400.022	03
06	Determinación de la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados	NTP 400.017	12
07	Determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.	NTP 400.019	01
08	Medición de asentamiento del concreto de cemento portland	NTP 339.035	22
09	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.	NTP 339.034	116

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 29 de agosto de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



Luz Marlène Nieto Palomino
Ing. Luz Marlène Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LFP - 062 - 2023***Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza*

Página 1 de 3

1. Orden de trabajo	OT 0078-23	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
3. Dirección	Av. De la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco - CUSCO	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Capacidad	100000 kgf	
Marca	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	36-3088/06	
Número de Serie	9010000012	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	ELE INTERNATIONAL	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	1886-1-3514	
Resolución	10 kgf	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2023-03-22	

Fecha de Emisión

2023-03-28

Jefe del Laboratorio de Metrología

Firmado digitalmente por
Williams PérezFecha: 2023.03.29 11:18:39
-05'00'

Sello

**Metrología & Técnicas S.A.C.**

Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, SMP, LIMA

Telf: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.commetrologia@metrologiatecnicas.comwww.metrologiatecnicas.com

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LFP - 062 - 2023**

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1:2018 "Materiales metálicos. Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza". (ISO 7500-1:2018).

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.

Av. De la Cultura Nro. 733, Cusco - Cusco - CUSCO

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	19,2 °C	21,1 °C
Humedad Relativa	60 % HR	42 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2020-1 87747 / 2021-1 95857	CELDA DE CARGA calibrado a 1 000 kN con incertidumbre del orden de 0,24 %	LEDI-PUCP INF-LE 037-22B

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.
- Se realizó la calibración hasta el 90 % de su capacidad por motivos de seguridad.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LFP - 062 - 2023**

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo	Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia					
	%	F_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	$F_{promedio}$ (kgf)
10		10000,0	10092,7	10082,7	10102,7	10092,7
20		20000,0	20168,6	20128,4	20158,6	20151,9
30		30000,0	30116,8	30126,9	30156,9	30133,5
40		40000,0	40110,0	40140,3	40160,5	40136,9
50		50000,0	50172,6	50232,7	50242,7	50216,0
60		60000,0	60176,7	60226,9	60297,1	60233,5
70		70000,0	70239,7	70109,3	70219,7	70189,6
80		80000,0	80142,6	80122,6	80252,5	80172,6
90		90000,0	90058,2	90138,0	90217,8	90138,0
Retorno a Cero			0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
10000,0	-0,9	0,2	---	0,10	0,4
20000,0	-0,8	0,2	---	0,05	0,4
30000,0	-0,4	0,1	---	0,03	0,4
40000,0	-0,3	0,1	---	0,03	0,4
50000,0	-0,4	0,1	---	0,02	0,4
60000,0	-0,4	0,2	---	0,02	0,4
70000,0	-0,3	0,2	---	0,01	0,4
80000,0	-0,2	0,2	---	0,01	0,4
90000,0	-0,2	0,2	---	0,01	0,4

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0,00 %
---	--------

12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, SMP, LIMA

Telf: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

ventas@metrologiatecnicas.com

metrologia@metrologiatecnicas.com

www.metrologiatecnicas.com

Anexo G. Panel Fotográfico

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado a Vapor a 70°C – 14H



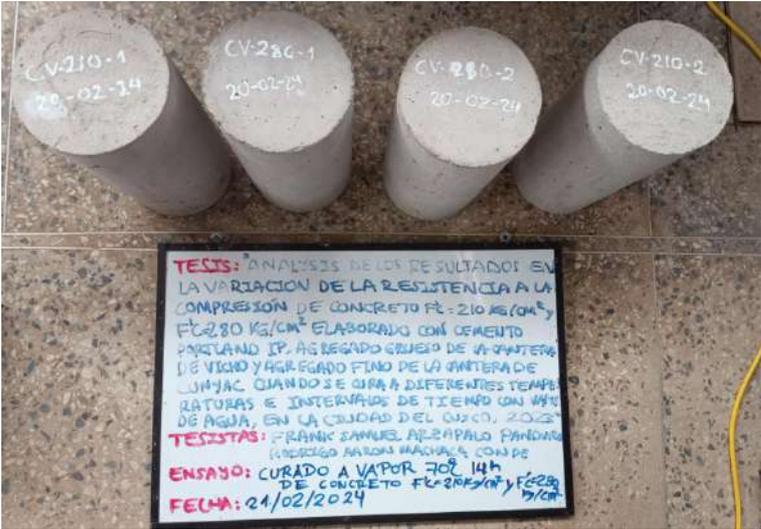
Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Inicio del Curado a Vapor a 70°C – 14H de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Extracción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor-
Curado a Vapor a $70^\circ\text{C} - 14\text{H}$



Nota. Fuente: Elaboración propia

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor –
Curado a Vapor a $70^\circ\text{C} - 18\text{H}$



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Extracción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor-
Curado a Vapor a $70 \text{ }^\circ\text{C} - 18\text{H}$



Nota. Fuente: Elaboración propia

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor –
Curado a Vapor a $70 \text{ }^\circ\text{C} - 6\text{H}$



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Inicio del Curado a Vapor a 50 °C – 12H de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado a Vapor a 50 °C – 8H



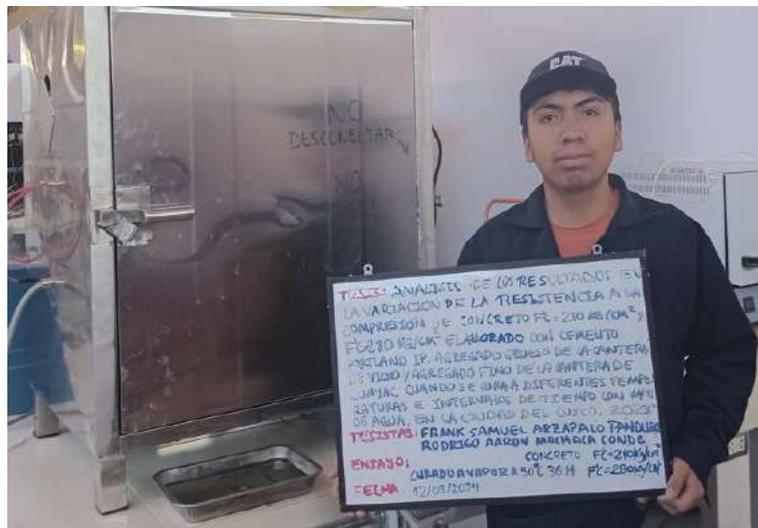
Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=280$ kgf/cm² en la cámara de vapor – Curado a Vapor a 70 °C – 12H



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Inicio del Curado a Vapor a 50 °C – 36H de briquetas de concreto de $f'c=280$ kgf/cm² en la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado Optimo a Vapor a $70^\circ\text{C} - 16\text{H}$



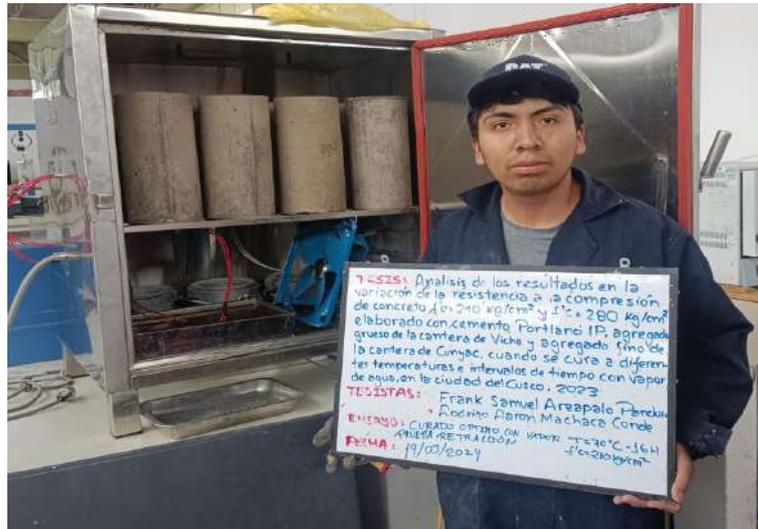
Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesistas: Rodrigo Aaron Machaca Conde y Frank Samuel Arzapalo Panduro

Inicio del Curado Optimo a Vapor a $50^\circ\text{C} - 48\text{H}$ de briquetas de concreto de $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor



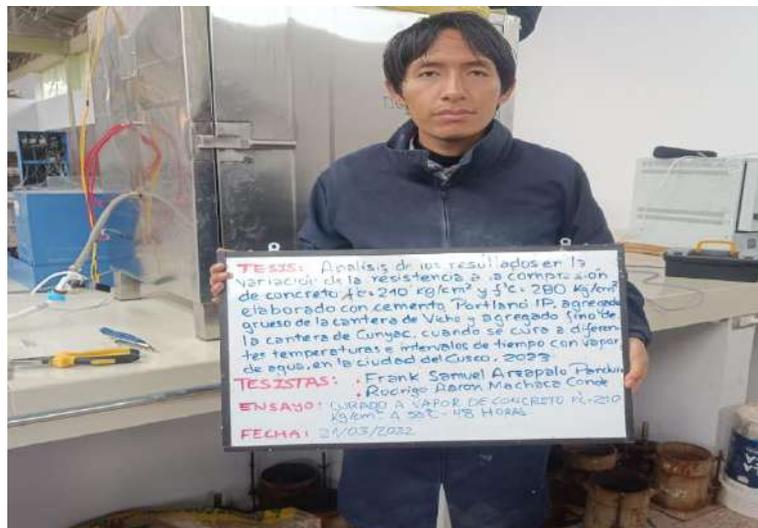
Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado Optimo a Vapor a $70 \text{ }^\circ\text{C} - 16\text{H}$



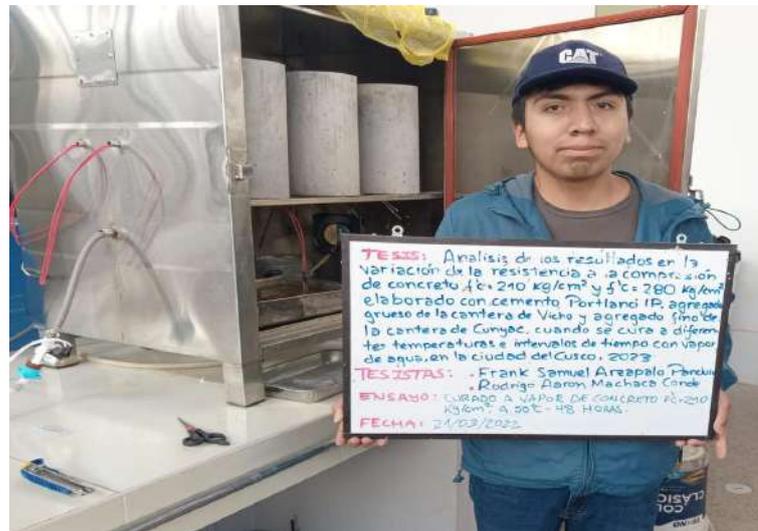
Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor – Curado Optimo a Vapor a $50 \text{ }^\circ\text{C} - 48\text{H}$



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Inicio del Curado Optimo a Vapor a 50 °C – 48H de briquetas de concreto de $f' c=210 \text{ kgf/cm}^2$ en la cámara de vapor



Nota. Fuente: Elaboración propia. Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Inicio del Curado tradicional por inmersión en agua a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ de briquetas de concreto de $f' c=210 \text{ kgf/cm}^2$ y $f' c=280 \text{ kgf/cm}^2$ para diseño de mezclas.



Nota. Fuente: Elaboración propia. Tesistas: Frank Samuel Arzapalo Panduro y Rodrigo Aaron Machaca Conde

*Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ en el estanque metálico de curado –
Curado tradicional por inmersión en agua a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$*



Nota. Fuente: Elaboración propia

*Introducción de briquetas de concreto de $f'c=210 \text{ kgf/cm}^2$ en el estanque metálico de curado –
Curado tradicional por inmersión en agua a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$*



Nota. Fuente: Elaboración propia

Lavado de agregado grueso de la cantera de Vicho



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Tamizado del agregado grueso fino para corrección de la granulometría



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesistas: Frank Samuel Arzapalo Panduro y Rodrigo Aaron Machaca Conde

Almacenado del agregado fino y grueso tamizado, lavado y secado en tachos de plástico para evitar la contaminación y humedad.



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Tamizado del agregado grueso de acuerdo con las mallas del huso granulométrico Nro. 6



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesistas: Frank S. Arzapalo Panduro y Rodrigo A. Machaca Conde

Secado del agregado grueso lavado al aire libre



Nota. Fuente: Elaboración propia/Tesistas: Frank S. Arzapalo Panduro y Rodrigo A. Machaca Conde

Procedimiento de Cuarteo de agregado grueso para ensayo de granulometría.



Nota. Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de lavado del agregado grueso con la malla N°200



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Secado del agregado grueso con aire caliente y medición de la temperatura del agua para ensayo peso específico



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Determinación del peso de la muestra de agregado grueso suelto y del molde metálico



Nota. Fuente: Elaboración propia

Introducción y apisonado en tres capas del agregado grueso en el molde metálico para ensayo de peso Unitario Compactado



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Introducción del agregado grueso y 11 esferas dentro de la maquina Los Angeles



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesistas: Frank Samuel Arzapalo Panduro y Rodrigo Aaron Machaca Conde

Cuarteo de muestra de agregado fino, mezclado de la muestra para asegurar una distribución uniforme



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Pesado de las tres muestras de agregado fino



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Procedimiento de lavado del agregado fino con la malla N°200



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Procedimiento de ensayo de Peso Especifico



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Enrase del agregado fino dentro del molde – Peso unitario Suelto



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Frank Samuel Arzapalo Panduro

Introducción del agregado fino para el cálculo del peso unitario suelto



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde

Medición de las muestras secas en el horno, luego de realizado el ensayo



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesistas: Frank Samuel Arzapalo Panduro y Rodrigo Aaron Machaca Conde

Determinación de las dimensiones de las briquetas



Nota. Fuente: Elaboración propia - Tesista: Rodrigo Aaron Machaca Conde