



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**NIVEL DE RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LAS
RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 210
KG/CM² DE PROBETAS CILÍNDRICAS Y ESTIMADAS
MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ EN LA EJECUCIÓN DE
LA OBRA “CREACIÓN DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA
SEDE AYABACAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
JULIACA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A Dios por haberme brindado salud y fortaleza para llevar a cabo la realización de la presente. Así mismo, por haberme guiado y permitido seguir en este largo camino que hoy se ve reflejado en una meta más cumplida.

A mi madre, quien en vida logró formarme con buenos sentimientos y valores, haciendo de mí un hombre de bien, lo cual ante su pronta partida me ha ayudado a salir adelante y enfrentar cualquier adversidad.

De igual forma, dedico la presente tesis a mi tía Olguita, a quien quiero como a una madre por siempre cuidar de mí, más aún desde la partida de mi madre, para ella en vida mi eterno agradecimiento.

A mi hermano Cristian, quien siempre ha estado para mí de sobremanera, brindándome su apoyo, inclusive cumpliendo muchas veces el rol de padre.

Asimismo, a mi hermano Edgar, por siempre apoyarme de manera incondicional, este logro también es posible gracias a él.

También, quiero dedicar la presente a mi padre, quien gracias a sus esfuerzos y apoyo ha hecho posible la realización de esta tesis, ayudándome a cumplir uno de mis objetivos personales más importantes.

A mis hijos, Valentino y Alessandro, quienes son mi mayor motivación para seguir adelante y lograr mis objetivos día a día.

A mi Rocio, por llegar a mi vida y empezar a construir un camino juntos, por el cariño, amor y comprensión en todo momento y sobre todo por brindarme su apoyo incondicional. Este trabajo no habría sido posible sin su colaboración.

Ronald William Calisaya Flores



AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano, la cual me brindó la oportunidad de formarme como profesional y concretizar mi sueño de superación.

A la escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme brindado una buena calidad educativa que a lo largo de mi vida aportará al desarrollo de mi profesión.

A mi asesor y miembros del jurado, por sus sabios consejos y conocimientos que ayudaron a enriquecer la presente tesis. De igual manera, por su paciencia y humildad brindada en todo momento.

Un agradecimiento de sobremanera a la Ingeniera Nancy Zevallos Quispe, por haberme guiado con sus conocimientos para el desarrollo y culminación de la presente tesis.

A mis compañeros y amistades que formé en toda la etapa universitaria, por su apoyo, por las tristezas y alegrías vividas, momentos que quedarán por siempre en mi corazón.

Asimismo, agradecer infinitamente a toda mi familia, sobre todo a Rocio del Pilar y Shano Efraín, por creer y confiar en mí, por haberme brindado soporte en esta etapa tan importante de mi vida, por sus consejos y comprensión incondicional.

Ronald William Calisaya Flores



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ECUACIONES	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. Problema General.....	17
1.2.2. Problemas Específicos	17
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. Objetivo General.....	18
1.4.2. Objetivos Específicos.....	18
1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5.1. Hipótesis General.....	19
1.5.2. Hipótesis Específicas	19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	20
2.2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.2.1. Concreto.....	23



2.2.2. Resistencia a compresión del concreto	26
2.2.3. Temperatura en el concreto.....	28
2.2.4. Madurez del concreto.....	30
2.2.5. Aplicación del Método de Madurez.....	36
2.2.6. Tratamiento estadístico	42
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	52

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES	57
3.1.1. Agregados	57
3.1.2. Cemento	57
3.1.3. Agua.....	57
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.2.1. Nivel de Investigación	58
3.2.2. Diseño de Investigación.....	58
3.2.3. Población y Muestra	59
3.2.4. Variables	62
3.2.5. Técnicas	63
3.2.6. Instrumentos.....	63
3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	64
3.3.1. Descripción del proyecto	64
3.3.2. Descripción de ensayos.....	65
3.3.3. Resistencia a la compresión de probetas de concreto	71
3.3.4. Estimación de la resistencia del concreto por el Método de Madurez.....	71
3.3.5. Corroboración de datos	78

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	81
4.1.1. Caracterización de los agregados.....	81



4.1.2. Diseño de Mezclas para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	87
4.1.3. Resistencia a la compresión de probetas de concreto	89
4.1.4. Registros de temperaturas	94
4.1.5. Madurez de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra	104
4.1.6. Relación Madurez – Resistencia patrón.....	114
4.1.7. Resistencias estimadas mediante el Método de Madurez	118
4.1.8. Corroboración de datos	125
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	138
4.2.1. Temperaturas de probetas cilíndricas de concreto y el concreto en obra ..	138
4.2.2. Madurez de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra	142
4.2.3. Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de concreto y las estimadas en obra mediante la madurez	151
4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	159
V. CONCLUSIONES	166
VI. RECOMENDACIONES	168
VII.REFERENCIAS.....	170
7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170
7.2. REFERENCIAS NORMATIVAS	175
ANEXOS.....	178

TEMA: Método de Madurez del Concreto.

ÁREA: Tecnología del Concreto.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Construcciones y Gerencia.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 01 septiembre del 2022.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Efecto del tiempo de curado húmedo en el desarrollo de la resistencia del concreto.....	27
Figura 2: Efecto de la temperatura de curado sobre el desarrollo de la resistencia del concreto.....	30
Figura 3: Historial de temperatura del concreto en función al tiempo	31
Figura 4: Correlación perfectamente positiva y perfectamente negativa	48
Figura 5: Correlación positiva y negativa.....	48
Figura 6: Ubicación de los sensores de temperatura en obra.....	73
Figura 7: Curva Granulométrica del agregado fino	82
Figura 8: Curva Granulométrica del agregado grueso.....	84
Figura 9: Verificación - curva de las resistencias a la compresión de probetas	92
Figura 10: Curva de las resistencias a la compresión de probetas resultante	94
Figura 11: Historial de temperatura de M-1	95
Figura 12: Historial de temperatura de M-2	95
Figura 13: Historial de temperatura de M-3	96
Figura 14: Historial de temperatura de M-4	96
Figura 15: Historial de temperatura de M-5	97
Figura 16: Historial de temperatura de R-1	98
Figura 17: Historial de temperatura de R-2	99
Figura 18: Historial de temperatura de R-3	99
Figura 19: Historial de temperatura de R-4	100
Figura 20: Historial de temperatura de R-5	100
Figura 21: Comparación de los promedios de temperaturas.....	103



Figura 22: Relación Resistencia – Madurez patrón según el modelo de Nurse-Saúl... 116	116
Figura 23: Relación Resistencia – Madurez patrón según el modelo de Arrhenius. 118	118
Figura 24: Verificación de las resistencias estimadas en obra..... 124	124
Figura 25: Historial de temperatura de C-3 126	126
Figura 26: Historial de temperatura de C-5 126	126
Figura 27: Historial de temperatura de C-2 127	127
Figura 28: Verificación de las resistencias estimadas en probetas cilíndricas 137	137
Figura 29: Correlación de los datos de temperatura 162	162



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadísticos de prueba	44
Tabla 2: Interpretación del Coeficiente de Correlación de Pearson	47
Tabla 3: Dispersión en el control del concreto	60
Tabla 4: Módulo digital - probetas cilíndricas de concreto	72
Tabla 5: Módulo digital - concreto en obra	73
Tabla 6: Módulo digital - probetas cilíndricas de concreto (corroboración)	79
Tabla 7: Contenido de humedad evaporable del agregado fino.....	81
Tabla 8: Contenido de humedad evaporable del agregado grueso	81
Tabla 9: Granulometría del agregado fino	82
Tabla 10: Granulometría del agregado grueso.....	84
Tabla 11: Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	85
Tabla 12: Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	85
Tabla 13: Densidad aparente suelta del agregado fino	86
Tabla 14: Densidad aparente varillado del agregado fino	86
Tabla 15: Densidad aparente suelta del agregado grueso	86
Tabla 16: Densidad aparente varillado del agregado grueso	87
Tabla 17: Resumen de ensayos de caracterización de los agregados	87
Tabla 18: Condiciones de diseño	88
Tabla 19: Dosificación en peso.....	88
Tabla 20: Dosificación en volumen	88
Tabla 21: Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.....	89
Tabla 22: Verificación de los resultados de los ensayos de resistencias a la compresión	90



Tabla 23: Promedios de las resistencias a la compresión resultantes	93
Tabla 24: Estadística descriptiva de las temperaturas en probetas cilíndricas de concreto	97
Tabla 25: Estadística descriptiva de las temperaturas en obra.....	101
Tabla 26: Estadística descriptiva de las temperaturas promedio del concreto en probetas cilíndricas y en obra	102
Tabla 27: Cálculo de la madurez en probetas cilíndricas según el modelo de Nurse–Saúl.	104
Tabla 28: Resultados de madurez en probetas cilíndricas según el modelo de Nurse–Saúl	105
Tabla 29: Cálculo de la madurez en probetas cilíndricas según el Modelo de Arrhenius	107
Tabla 30: Resultados de madurez en probetas cilíndricas según el Modelo de Arrhenius	108
Tabla 31: Cálculo de la madurez en obra según el modelo de Nurse-Saúl	109
Tabla 32: Resultados de la madurez en obra según el Modelo de Nurse-Saúl.....	110
Tabla 33: Cálculo de la madurez en obra según el modelo de Arrhenius	112
Tabla 34: Resultados de la madurez en obra según el modelo de Arrhenius	113
Tabla 35: Cálculo de la madurez promedio para el modelo de Nurse-Saúl	114
Tabla 36: Puntos obtenidos para la relación Resistencia – Madurez (F.T.T.).....	115
Tabla 37: Cálculo de la madurez promedio para el modelo de Arrhenius	117
Tabla 38: Puntos obtenidos para la relación Resistencia – Madurez (E. Eq.)	117
Tabla 39: Resistencias a la compresión del concreto en obra según el modelo de Nurse-Saúl.....	119
Tabla 40: Resistencias a la compresión del concreto en obra según el modelo de Arrhenius	120
Tabla 41: Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de corroboración	122
Tabla 42: Resistencia a la compresión potencial de obra	123



Tabla 43: Verificación de las resistencias estimadas según la madurez.....	123
Tabla 44: Estadística descriptiva de las temperaturas de probetas cilíndricas de corroboración	127
Tabla 45: Cálculo de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración según el modelo de Nurse–Saúl	128
Tabla 46: Resultados de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Nurse–Saúl	130
Tabla 47: Cálculo de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración según el modelo de Arrhenius	131
Tabla 48: Resultados de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Arrhenius	132
Tabla 49: Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Nurse-Saúl	133
Tabla 50: Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Arrhenius	134
Tabla 51: Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de corroboración	135
Tabla 52: Verificación de las resistencias a la compresión estimadas en probetas cilíndricas de corroboración	135
Tabla 53: Coeficiente de Correlación de Spearman para el análisis de temperaturas ..	139
Tabla 54: Coeficiente de Correlación de Spearman para el Factor Temperatura Tiempo	144
Tabla 55: Coeficiente de Correlación de Spearman para la Edad Equivalente	148
Tabla 56: Coeficiente de Correlación de Pearson para las resistencias según el Factor Tiempo Temperatura	153
Tabla 57: Coeficiente de Correlación de Pearson para las resistencias según la Edad Equivalente	157
Tabla 58: Desviaciones estándar de los errores en las estimaciones de resistencia	161
Tabla 59: Tiempos de desencofrado para los elementos estructurales en obra	165



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Factor Temperatura Tiempo	32
Ecuación 2: Edad Equivalente	33
Ecuación 3: Energía de Activación.....	34
Ecuación 4: Relación Exponencial	35
Ecuación 5: Relación Logarítmica.....	35
Ecuación 6: Relación Hiperbólica	36
Ecuación 7: Coeficiente de Correlación de Pearson - Covarianzas.....	46
Ecuación 8: Coeficiente de Correlación de Pearson - Sumatorias.....	46
Ecuación 9: Estadístico de Prueba para el Coeficiente de Correlación de Pearson.....	49
Ecuación 10: Coeficiente de Correlación de Spearman.....	50
Ecuación 11: Estadístico de Prueba para el Coeficiente de Correlación de Spearman .	51
Ecuación 12: Número de Ensayos por Edad.....	59
Ecuación 13: Relación Logarítmica Resistencia a la Compresión – Factor Temperatura Tiempo	116
Ecuación 14: Relación Logarítmica Resistencia a la Compresión – Edad Equivalente	118



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

°C: Grados Centígrados

A/C: Relación Agua-Cemento

ACI: American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales)

E. Eq.: Edad Equivalente

E: Energía De Activación

F.T.T.: Factor Tiempo Temperatura

F'c: Resistencia a la Compresión Específica

F'cr: Resistencia a la Compresión Promedio Requerida

H0: Hipótesis Nula

H1: Hipótesis Alternativa

M: Índice de Madurez

NTP: Norma Técnica Peruana

PSI: Libra de Fuerza por Pulgada Cuadrada

R: Constante de Gas Universal

T_a: Temperatura Promedio del Concreto

T_s: Temperatura Específica

T₀: Temperatura de Referencia

TMN: Tamaño Máximo Nominal



RESUMEN

Para llevar a cabo los procesos constructivos de un proyecto es importante conocer el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto, de manera que, para determinar dicha propiedad se elaboran probetas cilíndricas, las cuales se curan en obra y se ensayan a edades requeridas; sin embargo, existen diferencias entre las probetas cilíndricas y la estructura en cuanto a su geometría, grado de exposición a la intemperie, temperatura de curado, entre otros; lo cual no permite llevar un control adecuado del concreto, generando patologías que podría hasta colapsar la estructura. En consecuencia, la presente tesis tiene como objetivo determinar el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021. Asimismo, la presente se caracteriza por tener un enfoque cuantitativo, nivel relacional, diseño experimental; donde, la población de estudio está conformada por probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm² y la muestra por 50 probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Se obtuvieron datos mediante la utilización de la técnica de observación, empleando como instrumentos de recolección de datos las fichas de observación en laboratorio, ficha de gabinete, termómetros y un ordenador portátil. En consecuencia, los resultados obtenidos con la presente investigación demostraron que para la función Factor Temperatura Tiempo se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Pearson de $r_{xy} = 0.963$ y para la función de Edad Equivalente se obtuvo un Coeficiente de Correlación Pearson de $r_{xy} = 0.976$, significando para ambas funciones un grado de asociación muy alto.

Palabras claves: Concreto, curado, madurez, resistencia y temperatura.



ABSTRACT

To carry out the construction processes of a project it is important to know the development of the compressive strength of concrete, so that, to determine this property, cylindrical specimens are made, which are cured on site and tested at required ages; however, there are differences between the cylindrical specimens and the structure in terms of their geometry, degree of exposure to weathering, curing temperature, among others; which does not allow an adequate control of the concrete, generating pathologies that could even collapse the structure. Consequently, the objective of this thesis is to determine the level of relationship of the development of the concrete compressive strengths of 210 kg/cm² of cylindrical specimens and estimated through the application of the maturity method in the execution of the work "Creation of the Perimeter Fence of the Ayabacas Headquarters of the National University of Juliaca", during the months of May and June of the year 2021. Translated with www.DeepL.com/Translator (free version). Likewise, the present study is characterized by having a quantitative approach, relational level, experimental design; where, the study population consists of 210 kg/cm² concrete cylindrical specimens and the sample consists of 50 cylindrical specimens of 150 mm in diameter and 300 mm in height. Data were obtained by means of the observation technique, using as data collection instruments the laboratory observation cards, cabinet card, thermometers and a laptop computer. Consequently, the results obtained with the present investigation showed that for the Time Temperature Factor function a Pearson Correlation Coefficient of $r_{xy} = 0.963$ was obtained and for the Equivalent Age function a Pearson Correlation Coefficient of $r_{xy} = 0.976$ was obtained, meaning for both functions a very high degree of association.

Keywords: Concrete, curing, maturity, strength and temperature



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El control del desarrollo de la resistencia a compresión del concreto se estima tomando en cuenta la norma **ASTM C31/C31M-19**: Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de concreto en obra. Asimismo, las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo a la norma **ASTM C39/C39M-20**: Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto. En consecuencia, los resultados se utilizan para fines de control de calidad, aprobación del concreto, estimación de la resistencia del concreto y así poder programar las actividades de construcción. **(Corro y Ramos, 2015)**. Sin embargo, las diferencias de la relación área-volumen entre los cilindros y la estructura en conjunto con las temperaturas de curado, grado de exposición a la intemperie, diferencias de masa, entre otros; dificultan la relación entre las resistencias de los cilindros curados en obra y de la estructura. **(Kosmatka et al., 2004)**.

Teniendo en cuenta tales consideraciones, el departamento de Puno al estar ubicado en una zona altiplánica de la sierra peruana, en los meses de mayo y junio la temperatura varía bruscamente en periodos cortos de tiempo afectando al concreto, ya que no es posible llevar un control de calidad adecuado en cuanto a su evolución y desarrollo de la resistencia, sobre todo a edades tempranas, generando de esta manera patologías en la estructura.



Es por ello que, la presente tesis determinará el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del 2021.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021?
- ¿Cuál es la relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021?
- ¿Cómo es la relación Resistencia-Madurez patrón de las probetas cilíndricas del concreto de 210 kg/cm² para la aplicación del método de madurez, durante los meses de mayo y junio del año 2021?



1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El concreto es uno de los elementos importantes para la ejecución de una obra, por lo que se debe tener en cuenta los requerimientos estructurales de este. Asimismo, conocer el comportamiento del concreto a edades tempranas y a largo plazo, es de vital importancia para los procesos constructivos. Del mismo modo, es importante llevar un control adecuado del concreto, lo cual permite determinar el momento oportuno para retirar los encofrados, habilitar vías, realizar los cortes en un pavimento, postensar tendones, entre otras aplicaciones y de esta manera optimizar tiempos y costos.

Es por ello que resulta útil la aplicación del método de madurez como método no destructivo, el cual permite evaluar el desarrollo de la resistencia en obra, mediante el uso de dispositivos digitales, los cuales registran el historial térmico del concreto y el tiempo de curado. De manera que, desempeña un papel importante en la tecnología avanzada del concreto.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- Determinar el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.



- Determinar la relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.
- Determinar y comprobar la relación Resistencia-Madurez patrón de las probetas cilíndricas del concreto de 210 kg/cm² para la aplicación del método de madurez, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis General

- El nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- La relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es nula.
- La relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm², de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.
- La relación entre Resistencia-Madurez patrón de las probetas cilíndricas del concreto de 210 kg/cm² para la aplicación del método de madurez, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Gamba et al. (2019) en su investigación titulada “Aplicación del método de madurez para estimar la resistencia a la compresión del hormigón en masa” refiere que la correlación entre el índice de madurez y la resistencia a la compresión del concreto es válida para mezclas con resistencias de 2000, 2500, 3000 y 3500 PSI, que son las más utilizadas en el campo de la ingeniería civil. Asimismo, indicó que se utilizaron sondas de temperatura DS18B20 conectadas por el 1-Wire y el protocolo de la tarjeta Raspberry Pi 3 para censar los datos y calcular el índice de madurez. Las mezclas de concreto presentaron relaciones A/C de 0.820, 0.748, 0.680 y 0.623, las cuales son consistentes con los utilizados en la industria de la construcción. Las pruebas de resistencia a la compresión fueron realizadas cada 24 horas durante un escenario de prueba de 28 días con el fin de comprender el comportamiento del hormigón durante todo el proceso de curado. De los valores de resistencia mecánica a la compresión obtenido en las edades de control de 7 y 14 días se infiere que el hormigón tiene un endurecimiento normal, así mismo al comparar los resultados experimentales de la resistencia a la compresión, con los encontrados usando el método de madurez, fue posible identificar que en edades tempranas (menos de 10 días) presentan incertidumbres superiores al 10% mientras que en edades superiores a 10 días de curado este error no supera el 5%. En general, se evidenció que el montaje realizado con la tarjeta Raspberry pi 3 y las sondas DS18B20 permitieron de manera confiable el monitoreo, la grabación y almacenamiento de datos de temperatura y tiempo durante todo el proceso de curado.



Raje, et al. (2019) en su artículo titulado “Fundamentos de los métodos de madurez para estimar la resistencia del concreto”, refiere que el método de madurez se calcula utilizando diferentes modelos de madurez basados en el registro de tiempo y temperatura; y, principalmente, se conocen como la función Nurse-Saul y Arrhenius. Aunado a ello, indica que la función de Nurse-Saul se ha utilizado ampliamente para predecir la ganancia de resistencia a la compresión del concreto curado en el rango de temperatura de 10 °C a 32 °C y la función de Arrhenius ha resultado ser capaz de tener en cuenta la influencia de la temperatura dentro de un rango de -10°C a 80 °C.

Flores y González (2010) en su tesis titulada “Determinar la curva de extrapolación de resistencia cilíndrica de concreto con respecto a las variaciones de la temperatura aplicando el método de madurez” concluyen que el método de madurez es una alternativa de ensayo no destructivo que combina los efectos de temperatura y tiempo en el curado del concreto. Se han realizado numerosas investigaciones para explicar el efecto que se genera en la temperatura del concreto. Este efecto es determinado por la hidratación de las partículas de los granos del cemento, estableciendo así, cómo son los cambios de temperatura o desprendimiento de calor correspondiente a cada una de las reacciones que componen la estructura del cemento Portland tipo I. Esto permite explicar, cómo se desarrolla la ganancia de resistencia del concreto a una determinada edad, lo que permite establecer como un estimador y evaluador de las propiedades mecánicas del mismo. Una vez precisado este concepto se puede construir una curva característica de resistencia respecto a un índice de madurez o una edad equivalente de una mezcla específica de concreto.



Aspilcueta (2015) en su tesis titulada: “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez” concluye que, al realizar la implementación del método de madurez en un laboratorio, se encontró una fuerte correlación entre las variables madurez y resistencia a la compresión, estadísticamente esto se apreció con una desviación estándar igual a 5.4% y un coeficiente de correlación de 0.977. Mientras que para otros métodos como el número de rebote descrito en la ASTM C 805 - NTP 339.181, "Método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido (esclerometría)", y la velocidad de pulso descrito en la ASTM C 597 - NTP 339.237, "Método de ensayo para determinar la velocidad de pulso a través del concreto", no se encontraron los mismos resultados. Asimismo, determinaron que en la implementación del método de madurez, se encontraron resultados muy similares a los obtenidos en proyectos internacionales, la principal ventaja que se obtuvo fue la optimización del tiempo en algunas actividades constructivas.

Corro y Ramos (2015) en su tesis titulada “Correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión”, determinan las correlaciones entre el índice de madurez de mezclas de concreto y su resistencia a la compresión, fabricadas con cemento portland tipo Ms e Ico. Indican que se trabajó con un total de 84 probetas de relaciones agua cemento 0.54, 0.61 y 0.69, fabricadas y curadas en concordancia a la norma ASTM C192. Con la ayuda de un equipo electrónico casero calibrado bajo la norma ASTM C1074. Se tomó lectura de la temperatura del concreto a las edades de 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días. Determinando, a las mismas edades, la resistencia a la compresión aplicando la norma ASTM C39. El índice de madurez se procesó en concordancia con la norma ASTM C1074, mediante la función de Nurse-Saúl. Las ecuaciones y grados de correlación resultante para el concreto con cemento Portland tipo MS son:



- Relación a/c de 0.54: $f'c = 49.885 \ln (IM) - 229.84$ y $R2 = 0.9479$ Kg/Cm²
- Relación a/c de 0.61: $f'c = 41.537 \ln (IM) - 188.57$ y $R2 = 0.9476$ Kg/Cm²
- Relación a/c de 0.69: $f'c = 32.558 \ln (IM) - 145.42$ y $R2 = 0.9514$ Kg/Cm²

Y para el concreto con cemento Portland tipo Ico son:

- Relación a/c de 0.54: $f'c = 51.149 \ln (IM) - 234.60$ y $R2 = 0.9434$ Kg/Cm²
- Relación a/c de 0.61: $f'c = 43.745 \ln (IM) - 198.73$ y $R2 = 0.9456$ Kg/Cm²
- Relación a/c de 0.69: $f'c = 34.628 \ln (IM) - 155.92$ y $R2 = 0.9438$ Kg/Cm²

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Concreto

El concreto al ser un material durable y resistente que requiere poca o ninguna conservación que, junto a su capacidad de ser moldeado en una gran variedad de formas en su estado fresco, resulta un excelente material de construcción empleándose en numerosas aplicaciones. (Mena, 1994).

En términos generales, el concreto es una mezcla de material aglutinante (cemento Portland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.2.1.1. Agua

Es un componente esencial en el concreto ya que permite desarrollar su capacidad ligante del cemento. El agua de mezclado ocupa normalmente entre 15% y 20% del volumen de concreto fresco y cumple con tres funciones principales: reaccionar con el



cemento para hidratarlo, actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad y procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación continúen desarrollándose en dichos espacios. **(Pasquel, 1998, pág. 59).**

2.2.1.2. Agregados

Se entiende comúnmente por agregados a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado que se determina a través del análisis de los tamices. El agregado se divide en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o piedra triturada, el cual pasa el tamiz de 3/8" (9.4mm), mientras que los agregados gruesos consisten en la combinación de gravas o piedras trituradas cuyas partículas son retenidas por el tamiz N° 4; además de que ambos grupos deben cumplir con los límites establecidos en las normas ASTM C 33 / NTP 400.037: "Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)". **(Aspilcueta, 2015).**

2.2.1.3. Cemento

El cemento es uno de los componentes más importantes del concreto que, a pesar de intervenir en menor cantidad, es el que define las tendencias del comportamiento produciendo las reacciones químicas al entrar en contacto con el agua. El cemento portland es el producto del Clinker finamente molido sometiéndolas a altas temperaturas, entre ellas están la cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones ya definidas, cuando esta se combina con el agua tiene la propiedad de transformarse en una masa dura. **(Abanto, 2009).** En el presente trabajo, al emplear el término cemento se hace referencia al cemento Portland.



Tipos de cemento: Existen diversos tipos de cementos Portland, los cuales cumplen con diversos requisitos físicos y químicos los que se encuentran especificados en la norma ASTM C150 / NTP 334.009, clasificando los cementos en:

- **Tipo I**, para uso general, brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado, por lo que es recomendable su uso en climas fríos.
- **Tipo II**, ofrece una moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.
- **Tipo III**, ofrece resistencia a edad temprana con elevado calor de hidratación. Es química y físicamente similar al cemento tipo I, pero más finamente molido.
- **Tipo IV**, desarrolla la resistencia a una tasa lenta debido a una mínima cantidad de calor generado por la hidratación.
- **Tipo V**, de alta resistencia al ataque de sulfatos, su desarrollo de resistencia es más lento que en el cemento tipo I.

Además, se presentan los cementos adicionados cuyas características se encuentran especificadas en la norma ASTM C595 / NTP 334.090.

- **Tipo IS:** Cemento Portland de alto horno, al que se le ha adicionado entre 25% y 70% en escoria de alto horno.
- **Tipo ISM:** Cemento Portland modificado con escoria, al que se ha adicionado menos del 25% en escoria de alto horno.
- **Tipo IP:** Cemento Portland puzolánico al que se le ha adicionado entre 15% y 40% en puzolana. Los ensayos de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del cemento tipo I.



- **Tipo IPM:** Cemento Portland modificado con puzolana al que se le ha adicionado menos del 15% en puzolana.

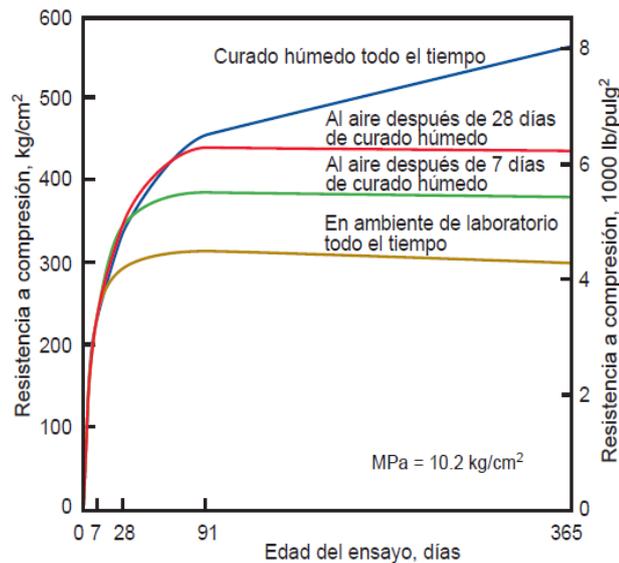
2.2.2. Resistencia a compresión del concreto

La resistencia a compresión del concreto, es la propiedad que frecuentemente se emplea como medida de su endurecimiento y como índice de sus propiedades de mecánica en general. Esta se puede definir como la capacidad máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto, se expresa normalmente en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2). Es obtenida a través de ensayos en especímenes cilíndricos de dimensiones normalizadas 150 mm (6") de diámetro y 300 mm (12") de altura, y en otros casos los cilindros de menores dimensiones 100 mm (4") de diámetro y 200 mm (8") de altura. Este método se encuentra descrito en la ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034

Según lo señalado por **Pasquel (1998)**, la resistencia del concreto dependerá principalmente de la concentración de la pasta de cemento es decir de la relación agua-cemento, además de los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta como son la temperatura y el tiempo, junto a los elementos adicionados y el tipo de cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados. Destacando como factor externo el curado, siendo el complemento del proceso de hidratación que permite desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

Figura 1

Efecto del tiempo de curado húmedo en el desarrollo de la resistencia del concreto



Nota. La resistencia del concreto aumenta con la edad, siempre y cuando exista una adecuada humedad y temperatura favorable que permitan la hidratación del cemento. Tomada de *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association (2004).

2.2.2.1. Control de la resistencia del concreto en laboratorio

Los cilindros se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en la norma ASTM C192 / NTP 339.183 “Práctica normalizada para la producción y el curado de especímenes de concreto en laboratorio”. Estos resultados de resistencia a la compresión se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto, para estimar la resistencia del concreto en estructuras y así poder programar las operaciones de construcción. (Corro y Ramos, 2015).

2.2.2.2. Control de la resistencia del concreto en obra

En cuanto al control del concreto mediante probetas que son curadas en obra, se rige bajo la normativa ASTM C31 / NTP 339.033 “Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra”, estas resultan muy útiles, principalmente, cuando el clima no es favorable para determinar cuándo se pueden remover los encofrados



o cuándo se puede poner la estructura en uso. Sin embargo, el control de la resistencia del concreto en obra a través de probetas de ensayo resulta más complicado debido a que las condiciones atmosféricas (altas o bajas temperaturas, humedad relativa baja) influyen en mayor medida en las probetas por su pequeño tamaño, como lo indica **Ortiz (2005)**, una estructura de concreto tendrá diferente evolución térmica dependiendo del sitio en que se encuentre, en función del calor generado y del calor transferido al ambiente, por lo que las probetas cilíndricas de concreto curadas al pie de la obra generalmente serán más afectadas por las condiciones ambientales que la propia estructura de concreto.

2.2.3. Temperatura en el concreto

El desarrollo de la temperatura del concreto está en función del calor liberado durante la hidratación del cemento y de las condiciones de contorno (influencia de factores externos). (**Ortiz, 2005**).

2.2.3.1. *Hidratación y generación de calor del concreto*

La hidratación del cemento Portland es fundamentalmente una reacción exotérmica, ya que se libera calor durante este proceso. El calor de hidratación del cemento es definido por el **ACI Comité 116 (2000)**: Terminología del cemento y el hormigón (concreto), como “El calor desarrollado debido a la reacción química con el agua, el cual se genera durante el fraguado y endurecimiento del cemento Portland”. Este calor liberado durante la hidratación produce un incremento en la temperatura del concreto. La cantidad y la tasa de liberación del calor generado varían con el tipo de cemento; además, las dimensiones del elemento de concreto, la temperatura ambiente, la temperatura inicial del concreto, la relación agua-cemento, los aditivos y la composición,



finura y cantidad del material cementante también afectan el calor de hidratación. **(Kosmatka et al., 2004).**

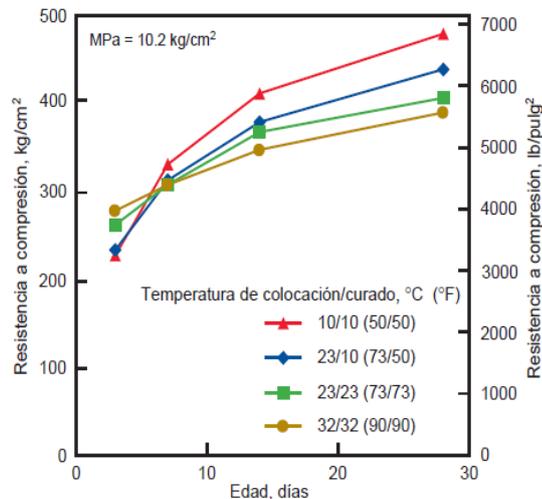
2.2.3.2. Condiciones térmicas ambientales

Las condiciones climáticas extremas, ya sea de altas temperaturas o de bajas temperaturas, influyen de manera directa en las características del concreto en cualquier etapa de su fabricación, mezclado, colocación o curado en obra; así como en sus propiedades físicas y mecánicas. Cuando las temperaturas ambientales son altas tienen como consecuencia una mayor demanda de agua del concreto y un incremento en la temperatura de dicho concreto en estado fresco. **(Neville, 1999).**

Durante el proceso de fraguado y endurecimiento, una elevación de la temperatura del concreto acelera las reacciones químicas de la hidratación teniendo como resultado un aumento de la resistencia temprana del concreto; sin embargo, una temperatura más alta durante la colocación y el fraguado aumenta la resistencia a una edad muy temprana (hasta los 7 días), pero su resistencia posterior se ve adversamente afectada (28 días o más) **(Soroka, 1993)**, así como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Efecto de la temperatura de curado sobre el desarrollo de la resistencia del concreto



Nota. Tomada de *Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association (2004).*

Por otro lado, cuando la temperatura ambiental es baja disminuyen las reacciones químicas y con ello también la temperatura del concreto, teniendo como resultado una velocidad de hidratación más lenta; y, consecuentemente, retardan el endurecimiento y el desarrollo de la resistencia del concreto. A edades tempranas resultan resistencias menores y resistencias mayores a altas edades, tal como se muestra en la referida figura. Temperaturas menores que 10 °C son desfavorables para el desarrollo de las resistencias tempranas, abajo de 4 °C este desarrollo es retrasado enormemente e inferior a la temperatura de congelación (-10 °C) se desarrolla poca o ninguna resistencia. (**Kosmatka et al., 2004**).

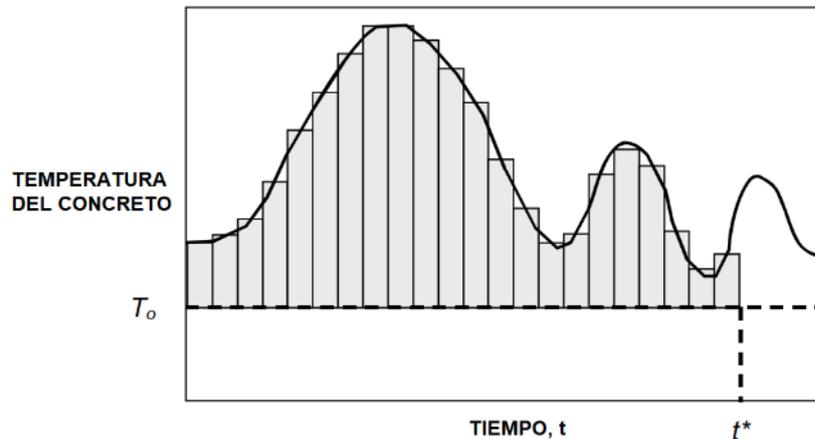
2.2.4. Madurez del concreto

McIntosh (1949), Nurse (1949) y Saúl (1951) indicaron que la madurez es la variable que se encarga de medir la cantidad de calor interno generado en el concreto a lo largo de su evolución. Dicho calor es representado por medio de los efectos combinados de temperatura y tiempo, cuyo producto de ambas variables representa la madurez del concreto. Esto mismo puede expresarse como el área bajo la curva del historial de la

temperatura interna del concreto en estudio, la cual puede apreciarse en la Figura 3. (Malhotra y Carino, 2004).

Figura 3

Historial de temperatura del concreto en función al tiempo



Nota. Se observa el comportamiento térmico interno del concreto a lo largo del tiempo. *Elaborado por el investigador.*

El método de la madurez es una técnica no destructiva para determinar la resistencia del concreto en cualquier momento mediante el cálculo de su índice de madurez, basado en el historial de temperatura de la estructura durante el tiempo de curado para cada diseño de mezcla. El método ofrece una mejor representación de la evolución de la resistencia del concreto in-situ en comparación con la resistencia obtenida de ensayos a compresión en especímenes cilíndricos, que no representan la correcta resistencia de la estructura, debido a que los cilindros presentan propiedades geométricas muy diferentes a las de la estructura, están curados bajo diferentes condiciones ambientales y, son moldeados y manipulados en una forma muy diferente a la estructura de concreto. (Corro y Ramos, 2015).

2.2.4.1. Funciones de madurez

Función de Nurse-Saúl (Factor Temperatura Tiempo)

La función Nurse (1949) - Saúl (1951) se basa en los conceptos propuestos por McIntosh (1949), asume que la velocidad de reacción química en el concreto se incrementa linealmente con la temperatura. Fue así que se propuso que el producto de la temperatura y el tiempo dará como resultado la madurez.

$$F.T.T. = \sum_0^t (T_a - T_o)\Delta t \dots (Ec. 1)$$

Donde:

- F.T.T.: Factor de Temperatura Tiempo a una edad t [$^{\circ}\text{C} - \text{horas}$ o $^{\circ}\text{C} - \text{días}$]
- Δt : Intervalo de tiempo [horas o días]
- T_a : Temperatura promedio del concreto en el intervalo de tiempo Δt [$^{\circ}\text{C}$]
- T_o : Temperatura datum o de referencia [$^{\circ}\text{C}$]

Si durante un intervalo de tiempo el valor T_a es menor que T_o , el valor $(T_a - T_o)$ se tomará igual a cero para ese intervalo de tiempo. (ASTM C1074-19).

Uno de los aportes más importantes que ha dado este modelo es la ley propuesta por Saúl, la cual menciona que *“Concretos de la misma mezcla con la misma madurez, medido usando el factor temperatura tiempo, tendrá aproximadamente la misma resistencia, sin importar la combinación de temperatura y tiempo que dio como resultado esa madurez”*.



Temperatura Datum o de Referencia To. La definición de la temperatura Datum o temperatura de referencia es “*La temperatura de una mezcla de concreto por debajo del cual todas las reacciones de hidratación cesan*”. En teoría, cuando la temperatura del concreto cae por debajo de la temperatura de referencia, no se produce aumento adicional de resistencia, por lo tanto, no hay ganancia neta en la madurez registrada por la Ecuación 1.

La temperatura de referencia puede depender del tipo de cemento, la dosificación de aditivos, factores que afecten la razón de hidratación y el rango de temperaturas que el concreto experimente cuando endurece. Para el cemento Tipo I, sin aditivos y con un rango de temperatura de curado entre 0 °C y 40 °C, la temperatura de referencia recomendada es 0 °C. (Carino, 1984).

Función de Arrhenius (Edad Equivalente)

Freiesleben y Pedersen (1982) sugirieron la función de Arrhenius, responde a la no linealidad en la proporción de la hidratación del cemento. Este método produce un índice de madurez en términos de una “edad equivalente” que representa el tiempo equivalente de curado a una temperatura específica que produciría el mismo valor de madurez al tiempo de curado a diferentes temperaturas que la temperatura específica.

$$E. Eq. = \sum_0^t e^{-\frac{E}{R}(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s})} . \Delta t \dots (Ec. 2)$$

Donde:

- E. Eq.: Edad Equivalente a una temperatura específica T_s [horas o días]
- E: Energía de activación [J/Mol]



- R: Constante de gas universal 8.3144 [J/ (Mol K)]
- T_a : Temperatura promedio en el intervalo de tiempo [K]
- T_s : Temperatura específica [K]
- Δt : Intervalo de tiempo [horas o días]

Temperatura Específica. La temperatura específica es básicamente la temperatura promedio del curado, tradicionalmente se usa un valor de 20 °C, pero otra temperatura conveniente es 23°C, la cual debe ser informada con el valor de la edad equivalente. (Carino y Lew, 2001).

Energía de activación. La energía de activación E, depende del:

- El tipo de cemento.
- El tipo y dosaje de los agregados en polvo que afecte la proporción de desarrollo de resistencia.
- La relación agua- cemento.

Freiesleben y Pedersen (1982) sugirieron los siguientes valores para la energía de activación:

- para $T \geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $E = 33500 \text{ [J / mol] ... (Ec. 3.1)}$
- para $T < 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $E = 33500 + 1470 (20 - T) \text{ [J / mol] ... (Ec. 3.2)}$

Para establecer la famosa curva o relación llamada “Resistencia – Madurez” existen varias relaciones que fueron propuestas para poder modelar la curva, sin embargo, solamente 3 son típicamente usadas.

2.2.4.2. *Relaciones de madurez*

Relación Exponencial

En 1956, Nykanen propuso una relación exponencial de Resistencia – Madurez como se expresa de la siguiente manera:

$$S = S_{\infty}(1 - e^{-kM}) \dots (Ec. 4)$$

Donde:

- S: Resistencia a la compresión
- S_{∞} : Resistencia a la compresión límite
- M: Índice de madurez
- k: Constante

La resistencia a la compresión límite está en función a la relación agua-cemento del concreto. La constante k se relaciona con la tasa inicial de desarrollo de la resistencia, y a su vez, depende de la relación agua-cemento y el tipo de cemento del concreto.

Relación Logarítmica

Plowman (1956) observó que cuando la resistencia se representa gráficamente en función del logaritmo de la madurez (basada sobre la función de Nurse-Saúl) los datos cayeron muy cerca de una línea recta. Por lo tanto, propuso que la siguiente relación de Resistencia – Madurez:

$$S = a + b \log(M) \dots (Ec. 5)$$



Las constantes a y b están relacionadas con la relación agua-cemento del concreto y el tipo de cemento respectivamente.

Relación Hiperbólica

En 1956, Bernhardt propuso una relación hiperbólica Resistencia – Madurez para describir el desarrollo de la resistencia con la edad a una temperatura constante. Mas tarde en 1971, Chin propuso la misma función y describió un procedimiento para evaluar la función para datos dados. (Malhorta y Carino 2004). La función hiperbólica Resistencia–Madurez puede ser expresada en la forma siguiente:

$$S = \frac{M}{\frac{1}{A} + \frac{M}{S_{\infty}}} \dots (Ec. 6)$$

Donde:

- M: Índice de madurez
- S_{∞} : Resistencia límite
- A: Pendiente inicial de la curva resistencia-madurez.

2.2.5. Aplicación del Método de Madurez

El método de madurez fue conocido desde los años cincuenta, como se vio anteriormente, pero no se usó mucho ya que no se contaba con equipos de medición de temperatura de fácil manejo. La Sociedad Americana de Materiales y Equipos (ASTM por sus siglas en inglés) aprobó por primera vez en 1987 la norma ASTM C1074 que estandarizó el procedimiento para desarrollar relaciones de Resistencia-Madurez.



En nuestro medio la misma norma se homologa en la NTP 339.217, “Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez”, la cual su última versión es del 2007, pero actualmente la norma ASTM C 1074 cuenta con una versión más reciente (2019), por tal razón, se resumirán los puntos importantes de la referida normativa:

Resumen de la ASTM C1074-19: “Práctica Estándar para Estimar la Resistencia del Concreto por el Método de Madurez”

1. Determinar una relación Resistencia - Madurez patrón.
2. Registrar la temperatura del concreto en obra desde su colocación.
3. Con este registro de temperatura, calcular el índice de madurez de obra mediante las ecuaciones 1 o 2.
4. Con la relación Resistencia - Madurez patrón determinada y el índice de madurez de obra calculada se puede obtener la resistencia a la compresión in situ.

Ventajas

El método puede ser usado para estimar la resistencia en el sitio del concreto para permitir el inicio de actividades de construcción críticas tales como:

- Retiro del desencofrado y reapuntalamiento.
- Postensado de tendones.
- Terminación de protección del concreto en climas fríos.
- Habilitación de carreteras.



Limitaciones

- El concreto debe estar mantenido en condiciones que permita la hidratación del cemento.
- El método no toma en cuenta los efectos de la temperatura del concreto en edades tempranas para la resistencia última, es decir se ve afectada por el efecto "cross-over".
- El método necesita ser apoyado por otros ensayos para la obtención de la resistencia del concreto.
- El método, como cualquier otro, no toma en cuenta malas prácticas constructivas en el concreto.

Requisitos de los Equipos

Los requisitos que deben cumplir los equipos para poder registrar la madurez del concreto son los siguientes:

- Dispositivo de madurez, el cual monitorea y registra la temperatura del concreto en función al tiempo, y de esta manera realiza el cálculo del índice de madurez de acuerdo con la ecuación 1 o 2.
- Registradores o dispositivos alternativos, incluyen sensores de temperatura conectados a registradores, data loggers o dispositivos digitales embebidos en el concreto que solo miden, registran y guardan los datos de temperatura y tiempo.
- El intervalo de tiempo de las mediciones de temperatura deberá ser ½ hora o menos para las primeras 48 horas y una hora o menos para el tiempo posterior. Es suficiente con que el equipo tenga precisión al décimo, ± 1 °C.



Procedimiento

En primer lugar, se establece el diseño de mezcla según los requerimientos en obra, este diseño se usará tanto en los ensayos de laboratorio como en obra.

Procedimiento en laboratorio

- Se elaborarán 15 o más muestras cilíndricas según la normativa ASTM C192 / NTP 339.183, de los cuales al menos a dos se le incrustará sensores en el centro de su masa, con una precisión de ± 15 mm. A menos que se especifique lo contrario, se curarán de acuerdo con la ASTM C511 / NTP 334.077.
- Se ensayarán las muestras a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, según ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034. Se realizará dos muestras por edad de ensayo calculando el promedio, si el rango de resistencia a la compresión excede el 10% del promedio, se probará otra muestra y se calcula el promedio de las tres. Si un resultado de ensayo es bajo debido a efectos obvios del espécimen se deberá descartar ese resultado.
- En cada edad de ensayo registrar el promedio del índice de madurez para los especímenes instrumentados. Si se usan registros de temperatura evalúe la madurez de acuerdo a la función de Nurse-Saúl o a la de Arrhenius. Utilizar intervalos de tiempo de $\frac{1}{2}$ hora las primeras 48 horas y de una hora después de las 48 horas.
- Trazar las resistencias a la compresión promedio con los índices de madurez promedio calculadas o registradas. Dibujar la curva que más se ajuste a los datos obtenidos.
- Este mismo procedimiento también aplica para determinar la resistencia a la flexión de especímenes de concreto, la elaboración se hará de acuerdo a la



norma ASTM C192 / NTP 339.183 y las pruebas con ASTM C78 / NTP 339.078, el rango de la resistencia a la flexión obtenida no debe exceder el 15% del promedio, en lo demás es similar a lo anterior explicado.

- También se puede desarrollar una relación entre el índice de madurez y la resistencia a la compresión de cubos de concreto, siguiendo el procedimiento anterior.

Procedimiento en obra para determinar la resistencia a la compresión

- Se recomienda instalar los sensores en puntos críticos o donde se desee saber la resistencia a la compresión, se puede asegurar el sensor antes del vaciado o incrustarlo inmediatamente después del vaciado, tener en cuenta que los sensores estén embebidos solamente de concreto, ya que el contacto con otros elementos como metales darán resultados incorrectos.
- Conectar el dispositivo de madurez o registrador de temperatura lo más antes posible después de la instalación, en caso de los dispositivos de madurez utilice los mismos valores de energía de activación y/o temperatura de referencia, el que sea aplicable, realizados para determinar el índice de madurez en laboratorio.
- Para saber la resistencia, evalúe el índice de madurez de obra con el gráfico relación resistencia a la compresión – índice de madurez patrón.
- Antes de desarrollar las operaciones críticas, como son trabajos de retiro de encofrado o postensado, se realizará otras pruebas para asegurarse de que el concreto en la estructura tenga una resistencia potencial similar a la del concreto utilizado para desarrollar la relación Resistencia – Madurez patrón, las técnicas apropiadas incluyen:



- Pruebas in situ que dan indicaciones de resistencia, como el método de prueba ASTM C873/C873M-10 (método de prueba estándar para resistencia a la compresión de cilindros de concreto, fundidos en su lugar en moldes cilíndricos), método de prueba ASTM C803/C803M-03 (método de prueba estándar para la resistencia a la penetración del concreto endurecido) o método de prueba ASTM C900-14 (método de prueba estándar para resistencia a la extracción del concreto endurecido).
- Ensayos de resistencia a la compresión en edades tempranas de acuerdo con el método de ensayo ASTM C918/C918M-20 (método de prueba estándar para medir la resistencia a la compresión en una edad temprana y proyectar la resistencia en una edad avanzada) de probetas de curado estándar moldeadas a partir de muestras de concreto tal como se entregan.
- Ensayos de resistencia a la compresión sobre especímenes moldeados de muestras de concreto tal como fueron enviadas y sujetas a curado acelerado de acuerdo con la práctica ASTM C1768/C1768M-12 (práctica estándar para el curado acelerado de cilindros de hormigón).
- Ensayos a tempranas edades de cilindros moldeados en el campo. Los cilindros deberán ser sometidos a un curado normalizado de conformidad con la práctica ASTM C31/C31M-19 (práctica estándar para la fabricación y curado de probetas de concreto en el campo). Las resistencias a edades tempranas se miden después de que la madurez in situ de la estructura indique que el concreto ha alcanzado la resistencia objetivo sobre la base de la relación resistencia-madurez. Las resistencias medidas se comparan con las resistencias estimadas a partir de la relación fuerza-madurez establecida y el índice de madurez de los cilindros de prueba. Si la



diferencia excede constantemente el 10%, se desarrollará una nueva relación fuerza-madurez.

Precisión del Método

La ASTM C1074-19 indica que *“La precisión de la resistencia estimada depende de varios factores, como la idoneidad de la función de madurez para la mezcla de concreto específica, el historial de temperatura en la edad temprana en el lugar y las proporciones reales de la mezcla del concreto de campo”*.

2.2.6. Tratamiento estadístico

2.2.6.1. Prueba de Hipótesis

Una prueba de hipótesis es el proceso mediante el cual, a partir de los valores de una muestra aleatoria extraída de una población bajo estudio, se decide si mantiene el supuesto que plantea el investigador para el parámetro, o se rechaza; con cierta probabilidad de error (riesgo) por tomar una decisión. (Nolberto y Ponce, 2008, p. 89). El proceso se resume en la siguiente secuencia:

1. Plantear adecuadamente las hipótesis nula y alternativa.

La hipótesis nula es el supuesto que indica que el valor del parámetro, es constante, que no ha sufrido cambios, es nula. Equivalentemente que la población permanece constante, la hipótesis nula se plantea generalmente con la intención de rechazarla, se representa mediante H_0 . Y la hipótesis alterna es el supuesto que se relaciona con la teoría a demostrarse, enunciando alternativa a la hipótesis nula, se representa mediante H_1 . (Nolberto y Ponce, 2008, p. 91).



2. Elegir el nivel de significancia

La probabilidad α es el nivel de significación de la prueba, es el riesgo o la probabilidad que el investigador asume de manera voluntaria para equivocarse al rechazar la hipótesis nula, cuando en realidad es verdadera. Es también la confiabilidad de decidir si se rechaza o no la hipótesis nula. Los niveles de significación más usados son: 0,01, 0,05 y 0,10.

3. Elegir el estadístico para la prueba, de acuerdo a los requisitos que exige la teoría estadística inferencial

Para rechazar o no la hipótesis nula se toma una muestra aleatoria de la población bajo estudio y los resultados contenida en ella se usa en expresiones llamadas estadísticos o estadísticas de prueba que indican el grado de discrepancia entre la hipótesis nula y los datos muestrales que están resumidos en las estadísticas.

Para elegir el estadístico de prueba es necesario tomar en cuenta 3 aspectos: el diseño de la investigación, distribución de los datos y la escala de medición de las variables. Si el diseño de investigación trata de comparar dos o más grupos diferentes entonces es un diseño con muestras *independientes o no relacionadas*, pero si trata de identificar los cambios de un mismo grupo antes y después de un evento, estamos tratando de un diseño con muestra *dependiente o relacionada*.

Cuando la distribución de los datos corresponde a una distribución normal se aplicarán solamente pruebas paramétricas, en cambio, cuando tiene una distribución anormal se aplicarán pruebas no paramétricas. (Flores et al., 2017).

En la siguiente tabla se resume las pruebas recomendadas en función a sus características.

Tabla 1

Estadísticos de prueba

Objetivo del Estudio	Variabes y distribución	Tipo de Muestra	Prueba Recomendada
Comparar 2 promedios	Cualitativas, distribución normal	Muestras relacionadas	t student
		Muestras independientes	t student
	Cuantitativas discontinuas y continuas, sin distribución normal	Muestras relacionadas	Wilcoxon
		Muestras independientes	U Mann Whitney
Comparar ≥ 3 grupos	Cualitativas, distribución normal	Muestras relacionadas	Análisis de varianza (ANOVA) de 2 vías
		Muestras independientes	Análisis de varianza (ANOVA) de 1 vía
	Cuantitativas discontinuas y continuas, sin distribución normal	Muestras relacionadas	Friedman
		Muestras independientes	Kruskal-Wallis
Comparar 2 grupos	Cualitativas nominales y ordinales	Muestras relacionadas	McNemar
		Muestras independientes	Chi-cuadrada*
Comparar ≥ 3 grupos	Cualitativas nominales y ordinales	Muestras relacionadas	Q de Cochran
		Muestras independientes	Chi cuadrada
Correlación de 2 variables	Cuantitativas, distribución normal	Muestras independientes	Coefficiente de Correlación de Pearson
	Cuantitativas discontinuas y continuas, sin distribución normal	Muestras independientes	Coefficiente de Correlación de Spearman

Nota. (*) Utilizar prueba exacta de Fisher si algún grupo tiene valor < 5 . Tomado del *Protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada* (p. 368), por Flores et al., 2017, Revista Alergia México.

4. Definir la región de rechazo, según la hipótesis alternativa propuesta.

La región de rechazo puede considerarse como el conjunto de valores de la estadística de prueba que no tienen posibilidad de presentarse si la hipótesis nula es verdadera. Por otro lado, estos valores no son tan improbables de presentarse si la hipótesis nula es falsa.



5. Calcular el estadístico seleccionado

Valor determinado a partir de la información muestral, que se utiliza para determinar si se rechaza la hipótesis nula. Existen muchos estadísticos de prueba para nuestro caso utilizaremos los estadísticos t. **(Cruz, 2013).**

6. Decidir si se rechaza o no la hipótesis nula.

En este último paso de la prueba de hipótesis, una vez calculado el estadístico de prueba, se compara con el valor crítico y se toma la decisión de rechazar o no la hipótesis nula. Tenga presente que en una prueba de hipótesis solo se puede tomar una de dos decisiones: aceptar o rechazar la hipótesis nula. **(Cruz, 2013).**

La presente investigación tiene por objetivo determinar la relación de dos grupos independientes (en probetas de concreto y del concreto vaciado en obra) de variables cuantitativas (temperaturas, índices de madurez y resistencias a la compresión) y definir si es el caso, el grado de asociación entre las variables, en ese sentido los estadísticos de prueba que se ajustan a estas condiciones resultan ser la Correlación de Pearson para distribución normal y la Correlación de Spearman para distribución anormal, los cuales describiremos a continuación:

2.2.6.2. *Coefficiente de Correlación de Pearson*

Es un índice que mide el grado de asociación o dependencia lineal entre dos variables cuantitativas continuas que poseen una distribución normal bivariado conjunta. Cabe resaltar, que esta correlación no tiene un alcance causal, sólo asociativo. La interpretación, en primera instancia, es que sus valores absolutos varían entre 0 y 1, donde 0 indica ausencia de relación y 1 existencia de relación fuerte. **(Domenech y Riba, 1985).**



$$0 \leq |r_{xy}| \leq 1$$

El Coeficiente de Correlación de Pearson, viene definido por la siguiente expresión: (Gorgas et al., 2011):

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \dots (Ec. 7)$$

Donde:

- r_{xy} : Coeficiente de Correlación de Pearson
- σ_{xy} : Covarianza de x e y
- σ_x : Desviación Típica de x
- σ_y : Desviación Típica de y

Otra forma de expresarse, de manera más sencilla es la siguiente:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \dots (Ec. 8)$$

Donde:

- n : Tamaño de la muestra
- $\sum XY$: Sumatoria de los productos de las variables X e Y
- $\sum X$: Sumatoria de la variable X
- $\sum Y$: Sumatoria de la variable Y
- $\sum X^2$: Sumatoria de los cuadrados de la variable X
- $\sum Y^2$: Sumatoria de los cuadrados de la variable Y

La interpretación de los valores obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Pearson son los siguientes:

Tabla 2

Interpretación del Coeficiente de Correlación de Pearson

Coeficiente	Interpretación
$ r = 1$	Perfecta
$0.8 < r < 1$	Muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Alta
$0.4 < r < 0.6$	Moderada
$0.2 < r < 0.4$	Baja
$0 < r < 0.2$	Muy baja
$r = 0$	Nula

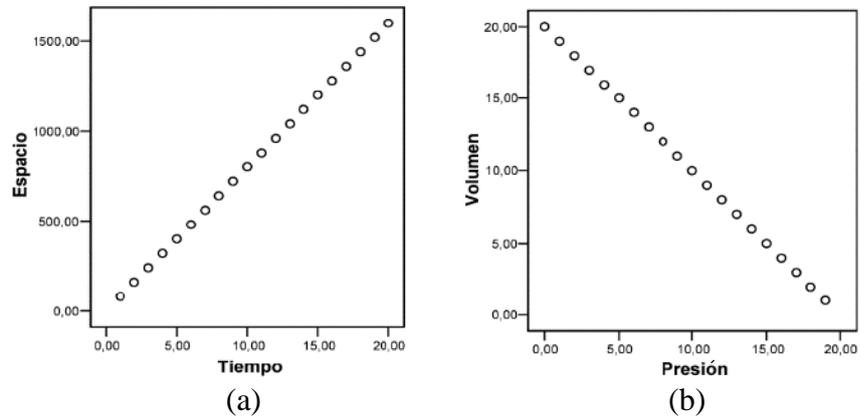
Nota. Se observa los diferentes valores de coeficiente de correlación con sus respectivas interpretaciones. Tomado de *Métodos Estadísticos: Modelo de Regresión Lineal*, por Domenech y Riba, 1985, Barcelona: España.

Pero en realidad si se contempla el signo del coeficiente de correlación de Pearson, el cual oscila entre -1 y +1, cabe indicar que estos dos resultados son de igual de fuertes en términos de relación, con la diferencia en su dirección. En el primer caso la relación es *perfectamente negativa* y en el segundo caso es *perfectamente positiva*.

Decimos que la correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra (Figura 4a). Caso contrario sucede en una correlación perfectamente negativa, entonces decimos que a medida que aumenta una variable disminuye la otra (Figura 4b). Estos dos casos suceden cuando las relaciones entre las variables son funcionalmente exactas.

Figura 4

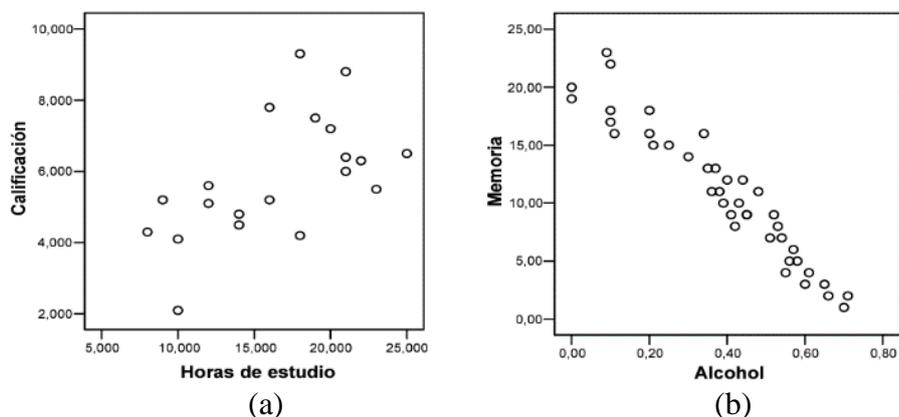
Correlación perfectamente positiva y perfectamente negativa



Nota. En la Figura 4a se puede apreciar la relación entre el espacio y tiempo de un móvil que se desplaza a velocidad constante y en la Figura 4b la relación entre volumen y presión referente las ciencias físicas. Tomada de *Métodos Estadísticos: Modelo de Regresión Lineal*, por Domenech y Rubi, 1985, Barcelona: España.

En los fenómenos humanos y naturales, fuertemente cargados de componentes aleatorios, no es posible establecer relaciones funcionales exactas. En estos casos resultan correlaciones positivas, pero no perfectas (Figura 5a) y de igual manera solamente negativas (Figura 5b).

Figura 5 *Correlación positiva y negativa*



Nota. En la Figura 5a se ve la relación de calificación y horas de estudio, donde la relación se ve afectada por otras variables como motivación o personalidad, entre otros. En la figura 5b, la relación entre la memoria y el consumo de alcohol, de igual manera no se puede establecer con

exactitud el grado de memorización en función al grado de alcohol ingerido, aunque queda claro la tendencia existente. Tomada de *Métodos Estadísticos: Modelo de Regresión Lineal*, por Domenech y Rubi, 1985, Barcelona: España.

Por último, si la configuración de los puntos adopta una figura más o menos redondeada, donde no se puede especificar relación alguna, nos encontramos con una correlación nula.

Otro punto importante a detallar sobre el coeficiente de correlación de Pearson, es que, el valor r_{xy}^2 resulta el coeficiente de determinación, el cual, mide la proporción de la variabilidad en una variable que puede ser determinada de la relación con otra variable.

Contraste de Hipótesis

La significación se da para determinar si tal valor obtenido muestra que la variable X y Y están relacionadas o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar. Es decir, si del valor obtenido se puede afirmar, con una cierta probabilidad, que es diferente de cero. A consecuencia obtendremos dos hipótesis posibles:

Hipótesis Nula: $H_0 : r_{xy} = 0$, es cuando no existe relación estadísticamente significativa entre la variable 1 y la variable 2.

Hipótesis Alternativa: $H_1 : r_{xy} \neq 0$, es cuando existe relación estadísticamente significativa entre la variable 1 y la variable 2.

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = r_s \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r_s^2}} \dots (Ec. 9)$$

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación α , si se cumple:

$$\left| r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \right| \leq t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Y se rechazará si:

$$\left| r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \right| > t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Donde el valor de $t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$ en las condiciones establecidas, se calcula empleando la Tabla de Distribución T, el cual se presenta en el Anexo 1.

2.2.6.3. *Coefficiente de Correlación de Spearman*

Es una medida de asociación basada en rangos de observaciones y no en los valores numéricos de los datos. Es la contraparte de la prueba paramétrica del coeficiente de correlación de Pearson que permite evitar las suposiciones que exige la prueba paramétrica: distribuciones simétricas o varianzas iguales. La fórmula para el cálculo de *rho* es: (Quispe et al., 2019).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_f^2}{n(n^2 - 1)} \dots (Ec. 10)$$

Donde:

- r_s : Coeficiente de Correlación de Spearman
- D_f : Diferencia entre el i-ésimo par de rangos = $R_{xi} - R_{yi}$
- R_{xi} : Es el rango del i-ésimo dato x
- R_{yi} : Es el rango del i-ésimo dato y

– n : Número de parejas de rangos

La interpretación de los valores que resultan es el mismo que el del coeficiente de correlación de Pearson.

Contraste de Hipótesis

Hipótesis Nula: $H_0 : r_s = 0$, es cuando no existe relación estadísticamente significativa entre la variable 1 y la variable 2.

Hipótesis Alternativa: $H_1 : r_s \neq 0$, es cuando existe relación estadísticamente significativa entre la variable 1 y la variable 2.

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \dots (Ec. 11)$$

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación α , si se cumple:

$$\left| \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| \leq t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Y se rechazará si:

$$\left| \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| > t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Donde el valor de $t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$ en las condiciones establecidas, se calcula del mismo modo que la Correlación de Pearson, empleando la Tabla de Distribución T (Anexo 1).



2.3. MARCO CONCEPTUAL

Aire atrapado: Huecos de aire, típicamente de 1 mm o más de tamaño y principalmente de forma irregular, que se incorporan involuntariamente en una mezcla cementosa durante la mezcla y manipulación. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).

Asentamiento: Medida de la consistencia del concreto fresco, evaluado mediante el ensayo del cono de Abrams. (Pasquel, 1998).

Calor de Hidratación: Calor desarrollado por las reacciones químicas con el agua, tales como las producidas durante el proceso de fraguado y el endurecimiento del concreto de cemento Portland tipo I. (Sánchez de Guzmán, 2001).

Cemento Hidráulico: Un cemento que se endurece por reacción química con el agua y es capaz de hacerlo bajo el agua. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).

Cemento Portland: Cemento hidráulico producido generalmente al pulverizar Clinker de Cemento Portland, con sulfato de calcio. (NTE E.060).

Cemento: Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (NTE E.060).

Concreto endurecido: Concreto que ha desarrollado suficiente resistencia para cumplir un propósito definido o resistir una carga estipulada sin fallas. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).



Concreto fresco: Concreto que posee suficiente trabajabilidad original para que pueda ser colocado y consolidado por los métodos previstos. (**ASTM C125-20 / NTP 339.047**).

Concreto: Mezcla de cemento Portland o de cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos, que mediante la hidratación del cemento adquiere consistencia. (**NTE E.060**).

Consistencia: Movilidad relativa o capacidad de fluir de una mezcla cementosa fresca. (**ASTM C125-20 / NTP 339.047**).

Contenido de aire: Volumen de huecos de aire en pasta de cemento, mortero u hormigón, excluyendo el espacio de poros en las partículas de agregado, generalmente expresado como un porcentaje del volumen total de la pasta, mortero u hormigón. (**Sánchez de Guzmán, 2001**).

Curado: Acción tomada para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementosa recién colocada para permitir la hidratación hidráulica del cemento y (si corresponde) que ocurran reacciones puzolánicas para que se desarrollen las propiedades potenciales de la mezcla. (**ASTM C125-20 / NTP 339.047**).

Densidad: Masa por unidad de volumen de un material (preferido a la expresión peso unitario). (**ASTM C125-20 / NTP 339.047**).

Desviación Estándar: La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de un grupo de datos con respecto al promedio, también puede ser interpretada como una medida de incertidumbre y por tal razón es que es utilizada para determinar la precisión de un método. (**Gorgas et al., 2011**).



Diseño de Mezclas: Procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades de todos los componentes de una mezcla de concreto, para alcanzar el comportamiento y resistencia deseada. **(Pasquel, 1998).**

Dosificación: Proporción en peso o en volumen, según la cual se mezclan los componentes del concreto. **(Sánchez de Guzmán, 2001).**

Edad Equivalente: Número de días u horas de curado de una mezcla de concreto a una temperatura específica requerida para producir una madurez igual a la madurez alcanzada por un período de curado dado a temperaturas de concreto diferentes de la temperatura especificada. **(ASTM C125-20 / NTP 339.047).**

Endurecimiento: Ganancia de resistencia y otras propiedades de una mezcla de cemento después de fraguado final. **(ASTM C125-20 / NTP 339.047).**

Factor Temperatura Tiempo: Índice de madurez calculado como el área entre la temperatura del concreto y la temperatura de referencia a partir de la gráfica temperatura en función del tiempo, expresada en unidades de grados-días u grados-horas. **(ASTM C125-20 / NTP 339.047).**

Función de madurez: Expresión matemática que utiliza el historial de temperatura medido de una mezcla cementosa durante un período de curado para calcular un índice que es indicativo de la madurez al final de ese período. **(ASTM C1074-19).**

Índice de madurez: Indicador de madurez calculado a partir del historial de temperatura de la mezcla cementosa mediante el uso de una función de madurez. **(Carino, 1984).**



Madurez: Extensión del desarrollo de una propiedad de una mezcla cementosa. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).

Método de madurez: Técnica para estimar la resistencia del concreto que se basa en el supuesto de que las muestras de una mezcla de concreto dada alcanzan resistencias iguales si alcanzan valores iguales de índice de madurez. (ASTM C1074-19).

Nivel de relación fuerte o alta: Se da cuando existe un grado de asociación o dependencia lineal entre dos variables cuantitativas continuas, tiene un coeficiente de correlación entre $0.6 < |r| < 0.8$. (Domenech y Riba, 1985).

Nivel de relación Nula: Se da cuando no existe un grado de asociación o dependencia lineal entre dos variables cuantitativas continuas, lo mismo que decir, ausencia de relación. Tiene un coeficiente de correlación r igual a 0. (Domenech y Riba, 1985).

Relación agua-cemento: Relación de la masa de agua, excluyendo el agua absorbida por los agregados, a la masa de cemento portland en una mezcla cementosa, expresada como un decimal. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).

Relación Resistencia – Madurez: Relación empírica entre la resistencia del concreto y el índice de madurez que se obtiene probando probetas cuyo historial de temperatura hasta el momento de la prueba se ha registrado. (ASTM C1074-19).

Tamaño máximo nominal: Tamaño de la abertura de tamiz más pequeña a través de la cual se da el primer retenido del agregado. (Pasquel, 1998).

Tamaño máximo: Tamaño de la abertura del tamiz más pequeña a través de la cual se requiere que pase toda la cantidad de agregado. (Pasquel, 1998).



Trabajabilidad: Propiedad del concreto recién mezclado que afecta la facilidad con la que se puede mezclar, colocar, consolidar y eliminar. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).

Varillado: Consolidación de una mezcla de cemento fresco o muestra de agregado mediante la inserción repetida de una varilla prescrita. (ASTM C125-20 / NTP 339.047).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Agregados

Para la realización de la presente investigación se utilizó agregado fino y grueso proveniente de la cantera Isla de la Comunidad Campesina de Isla del distrito de Juliaca, provincia de San Román.

3.1.2. Cemento

Asimismo, se utilizó el cemento portland tipo IP, marca “Rumi” el cual cumplía con lo exigido por la norma NTP 334.090: “*Cementos portland adicionados. Requisitos*”. Este tipo de cemento puede ser usado en cualquier tipo de obras de infraestructura y para la construcción en general. El certificado de calidad se muestra Anexo 2.

3.1.3. Agua

Se utilizó agua proveniente de una red pública y de acuerdo a la normativa ASTM C1602 / NTP 339.088: “*Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*”. No es necesario la realización de ensayos para evaluar su conformidad.



3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Nivel de Investigación

La presente investigación se caracteriza por tener un nivel de investigación relacional, pues se logró determinar el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Arias (2012) considera que, la investigación relacional tiene como finalidad determinar el grado de relación o asociación (no causal) existente entre dos o más variables. Asimismo, refiere que, en estos estudios, primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. Sin embargo, la investigación correlacional no establece de forma directa relaciones causales, puede aportar indicios sobre las posibles causas de un fenómeno.

3.2.2. Diseño de Investigación

El diseño fue de tipo experimental, debido a que las probetas de concreto fueron sumergidas en una poza con agua para obtener la condición de curado húmedo y el concreto en obra fue curado a temperatura ambiente, (temperaturas variables) para evaluar su desarrollo de la resistencia a la compresión; y de esta manera, aplicar el método de madurez.



Asimismo, **Arias (2012)** refiere que, la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento, cuya finalidad es observar los efectos o reacciones que se producen.

3.2.3. Población y Muestra

Población. La población estuvo conformada por probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm².

Muestra. La muestra fue de tipo probabilístico, debido a que todas las unidades de observación tienen la misma posibilidad de ser seleccionadas para conformar la muestra.

Número de ensayos por edad: Debido que las variables son cuantitativas y la población es infinita, se realizó un muestreo aleatorio simple, utilizando la siguiente ecuación: (**Mendenhall et al., 2010**).

$$n = \frac{Z^2 * S^2}{E^2} \dots (Ec. 12)$$

Donde:

- n: Número de ensayos o elementos de la muestra, tamaño de la muestra.
- Z: Nivel de confianza o margen de confiabilidad.
- S: Estimado previo de la desviación estándar del lote o proceso.
- E: Error muestral.

Valor Z: Se obtuvo de acuerdo a la función de distribución normal tipificada o tabla “Z” (ver Anexo 3). Generalmente se utiliza un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$), entonces el valor de Z para este porcentaje es:

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = Z_{1-\frac{0.05}{2}} = Z_{0.975} = 1.96$$

Valor S: Según la Tabla 3 de valores de dispersión en el control del concreto, para un grado de control entre muy bueno y excelente de concreto en laboratorio se asumió una desviación estándar de 14.1 kg/cm².

Tabla 3

Dispersión en el control del concreto

Dispersión Total					
Clase de Operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

Dispersión Entre Testigos					
Clase de Operación	Coefficiente de variación para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

Nota. Tomado de *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*, por Carbajal, E. P., 1993, Colegio de Ingenieros del Perú.

Valor E: El error muestral en condiciones de concreto en laboratorio fue dado por un nivel de significancia de 0.05, multiplicado por la resistencia a la compresión promedio requerida, en nuestro caso es $f'_{cr} = 294$ kg/cm².



Remplazando los valores en la ecuación 14, se tiene:

$$n = \frac{z^2 * S^2}{E^2} = \frac{(1.96)^2 * (14.10 \text{ kg/cm}^2)^2}{(0.05 * 294 \text{ kg/cm}^2)^2} = 3.53$$

Por lo tanto, se asumirá el número de muestras por edad de 4 probetas.

Edades de prueba: La norma ASTM C1074-19, en su inciso 8.4 indica: *A menos que se especifique lo contrario, realizar pruebas de compresión a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días.* Por lo tanto, para tener mayores puntos de control en la presente investigación se realizaron pruebas a edades de 1, 3, 5, 7, 10, 14, 18, 21, 24 y 28 días, que en adelante llamaremos edades de prueba, de la siguiente manera:

Ensayo de rotura de probetas:

- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 1 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 3 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 5 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 7 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 10 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 14 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 18 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 21 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 24 días.
- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² para ser contraladas a los 28 días.

Ensayo de madurez



- 4 probetas de concreto de 210 kg/cm² controladas mediante su temperatura hasta la edad de 28 días.

Resultando 44 probetas de concreto de 210 kg/cm² para determinar la relación Resistencia-Madurez patrón. Además, dos elementos estructurales en obra, a los cuales se les registró su historial de temperatura hasta la edad de 28 días para determinar su madurez y así estimar su resistencia a la compresión.

Finalmente, para dar validez al presente método, como indica la norma ASTM C1074-19, se elaboró y curó 6 probetas de concreto en obra (ASTM C31 / NTP 339.033), para ensayarlas a edades de 7, 14 y 28 días (2 probetas por edad) y determinar su resistencia a la compresión (ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034). De esta manera, compararlas con las resistencias estimadas para evaluar sus diferencias, siendo un total de 50 probetas de concreto de 210 kg/cm².

3.2.4. Variables

La presente investigación se caracteriza por tener variables cuantitativas, las cuales ayudaron a desarrollar los objetivos, por tanto, se determinó como variables de estudio:

Variable 1: Resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas.

- ***Resistencia a la compresión del concreto (f'_c)***. Se determinó mediante la normativa ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034: “Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”.



Variable 2: Resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm² estimadas en obra mediante el método de madurez.

- **Resistencia a compresión del concreto ($f'c$).** Según la relación Resistencia -Madurez patrón obtenida se estimó la resistencia a la compresión del concreto en obra.
- **Temperatura interna del concreto.** Se evaluó la temperatura interna del concreto insertando sensores termopar tipo K conectados a módulos digitales registradores de temperatura.

La matriz de consistencia y la operacionalidad de variables se muestra en el Anexo 4 y 5, respectivamente.

3.2.5. Técnicas

Observación. Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Al respecto, **Arias (2012)** indica que, la observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos.

3.2.6. Instrumentos

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información (**Arias, 2012**). En la presente investigación fueron estas:

- **Ficha de observación en laboratorio:** Los resultados del ensayo a compresión simple de probetas, fueron registrados en un listado.



- **Ficha de gabinete:** Para estimar las resistencias del concreto, los datos recolectados de los ensayos en laboratorio fueron examinados y procesados.
- **Módulos para registrar datos de temperatura (termómetros):** Estos dispositivos digitales fueron utilizados para monitorear y registrar la temperatura interna del concreto de probetas cilíndricas y del vaciado en obra, a fin determinar su madurez, así como también la temperatura ambiente en ambas condiciones.
- **Ordenador portátil:** Dicho dispositivo se utilizó para almacenar y procesar todos los datos para su posterior análisis e interpretación.

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.3.1. Descripción del proyecto

La presente investigación se ejecutó en la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021, a fin de determinar el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la referida obra.

El proyecto presentó características en las que se consideró como parte integrante los siguientes componentes:

- **Construcción del cerco perimétrico:** Comprendió la construcción de la infraestructura del cerco perimétrico, muros llenos, muros caravista y muros con enrejado metálico.



- **Construcción de ingreso principal y accesos:** Comprendió la construcción de ingresos como acceso principal, acceso 2 y acceso 3, ingresos vehiculares e ingresos peatonales, veredas, jardines y caseta de guardianía.

3.3.2. Descripción de ensayos

3.3.2.1. Caracterización de los agregados

Se determinó las propiedades de los agregados para realizar el diseño de mezclas en el Laboratorio de Investigación y Ensayos de Materiales G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C., mediante la ejecución de los siguientes ensayos:

- **Contenido de humedad de los agregados.** El ensayo de contenido de humedad evaporable del agregado fino y grueso se realizó en base a la norma ASTM C566-19 / NTP 339.185.
- **Análisis Granulométrico de los agregados.** Se realizó el análisis granulométrico del agregado fino y grueso en base a la norma ASTM C136/C136M-19 / NTP 400.012 y ASTM C33/C33M-18 / NTP 400.037 para determinar su clasificación según el perfil granulométrico.
- **Densidad relativa y absorción de agregados finos y gruesos.** El ensayo para la densidad relativa y absorción del agregado fino y grueso se desarrolló en base a la norma ASTM C128-15 / NTP 400.022 y ASTM C127-15 / NTP 400.021, respectivamente.
- **Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso.** Los ensayos se desarrollaron en base a la norma ASTM C29/C29M-17 / NTP 400.017.

Equipos empleados:



- Horno de Laboratorio: Se empleó un horno con indicación digital marca Alfa, modelo G-0301250, alcance de 300 °C y resolución 0.1 °C.
- Balanza Digital con gancho para masa hidrostática: Se empleó una balanza electrónica de marca Ohaus, modelo R21PE30ZH, serie 8356390604, capacidad máxima de 30 kg y escala 0.001 kg.
- Balanza Digital: Se empleó una balanza electrónica de marca Ohaus, modelo NV622ZH, serie 8341286316, capacidad máxima de 620 g y escala 0.01 g.
- Se empleó una poza de curado.

Los certificados de calibración de los equipos se muestran en el Anexo 6.

Cabe mencionar que el agregado fino y grueso se obtuvo del material acopiado en obra, para luego ser transportado y almacenado en los ambientes del mencionado laboratorio.

3.3.2.2. *Diseño de mezcla de concreto 210 kg/cm²*

La obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca” contó con un diseño de mezclas aprobado; sin embargo, como el material en cantera variaba gradualmente cambiando su granulometría; y, siendo que, el método de madurez requiere proporciones exactas en la dosificación de diseño, se vio conveniente realizar nuevamente el diseño de mezclas teniendo en consideración las especificaciones en obra.

Asimismo, dadas las condiciones en obra de exposición a ciclos de congelamiento y deshielo del concreto, se realizó el diseño de mezclas según las recomendaciones del ACI-211.1-910, considerando una relación agua-cemento por durabilidad. Este método tiende a producir concretos pedregosos, siendo lo necesario para este tipo de exposición, debido a que la función principal de los agregados gruesos es dar resistencia al concreto



proporcionando una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste, evitando los cambios de volúmenes excesivos del concreto.

Las condiciones de diseño de obra fueron las siguientes:

- Resistencia de diseño específica (f^c): 210 kg/cm²
- Aglomerante: Cemento Portland Rumi tipo IP (Peso específico: 2780 kg/m³)
- Asentamiento (slump): 75 mm (3”) – 100 mm (4”)
- Relación a/c (durabilidad): 0.45

3.3.2.3. *Elaboración de cilindros de concreto*

Luego de realizar el diseño de mezclas se elaboraron cilindros de concreto para determinar la resistencia a la compresión del concreto, según las especificaciones de la ASTM C192/C192M-19 / NTP 339.183 y ASTM C143/C143M-15 / NTP 339.035 para la verificación del asentamiento.

Para la selección del tamaño del cilindro, la especificación ASTM C31/C31M-19 menciona que el diámetro de una muestra cilíndrica debe ser por lo menos 3 veces mayor que el TMN del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla. Como el TMN del agregado grueso es 1 1/2”, entonces el diámetro de molde a usar fue de 150 mm (6”) – moldes típicos.

De acuerdo a la cantidad de probetas conseguidas y el inciso 8.1 de la norma C 1074-19: “*Si se necesitan dos lotes para preparar el número requerido de cilindros, moldee un número igual de cilindros de cada lote y pruebe un cilindro de cada lote en las edades de prueba indicadas*”. Se optó por realizar dos tandas de mezcla de 20



cilindros cada una para los ensayos de resistencia a la compresión y para los cilindros de registro de temperatura sola una tanda.

Equipos empleados

- Moldes cilíndricos metálicos de 150 mm (6”) de diámetro y 300 mm (12”) de altura.
- Varilla compactadora de acero liso, de 600 mm (24”) de longitud, 16 mm (5/8”) de diámetro y punta en bala.
- Cono de Abrams de 100 mm (4”) de diámetro superior, 300 mm (12”) de altura y 200 mm (8”) de diámetro inferior.
- Plancha de 6.25 mm (1/4”) de espesor mínimo y con suficiente dimensión para colocar la base inferior del cono.
- Martillo de caucho.
- Buggy
- Cinta métrica
- Herramientas varias

Procedimiento

Mezclado:

- Según la dosificación del concreto 210 kg/cm², se realizó tandas de 0.020 m³ para la verificación del asentamiento y 0.023 m³ para la elaboración de 4 probetas.
- Se mezcló el cemento y el agregado fino.



- Seguidamente se adicionó el agregado grueso hasta homogenizar los materiales.
- Finalmente se agregó el agua hasta tener la mezcla absolutamente homogénea.

Verificación del asentamiento:

- Se ubicaron los equipos en una superficie nivelada.
- Se humedeció el cono, la base y la varilla compactadora con una franela húmeda.
- Se llenaron las probetas en tres capas.
- Cada capa se apisonó con 25 golpes uniformemente.
- Se enrasó la parte superior del cono con ayuda de una plancha de albañil y dejándolo limpio el exterior del cono.
- Se levantó verticalmente el cono en un tiempo de 3-7 segundos.
- Finalmente, se procedió a medir con la cinta métrica el asentamiento producido.

Vaciado del concreto:

- Se colocaron los moldes cilíndricos en una superficie rígida y libre de vibraciones.
- La selección del número de capas se hizo en base a la forma y altura del cilindro seleccionado, se estableció hacer tres capas en la elaboración de cada cilindro.
- En la colocación de la capa final se colocó la mezcla hasta completar el relleno del molde.



Compactación:

- La selección del método de compactación está en función al asentamiento, como el diseño fue para un asentamiento de 75 mm (3”) a 100 mm (4”), se realizó compactación por apisonado (por varillado).
- En la selección del número de golpes por capa se hizo en base al diámetro del cilindro seleccionado. Se apisonó cada capa mediante 25 golpes con la parte redonda de la varilla, de manera uniforme en toda la sección transversal del molde.
- En la capa inicial se apisonó introduciendo la varilla hasta el fondo del molde y para las dos capas superiores se atravesó aproximadamente 25 mm (1”) la capa anterior. Después de cada varillado se golpeó uniformemente el molde de manera que cierre los huecos producidos por el varillado.

Acabado:

- Se enrasó la parte superior del molde eliminando concreto excedente.
- Mediante la plancha se dio el acabado de manera que quede plana y pareja la sección transversal a nivel del borde del molde.

Curado:

- Una vez terminado el acabado se llevó los cilindros en un ambiente libre de vibraciones.
- Se desencofró los moldes después de 24 horas, para dejarlos sumergidos en la poza de curado y así obtener la condición de humedad.



- Cabe mencionar que, para el curado del concreto, tanto de las probetas cilíndricas para el registro de temperatura y las probetas cilíndricas a fin de determinar su resistencia a la compresión, se realizó a temperatura ambiente

3.3.3. Resistencia a la compresión de probetas de concreto

Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de dos probetas de cada lote, ensayando en total 4 probetas en las edades de pruebas indicadas, de acuerdo a la norma ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034.

Equipo. Máquina de ensayo uniaxial: Se utilizó una prensa hidráulica digital marca KAIZACORP con serie 2005759 de carga manual con una capacidad de carga máxima de 2000 KN, se anexa su certificado de calibración (Anexo 7).

Procedimiento. Los días para la ejecución de los ensayos a compresión fueron a las edades de pruebas establecidas. Estas pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Ensayos de Materiales G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Para la validación de los resultados la norma ASTM C1074-19, requiere probar las muestras por edad y calcular el promedio; el rango de resistencia a la compresión por edad excederá como máximo el 10 % de su resistencia promedio, si existen pruebas con resultado bajo a causa de una muestra claramente defectuosa, se eliminará este resultado.

3.3.4. Estimación de la resistencia del concreto por el Método de Madurez

3.3.4.1. Registro de temperaturas del concreto en probetas y vaciado en obra

Para realizar el registro de temperaturas se utilizó 2 módulos digitales de marca ECC-Equipment y modelo ECCE-20-1-1 con series 20110011 y 2011002, uno para las

probetas de concreto y el otro para el concreto vaciado en obra, con 5 sensores Termopar tipo K (2 hilos) cada uno, estos módulos tienen la capacidad de almacenar las lecturas de temperatura cada 15 minutos mediante una plataforma Arduino y tienen una precisión de almacenaje de 0.25 °C cumpliendo así con los requisitos establecidos en la norma ASTM C1074-19.

Para obtener el historial de temperaturas de las probetas de concreto 210 kg/cm², y así, determinar la relación Resistencia-Madurez patrón, se elaboró cuatro probetas cilíndricas en las que se introdujo los sensores de temperatura en su centro de masa hasta la edad de 28 días, el quinto sensor se usó para el registro de la temperatura ambiente.

Tabla 4

Módulo digital - probetas cilíndricas de concreto

Marca	Modelo	Número de serie	Sensores tipo K		
			Id	Descripción	Aplicación
ECC-Equipment	ECCE-20-1-1	2011001	M-1	Sensor de temperatura 1	Concreto
			M-2	Sensor de temperatura 2	Concreto
			M-3	Sensor de temperatura 3	Concreto
			M-4	Sensor de temperatura 4	Concreto
			M-5	Sensor de temperatura 5	Ambiente

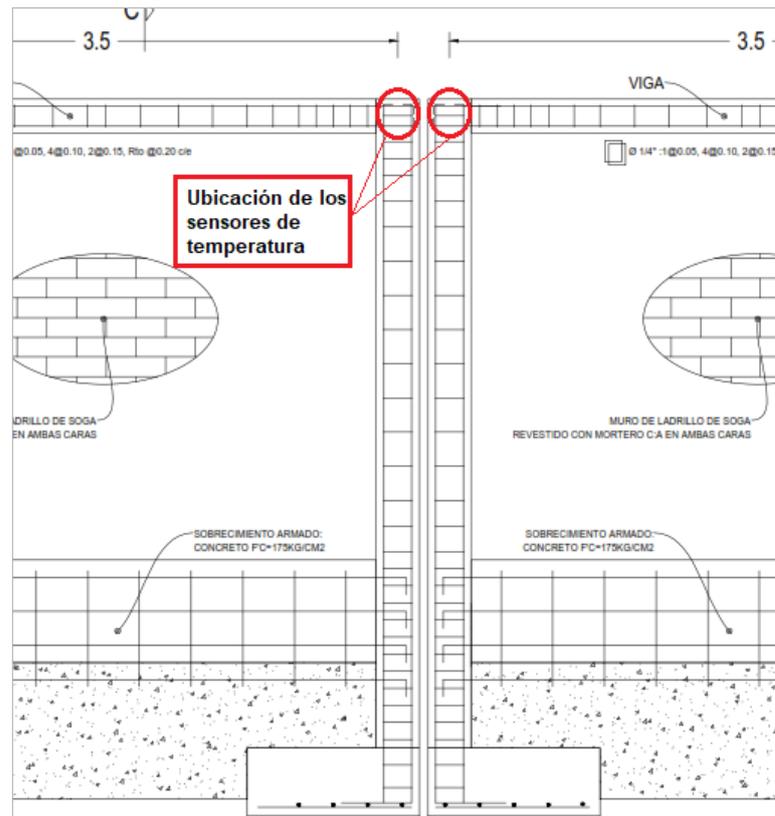
Nota. El certificado de Calibración se muestra en el Anexo 8. *Elaborado por el investigador.*

Por otro lado, para el historial de temperaturas del concreto 210 kg/cm² colocado en obra, se procedió a instalar cuatro sensores de temperatura en los elementos continuos de concreto de confinamiento del cerco perímetro, dos sensores en cada unión viga (0.25 m x 0.2 m) – columna (0.25 m x 0.25 m) como se muestra en la siguiente figura, cuyo plano de estructuras del proyecto se encuentra en el Anexo 9. Además, se usó un quinto sensor para el registro de la temperatura ambiente. Se decidió ubicar los sensores en los puntos señalados, por ser lugares críticos en términos de condiciones de exposición, puesto que, en las esquinas o bordes el concreto típicamente será más frío, debido a que

hay menos efecto de masa y más exposición a la temperatura ambiente. Respecto al requisito estructural, se sabe que en la unión viga columna existe la distribución de los momentos negativos máximos, considerados puntos críticos.

Figura 6

Ubicación de los sensores de temperatura en obra



Nota. La imagen fue tomada del plano estructural contenido en el expediente técnico de la obra en referencia (Anexo 9).

Tabla 5

Módulo digital - concreto en obra

Marca	Modelo	Número de serie	Sensores tipo K		
			Id	Descripción	Aplicación
ECC-Equipment	ECCE-20-1-1	2011002	R-1	Sensor de temperatura 1	Concreto
			R-2	Sensor de temperatura 2	Concreto
			R-3	Sensor de temperatura 3	Concreto
			R-4	Sensor de temperatura 4	Concreto
			R-5	Sensor de temperatura 5	Ambiente



Nota. El certificado de Calibración se muestra en el Anexo 8. *Elaborado por el investigador.*

El procedimiento para ambas condiciones fue de la siguiente manera:

Procedimiento para la instalación de los sensores en probetas

- Para los cilindros registradores de la temperatura, una vez terminando el vaciado de la mezcla de concreto de la primera capa como se explicó anteriormente, se insertó los sensores tipo K al centro del molde (± 15 mm).
- Se continuó con el procedimiento de llenado y compactado de manera cuidadosa sin mover ni golpear los sensores.
- Con ayuda del martillo de goma se golpeó los costados de los cilindros hasta llenar cualquier espacio alrededor del sensor.
- Finalmente, se conectó los sensores al módulo para iniciar con el registro de unidades de temperaturas.
- Después de 24 horas se realizó el desmolde de las probetas, procediéndose a sumergirlas en la poza de curado hasta la edad de 28 días.

Procedimiento para la instalación de los sensores en elementos estructurales

- Se colocaron los sensores dentro de cada unión viga - columna de confinamiento inmediatamente después del vaciado del concreto 210 kg/cm². Se introdujo dos sensores de temperatura en cada unión, ubicados próximos como se muestra en la Figura 6.
- Se verificó que los sensores queden completamente rodeados por concreto y que no entren en contacto con el acero de refuerzo u otro elemento que pueda estar expuesto al ambiente externo.



- Después se procedió a conectarlos al módulo de registro de temperatura, para almacenar los datos de temperatura hasta la edad de 28 días.
- El proceso de curado se realizó de acuerdo a las especificaciones del proyecto, esto con la finalidad de comparar la evolución del historial térmico del concreto en el sitio de la obra frente al concreto curado en poza.

3.3.4.2. Madurez de probetas de concreto y de obra

Para la determinar la madurez, de acuerdo a la norma ASTM C 1074-19, se consideró dos alternativas como se mencionan a continuación y que fueron descritas a más detalle en el capítulo anterior:

- Función de Nurse- Saúl o Factor Tiempo Temperatura (F.T.T.).
- Función de Arrhenius o Edad Equivalente (E. Eq.).

Tanto para las probetas de concreto como para el vaciado en obra se empleó ambas funciones para la obtención de la madurez, esto debido a que el modelo de Nurse-Saúl considera que la evolución de la resistencia sigue una función lineal, mientras que el modelo de Arrhenius considera que el aumento de la magnitud de la resistencia se da de forma exponencial, de esta manera se buscó el que mejor se ajuste a la evolución de la resistencia a compresión del concreto.

Consideraciones para el modelo de Nurse-Saúl

- Para la aplicación de la función de Factor Temperatura Tiempo (Ecuación 01) el valor de la temperatura de referencia o Datum (T_0) se consideró 0 °C, valor bajo la cual la ganancia de resistencia del concreto se detiene.



- El intervalo de tiempo (Δt), para el cálculo de la temperatura promedio se consideró 15 minutos durante los primeros 5 días y 1 hora hasta edad de 28 días; esto con la finalidad de evaluar el incremento de la madurez del concreto y en consecuencia la ganancia de la resistencia a edades tempranas.

Consideraciones para el modelo de Arrhenius

- Para la aplicación de la función de Edad Equivalente (Ecuación 02) el valor de la Temperatura Especificada (T_e) fue igual a la temperatura interna promedio de las probetas de concreto, el cual resultó 18.58 °C, se consideró 18.60 °C para el respectivo cálculo.
- El valor de la Energía de Activación (E) se determinó mediante la ecuación propuesta por Freiesleben Hansen y Pedersen para temperaturas de curado menores a 20 °C (Ecuación 3), resultando un valor igual a 35 558 J/mol para una temperatura especificada de 18.60 °C.
- El intervalo de tiempo (Δt) para el cálculo de temperatura promedio se tomó el mismo criterio empleado para el método de Nurse – Saúl.

Para el registro y cálculo de la madurez tanto por la función de Nurse-Saúl como la de Arrhenius, se utilizaron tablas donde se consignaron la información para el cálculo y presentación de los resultados correspondiente a cada ensayo; empleándose, el software Microsoft Excel para dicho procedimiento.

3.3.4.3. Relación Resistencia – Madurez Patrón

Para determinar la relación entre la resistencia y la madurez se realizó el procedimiento de acuerdo a la norma ASTM C1074-19 teniendo ciertas consideraciones:



- Los días para la ejecución de los ensayos a compresión se realizaron en las edades de prueba establecidas, siendo un total de 10 puntos para elaborar la curva Resistencia – Madurez.
- Se ensayaron cuatro probetas cilíndricas para cada edad (2 de cada lote) y se calculó la resistencia promedio.
- Para cada edad de ensayo se determinó el índice de madurez promedio de las cuatro probetas instrumentadas con los registradores de temperatura.
- Mediante un gráfico se representó la resistencia a la compresión promedio como función del valor promedio del índice de madurez, dando como resultado una curva que establece la relación Resistencia-Madurez patrón, la misma que fue usada para estimar la resistencia del concreto en obra.
- Se estableció la relación entre: Resistencia - Factor Temperatura Tiempo; y Resistencia - Edad Equivalente, para evaluar la curva con mejor ajuste a todos los datos. Esta relación se determinó mediante una función del tipo logarítmica (Ecuación 5) para ambos modelos.

Resistencia estimada del concreto en obra

Con los índices de madurez calculados en obra y mediante las dos relaciones antes mencionados (Resistencia - Factor Temperatura Tiempo; y Resistencia - Edad Equivalente), se estimó la resistencia a la compresión del concreto en obra a las edades de prueba establecidas, utilizando la función logarítmica para cada una respectivamente.

Finalmente, para validar los resultados estimados de resistencia a compresión, tanto para el modelo de Nurse-Saul, como para el modelo de Arrhenius. Se elaboraron y curaron seis probetas cilíndricas en conformidad con la práctica ASTM C31/C31M-19 (práctica estándar para la fabricación y curado de probetas de concreto en el campo), el



mismo día que se insertaron los sensores de temperatura en obra, para ser ensayadas y determinar su resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días (dos probetas por edad), estas resistencias se comparan con las resistencias estimadas a partir de las relaciones Resistencia - Madurez patrón a las mismas edades, si la diferencia no excede constantemente el 10% de las resistencias medidas, se aceptará dichas relaciones Resistencia - Madurez, como lo menciona la especificación ASTM C1074-19.

3.3.5. Corroboración de datos

En razón al estado de emergencia que atravesaba nuestro país debido a la pandemia del Coronavirus 2019 (COVID-19), en la presente tesis no se pudo calibrar los módulos digitales (termómetros) en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), pero en vista de ser un procedimiento necesario para dar valor a los resultados, se realizó la calibración en el laboratorio LOJUSTO S.A.C. de la ciudad de Arequipa, para realizar una tanda de prueba, y de esta manera, corroborar los datos.

En consecuencia, se realizó una tanda de prueba la cual consistió en elaborar 10 probetas de concreto de 210 kg/cm² con la misma dosificación del diseño de mezclas establecido, de las cuales a 2 se les incrustará los sensores termopar tipo K, para registrar su historial térmico hasta la edad de 28 días y los 8 restantes para determinar su resistencia a la compresión a edades de 1, 7, 14 y 28 días (2 probetas por edad), mediante el ensayo estándar ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034. La condición de curado para esta corroboración de datos fue a temperatura constante de 23 ± 2 °C.

3.3.5.1 Registro de temperaturas de probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm² curadas a temperatura constante

Se evaluó en condición de temperatura constante de 23 \pm 2 °C, mediante una poza de curado y un controlador digital de temperatura industrial, de marca SR-1000 y serie ST012020, la cual el Laboratorio de Investigación y Ensayos de Materiales G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C. se encargó de la instalación. El certificado del equipo empleado se muestra en el Anexo 10.

El termómetro con serie 20110011 se usó para esta corroboración de datos. El procedimiento para la instalación de los sensores de temperatura tipo K en las probetas de concreto, es lo mismo anteriormente explicado.

Tabla 6

Módulo digital - probetas cilíndricas de concreto (corroboración)

Marca	Modelo	Número de serie	Sensores tipo K		
			Id	Descripción	Aplicación
ECC-Equipment	ECCE-20-1-1	2011001	C-3	Sensor de temperatura 3	Concreto
			C-5	Sensor de temperatura 5	Concreto
			C-2	Sensor de temperatura 2	Ambiente

Nota. El certificado de calibración se muestra en el Anexo 11. *Elaborado por el investigador.*

3.3.5.2. Madurez de probetas de concreto 210kg/cm² curadas a temperatura constante

Se determinó la madurez por medio del historial térmico de las dos probetas de concreto curadas a temperatura constante, mediante el modelo de Nurse-Saul y Arrhenius, teniendo en cuenta las consideraciones ya establecidas anteriormente. Con la diferencia únicamente respecto a la temperatura específica, resultando este valor $T_0 = 23$ °C para el respectivo cálculo.



3.3.5.3. Resistencia a la compresión estimadas de probetas de concreto de 210 kg/cm² curadas a temperatura constante

Una vez determinada la madurez por los modelos de Nurse-Saul y Arrhenius, se reemplazó en las Relaciones Resistencia-Madurez patrón determinadas anteriormente. De esta manera, se estimó las resistencias a la compresión.

3.3.5.4 Resistencia a la compresión de probetas de concreto 210 kg/cm² curadas a temperatura constante

Se determinó las resistencias a la compresión de las 8 probetas de concreto curadas a temperatura constante, a las edades de 1, 7, 14 y 28 días. (2 probetas por edad).

Finalmente, se evaluó la diferencia de los resultados de resistencias estimadas de probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante de 23 °C en promedio mediante las dos relaciones Resistencia-Madurez patrón (F.T.T. y E. Eq.) establecidas, con el promedio de los resultados de resistencia a la compresión de las ocho probetas restantes a las mismas edades de 1, 7, 14 y 28 días (dos probetas por edad). Si la diferencia no excede constantemente el 10% de las resistencias ensayadas, se considera aceptable las relaciones calculadas, como lo menciona la norma ASTM C1074-19. De esta manera se estaría corroborando tanto el método, como el registro de temperaturas realizadas.

Nota. El desarrollo del panel fotográfico se muestra en el Anexo 12.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Caracterización de los agregados

Contenido de humedad de los agregados. Se realizó el ensayo de contenido de humedad evaporable del agregado fino y grueso, siendo los resultados los siguientes:

Tabla 7

Contenido de humedad evaporable del agregado fino

Ítem	Descripción	Und.	R-33	R-X4
1	Masa del recipiente	g	94.65	90.68
2	Masa del recipiente + muestra húmeda	g	575.06	573.48
3	Masa del recipiente + muestra seca	g	559.54	558.19
4	Contenido de Humedad	%	3.3	3.3
	Promedio	%	3.3	

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Tabla 8

Contenido de humedad evaporable del agregado grueso

Ítem	Descripción	Und.	Claro	Oscuro
1	Masa del recipiente	g	89.65	91.23
2	Masa del recipiente + muestra húmeda	g	523.74	673.61
3	Masa del recipiente + muestra seca	g	512.75	655.74
4	Contenido de Humedad	%	2.6	3.2
	Promedio	%	2.9	

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Análisis granulométrico de los agregados. Se realizó el análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 9 y 10; y, en las Figuras 7 y 8, respectivamente.

Tabla 9

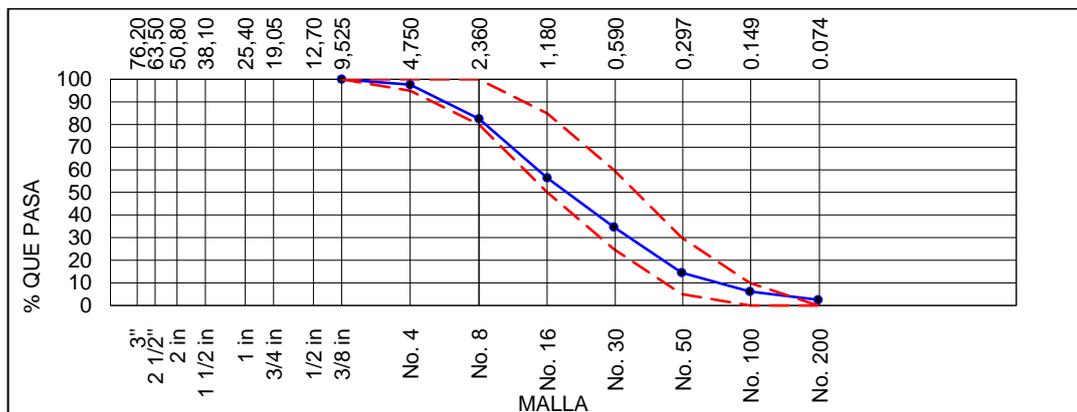
Granulometría del agregado fino

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasant.	Especificación	
						Mín.	Máx.
3/8"	9.53				100.00	100.00	100.00
Nº 4	4.75	15.4	2.30	2.30	97.70	95.00	100.00
Nº 8	2.36	101.5	15.17	17.47	82.53	80	100
Nº 16	1.18	174.6	26.09	43.57	56.43	50	85
Nº 30	0.60	145.7	21.77	65.34	34.66	25	60
Nº 50	0.30	134.5	20.10	85.44	14.56	5	30
Nº 100	0.15	56.0	8.37	93.81	6.19	0	10
Nº 200	0.08	24.6	3.67	97.48	2.52	0	0
Base		5.8	0.86	98.34	1.66		
Total		658.0	98.34				
% Pérdida		1.66					
						Módulo de Fineza	3.08
						% Grava	2.30
						% Arena	95.17
						% Finos	0.86

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Figura 7

Curva Granulométrica del agregado fino



Nota. La curva granulométrica del agregado fino cumplió en gran parte con la especificación “Arena Gruesa” de la ASTM C33/C33M-18. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).



Tabla 10

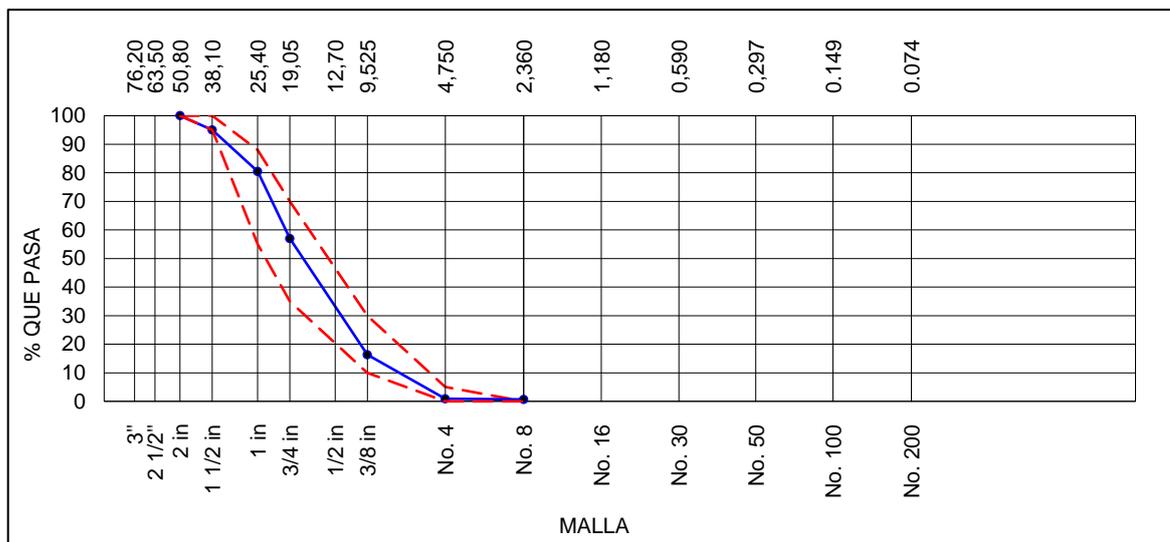
Granulometría del agregado grueso

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasant.	Especificación	
						Mín.	Máx.
2 1/2"	63.50						
2"	50.80				100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10	748.3	4.98	4.98	95.02	95	100
1"	25.40	2181.9	14.52	19.50	80.50	55.00	88.00
3/4"	19.05	3532.8	23.51	43.01	56.99	35.00	70.00
3/8"	9.53	6111.4	40.67	83.68	16.32	10.00	30.00
Nº 4	4.75	2315.6	15.41	99.09	0.91	0.00	5.00
Nº 8	2.36	35.5	0.24	99.33	0.67	0	0
Base	0	33.6	0.22	99.31	0.69		
Total		14959.2	15.87				
% Pérdida		0.45					
						Módulo de Fineza	7.30
						% Grava	99.09
						% Arena	0.24
						% Finos	0.22

Nota. De los resultados se puede ver que el Tamaño Máximo Nominal fue de 1 1/2". Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Figura 8

Curva Granulométrica del agregado grueso



Nota. La curva granulométrica del agregado grueso cumplió con la especificación "Huso 467" de la ASTM C33/C33M-18. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Densidad relativa y absorción de agregados finos. Los resultados obtenidos del ensayo se pueden mostrar en la siguiente tabla:

Tabla 11

Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino

Ítem	Datos de Ensayo / N° de Prueba	Und.	1	2	Promedio
A	Masa secada al horno (OD)	g	485.2	485.2	
B	Masa de picnómetro con agua hasta la marca	g	689.6	689.6	
C	Masa de picnómetro con agua + muestra ss	g	991.9	991.9	
S	Masa saturada con superficie seca (SSS)	g	500.0	500.0	
Densidad Relativa (Gravedad específica) (OD)		g/cm ³	2.45	2.45	2.45
Densidad Relativa (Gravedad específica) (SSD)		g/cm ³	2.53	2.53	2.53
Densidad Relativa aparente (Gravedad específica)		g/cm ³	2.65	2.65	2.65
Absorción		%	3.1	3.1	3.1

Nota. Para realizar el diseño de mezclas se usó la densidad relativa en condición saturada superficialmente seca (SSD). Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Densidad relativa y absorción de agregados gruesos. Los resultados obtenidos son:

Tabla 12

Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso

Ítem	Datos de Ensayo / N° de Prueba	Und.	E.N.	R-26	Promedio
A	Masa de la muestra seca en el horno	g	692.0	834.0	
B	Masa de la muestra al aire SSD	g	711.0	859.5	
C	Masa de la muestra sumergida	g	430.0	520.0	
Densidad Relativa (Gravedad específica OD)		g/cm ³	2.46	2.46	2.46
Densidad Relativa (Gravedad específica SSD)		g/cm ³	2.53	2.53	2.53
Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica)		g/cm ³	2.64	2.66	2.65
Absorción		%	2.74	3.06	2.90

Nota. Para realizar el diseño de mezclas se utilizó la densidad relativa en condición saturada, superficialmente seca (SSD). Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso. Los resultados obtenidos de los ensayos para cada tipo de agregado, se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 13

Densidad aparente suelta del agregado fino

Identificación	Und.	1	2	Promedio
Masa del molde	kg	2.476	2.521	
Volumen de molde	m ³	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra suelta	kg	13.953	14.012	
Masa de muestra suelta	kg	11.477	11.491	
Densidad Aparente Suelta	kg/cm ³	1627	1629	1628

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Tabla 14

Densidad aparente varillado del agregado fino

Identificación	Und.	1	2	Promedio
Masa del molde	Kg	2.476	2.476	
Volumen de molde	m ³	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra consolidada	Kg	15.313	15.214	
Masa de muestra consolidada	Kg	12.837	12.738	
Densidad Aparente Consolidada	Kg/cm ³	1819	1805	1812

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Tabla 15

Densidad aparente suelta del agregado grueso

Identificación	Und.	1	2	Promedio
Masa del molde	Kg	2.476	2.476	
Volumen de molde	m ³	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra suelta	Kg	13.631	13.519	
Masa de muestra suelta	Kg	11.155	11.043	
Densidad Aparente Suelta	Kg/m ³	1581	1565	1573

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

Tabla 16*Densidad aparente varillado del agregado grueso*

Identificación	Und.	1	2	Promedio
Masa del molde	Kg	2.476	2.476	
Volumen de molde	m ³	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra consolidada	Kg	14.222	14.289	
Masa de muestra consolidada	Kg	11.746	11.813	
Densidad Aparente Consolidada	Kg/m ³	1665	1674	1669

Nota. Tomada de los *Ensayos de Caracterización* (Anexo 13).

4.1.2. Diseño de Mezclas para el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Con los resultados obtenidos de los ensayos de caracterización de los materiales consignados en la Tabla 17, se procedió a realizar el diseño de mezcla correspondiente.

Tabla 17*Resumen de ensayos de caracterización de los agregados*

Descripción	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño Máximo	Pulg.	---	2"
Módulo de Fineza		3.08	---
Contenido de Humedad	%	3.3	2.9
Porcentaje de Absorción	%	3.1	2.9
Peso Específico	Kg/m ³	2528.83	2531.09
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1628	1573
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1812	1669

Nota. Elaborado por el investigador.

Las condiciones de diseño fueron las siguientes:

Tabla 18

Condiciones de diseño

Aglomerante	Cemento Portland Rumi Tipo IP	
Peso Específico	2780	Kg/m ³
Asentamiento (slump)	7.6 -10.2 (3 – 4)	cm. (pulg.)
Relación Agua - Cemento (Durabilidad)	0.45	
Resistencia a la compresión específica	210	Kg/cm ²

Nota. Elaborado por el investigador.

Tabla 19

Dosificación en peso

Descripción	Volumen absoluto	Pesos secos (kg/m ³)	Aporte de agua	Pesos corregidos (kg/m ³)	Pesos / bol. de cemento (kg/bol)	Proporción	Proporción (agregado global)
Cemento	0.1447	402.22		402.22	42.5	1.0	1.0
Agregado fino	0.2657	671.91	-1.37	694.11	73.3	1.7	4.3
Agregado grueso	0.3986	1008.89	0.19	1037.96	109.7	2.6	
Agua (lt)	0.1810	181.00		179.82	19.0	-	-
Aire	0.0100						

Nota. El diseño se realizó bajo las recomendaciones del ACI-211.1-91: *Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y en masa.* Elaborado por el investigador.

Tabla 20

Dosificación en volumen

Descripción	Cantidad de mat. (kg) / pie ³ de C°	Cantidad de mat. (kg) / bol. cem.	Proporción	Proporción (agregado global)
Cemento	11.39	42.5	1.0	1.0
Agregado fino	19.66	73.3	1.5	3.9
Agregado grueso	29.39	109.7	2.4	
Agua (lt)	5.09	19.0	-	-

Nota. El diseño se realizó bajo las recomendaciones del ACI-211.1-91: *Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y en masa.* Elaborado por el investigador.

En el Anexo 14 se muestra el certificado de diseño de mezclas del concreto 210 kg/cm².

4.1.3. Resistencia a la compresión de probetas de concreto

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión mediante el ensayo normalizado para muestras cilíndricas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 21

Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de concreto

Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad [día]	Diámetro [cm]	Área neta [cm ²]	Carga aplicada [kg-f]	Resistencia a la compresión	
							[kg/cm ²]	%
P-01	24/11/20	25/11/20	1	15.27	183.03	11635.19	63.57	30.27
P-02	24/11/20	25/11/20	1	15.09	178.85	10988.51	61.44	29.26
P-21	25/11/20	26/11/20	1	15.10	179.01	10584.71	59.13	28.16
P-22	25/11/20	26/11/20	1	15.07	178.44	10690.27	59.91	28.53
P-03	24/11/20	27/11/20	3	15.46	187.70	28230.55	150.40	71.62
P-04	24/11/20	27/11/20	3	15.56	190.24	29924.3	157.30	74.90
P-23	25/11/20	28/11/20	3	15.55	189.84	28320.03	149.18	71.04
P-24	25/11/20	28/11/20	3	15.40	186.21	26655.76	143.15	68.17
P-05	24/11/20	29/11/20	5	15.41	186.49	36235.18	194.30	92.52
P-06	24/11/20	29/11/20	5	15.56	190.10	35949.55	189.11	90.05
P-25	25/11/20	30/11/20	5	15.07	178.44	34297.72	192.21	91.53
P-26	25/11/20	30/11/20	5	15.04	177.64	32879.87	185.09	88.14
P-07	24/11/20	01/12/20	7	15.32	184.34	37961.73	205.93	98.06
P-08	24/11/20	01/12/20	7	15.27	183.14	38868.14	212.23	101.06
P-27	25/11/20	02/12/20	7	15.41	186.56	39001.10	209.05	99.55
P-28	25/11/20	02/12/20	7	15.59	190.97	39492.84	206.80	98.48
P-09	24/11/20	04/12/20	10	15.47	187.85	43776.28	233.04	110.97
P-10	24/11/20	04/12/20	10	15.02	177.26	39457.39	222.60	106.00
P-29	25/11/20	05/12/20	10	15.08	178.51	40182.56	225.10	107.19
P-30	25/11/20	05/12/20	10	15.30	183.96	41791.58	227.18	108.18
P-11	24/11/20	08/12/20	14	15.44	187.16	44690.33	238.78	113.70
P-12	24/11/20	08/12/20	14	15.47	187.99	45690.21	243.04	115.73
P-31	25/11/20	09/12/20	14	15.42	186.81	47082.66	252.03	120.01



Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad [día]	Diámetro [cm]	Área neta [cm ²]	Carga aplicada [kg-f]	Resistencia a la compresión	
							[kg/cm ²]	%
P-32	25/11/20	09/12/20	14	15.44	187.19	46073.94	246.13	117.20
P-13	24/11/20	12/12/20	18	15.07	178.34	40272.56	225.82	107.54
P-14	24/11/20	12/12/20	18	15.02	177.26	46271.14	261.04	124.30
P-33	25/11/20	13/12/20	18	15.42	186.86	49477.37	264.78	126.09
P-34	25/11/20	13/12/20	18	15.44	187.32	47617.46	254.20	121.05
P-15	24/11/20	15/12/20	21	15.36	185.36	51293.29	276.73	131.78
P-16	24/11/20	15/12/20	21	15.55	189.86	51908.38	273.40	130.19
P-35	25/11/20	16/12/20	21	15.44	187.20	49735.72	265.68	126.51
P-36	25/11/20	16/12/20	21	15.38	185.80	50209.94	270.24	128.69
P-17	24/11/20	18/12/20	24	15.56	190.24	52828.84	277.70	132.24
P-18	24/11/20	18/12/20	24	15.39	185.93	53932.19	290.06	138.12
P-37	25/11/20	19/12/20	24	15.45	187.38	52672.35	281.10	133.86
P-38	25/11/20	19/12/20	24	15.58	190.67	45781.60	240.11	114.34
P-19	24/11/20	22/12/20	28	15.47	187.89	52961.09	281.87	134.23
P-20	24/11/20	22/12/20	28	15.32	184.26	54304.70	294.71	140.34
P-39	25/11/20	23/12/20	28	15.45	187.41	56143.93	299.58	142.65
P-40	25/11/20	23/12/20	28	15.19	181.21	54391.93	300.16	142.93

Nota. Los certificados del ensayo de resistencia a la compresión se muestran en el Anexo 15.
Elaborado por el investigador.

Para la verificación de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión, se determinó el promedio por cada edad para calcular el intervalo de -10% y +10% del promedio, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 22

Verificación de los resultados de los ensayos de resistencias a la compresión

Código	Edad [día]	Resistencia a la compresión [kg/cm ²]	Promedio [kg/cm ²]	Verificación de los resultados	
				- 10 % Rprom	+ 10 % Rprom
P-01	1	63.57	61.01	[54.91	67.11]
P-02		61.44			
P-21		59.13			

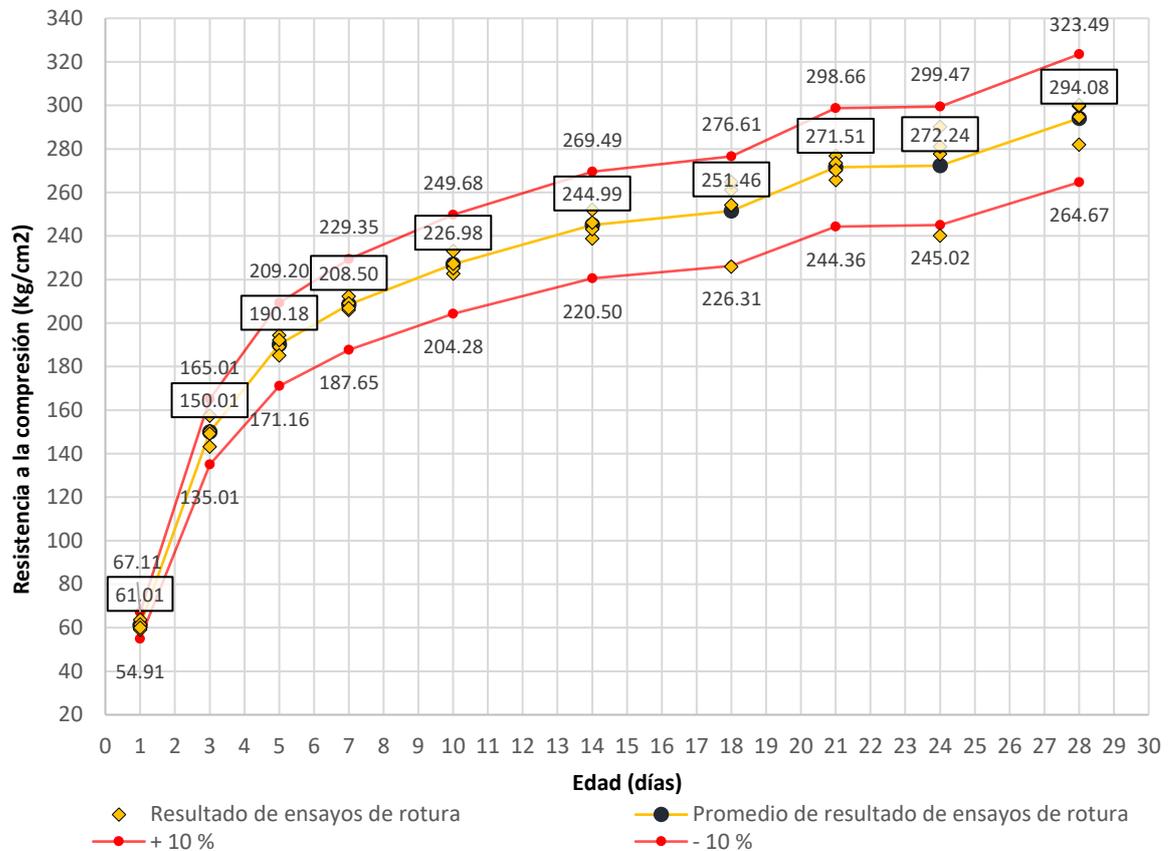


Código	Edad [día]	Resistencia a la compresión [kg/cm ²]	Promedio [kg/cm ²]	Verificación de los resultados	
				- 10 % Rprom	+ 10 % Rprom
P-22		59.91			
P-03		150.40			
P-04	3	157.30	150.01	[135.01	165.01]
P-23		149.18			
P-24		143.15			
P-05		194.30			
P-06	5	189.11	190.18	[171.16	209.20]
P-25		192.21			
P-26		185.09			
P-07		205.93			
P-08	7	212.23	208.50	[187.65	229.35]
P-27		209.05			
P-28		206.80			
P-09		233.04			
P-10	10	222.60	226.98	[204.28	249.68]
P-29		225.10			
P-30		227.18			
P-11		238.78			
P-12	14	243.04	244.99	[220.50	269.49]
P-31		252.03			
P-32		246.13			
P-13		225.82			
P-14	18	261.04	252.67	[227.40	277.93]
P-33		269.61			
P-34		254.20			
P-15		276.73			
P-16	21	273.40	271.51	[244.36	298.66]
P-35		265.68			
P-36		270.24			
P-17		277.70			
P-18	24	290.06	274.45	[247.01	301.90]
P-37		289.94			
P-38		240.11			
P-19		281.87			
P-20	28	294.71	294.08	[264.67	323.49]
P-39		299.58			
P-40		300.16			

Nota. La verificación se hizo acorde a la normativa ASTM C1074-19. *Elaborado por el investigador.*

Figura 9

Verificación - curva de las resistencias a la compresión de probetas



Nota. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Como se puede observar en la Tabla 22 y Figura 9, los resultados de resistencia a la compresión se encuentran dentro del intervalo permisible indicado por la norma ASTM C1074-19, excepto las probetas P-13 y P-38 correspondientes a las edades 18 y 24 días respectivamente, las cuales se encuentran por debajo del intervalo, por lo que se procedió a eliminar dichos resultados, quedando de esta forma los resultados finales de resistencia a la compresión por edades que son los mostrados en la Tabla 23 y en la Figura 10, con cuyos promedios se hicieron los cálculos de madurez.

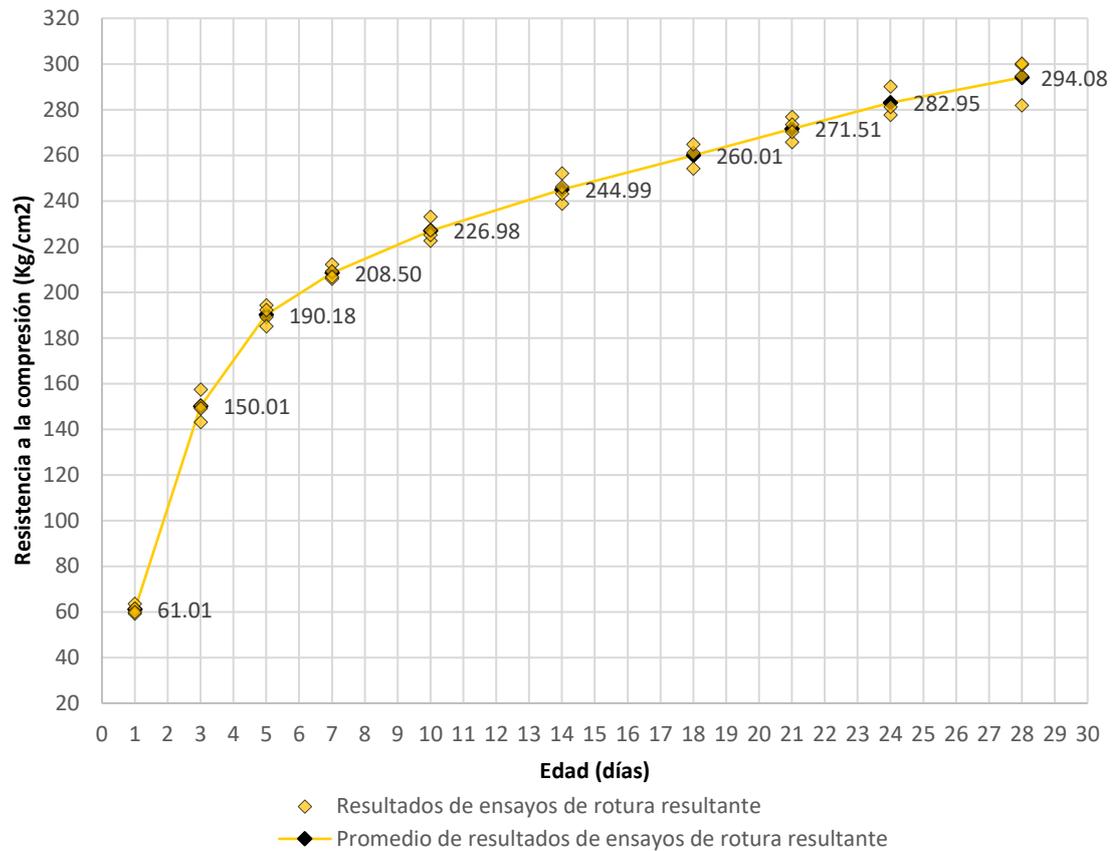
Tabla 23*Promedios de las resistencias a la compresión resultantes*

Código	Edad [día]	Resistencia a la compresión [kg/cm²]	Promedio [kg/cm²]
P-01	1	63.57	61.01
P-02			
P-21			
P-22			
P-03	3	150.4	150.01
P-04			
P-23			
P-24			
P-05	5	194.3	190.18
P-06			
P-25			
P-26			
P-07	7	205.93	208.50
P-08			
P-27			
P-28			
P-09	10	233.04	226.98
P-10			
P-29			
P-30			
P-11	14	238.78	244.99
P-12			
P-31			
P-32			
P-14	18	261.04	260.01
P-33			
P-34			
P-15			
P-16	21	276.73	271.51
P-35			
P-36			
P-17			
P-18	24	277.7	282.95
P-18			
P-37			
P-19	28	281.87	294.08
P-20			
P-39			
P-40			

Nota. Elaborado por el investigador.

Figura 10

Curva de las resistencias a la compresión de probetas resultante



Nota. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

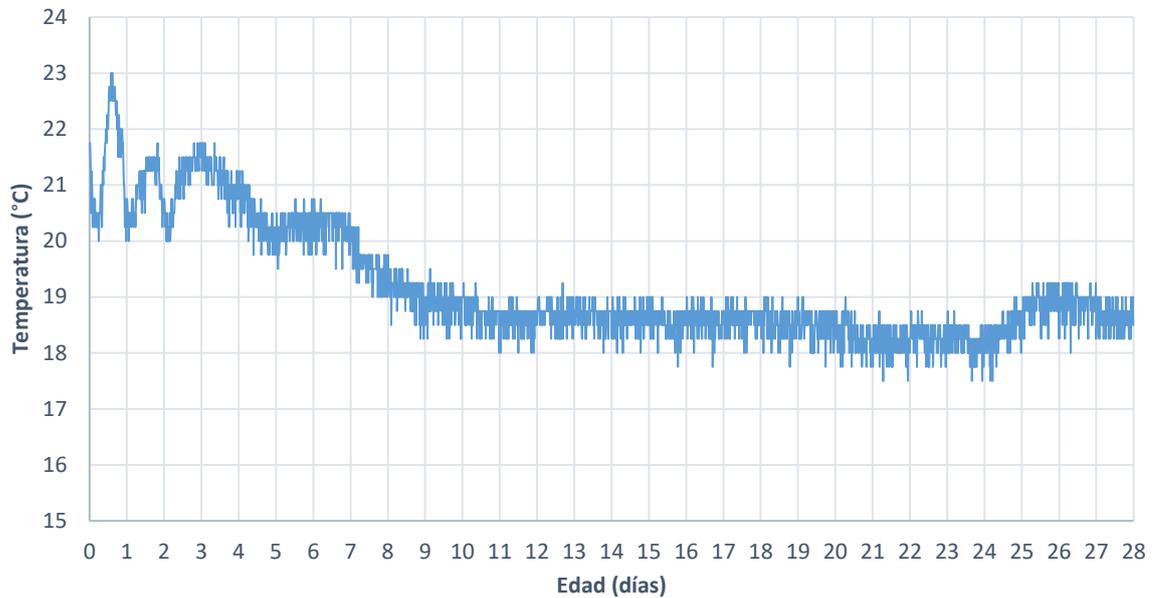
4.1.4. Registros de temperaturas

Resultados de las temperaturas del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas.

Se obtuvo un total de 2689 unidades de lectura por cada sensor, los historiales de temperaturas de las probetas cilíndricas de concreto y ambiente, se detallan a continuación:

Figura 11

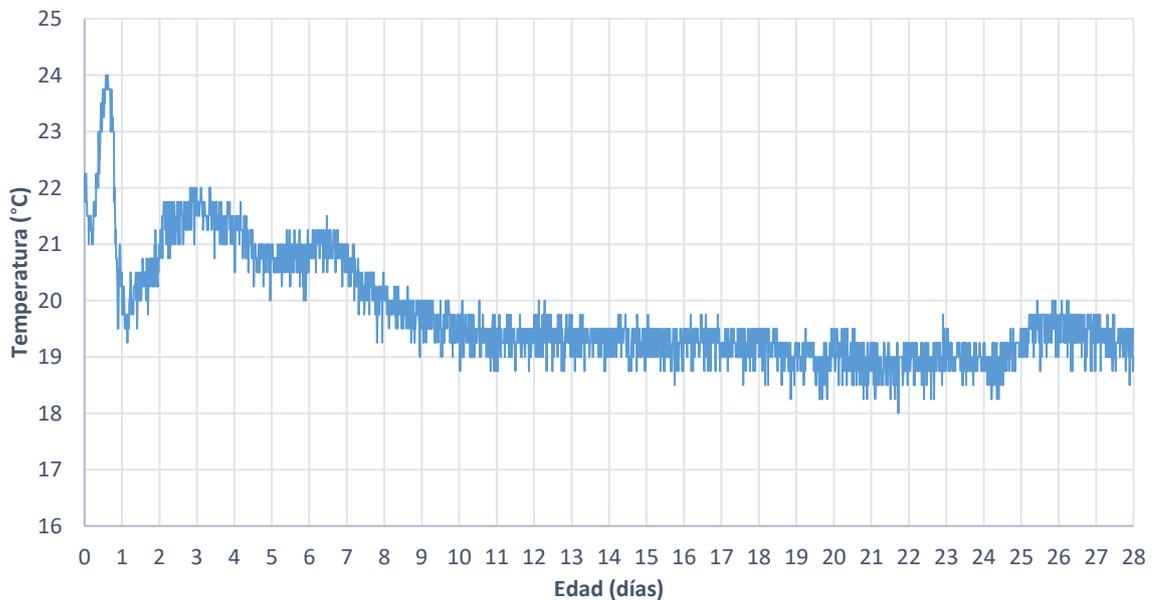
Historial de temperatura de M-1



Nota. M-1 es el sensor de temperatura 1 para probeta cilíndrica de concreto. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 12

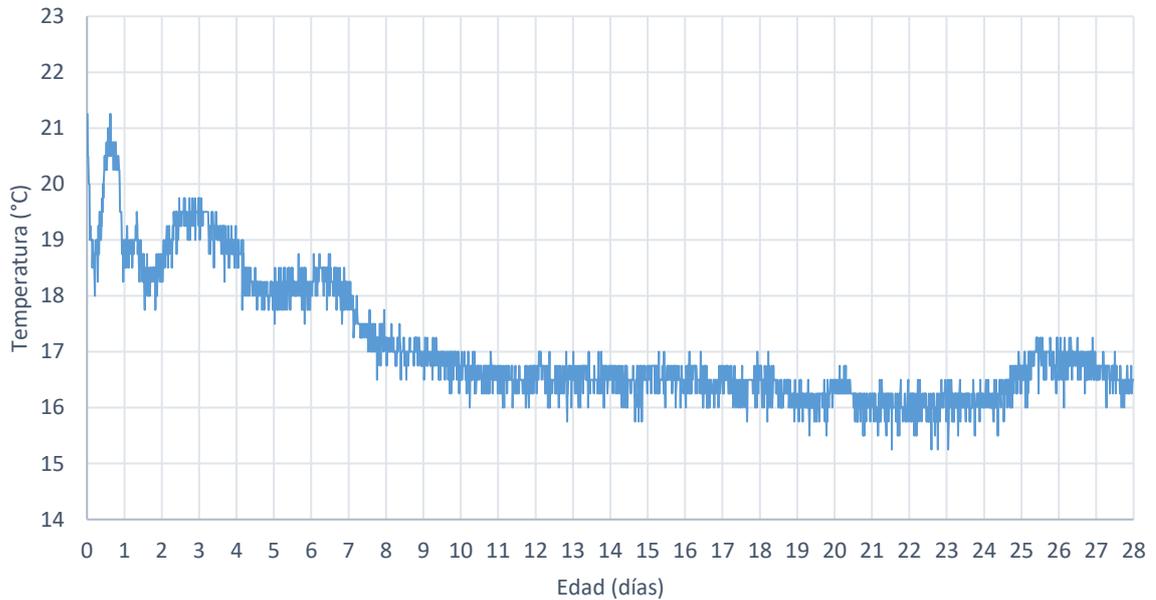
Historial de temperatura de M-2



Nota. M-2 es el sensor de temperatura 2 para probeta cilíndrica de concreto. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 13

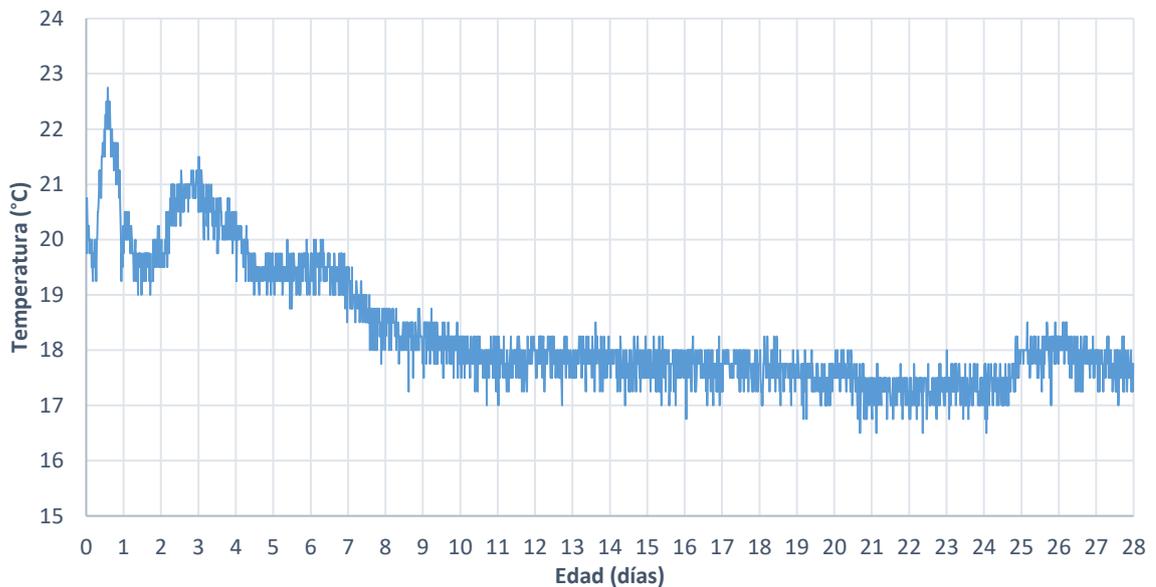
Historial de temperatura de M-3



Nota. M-3 es el sensor de temperatura 3 para probeta cilíndrica de concreto. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 14

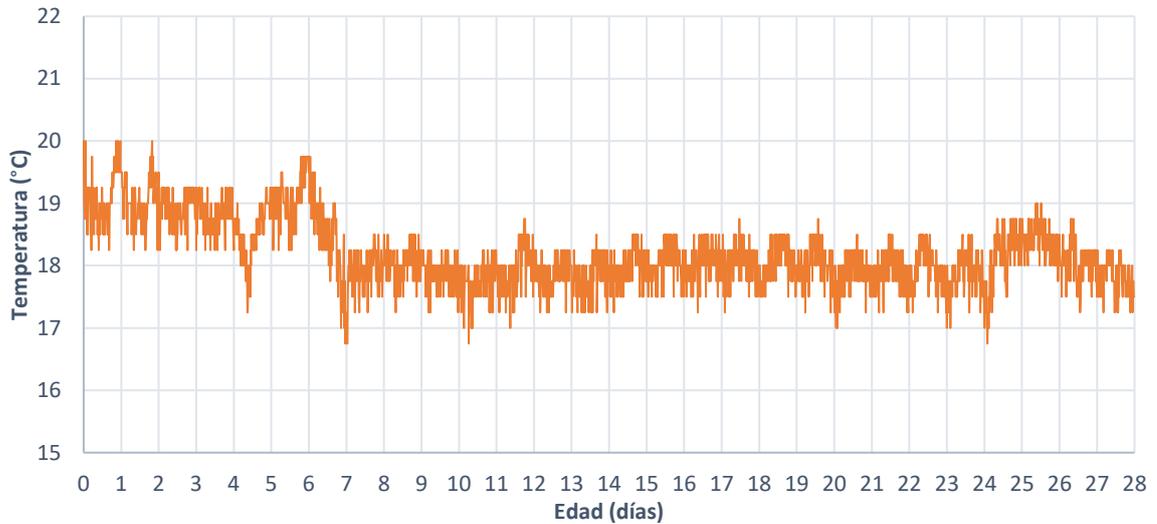
Historial de temperatura de M-4



Nota. M-4 es el sensor de temperatura 4 para probeta cilíndrica de concreto. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 15

Historial de temperatura de M-5



Nota. M-5 es el sensor de temperatura 5 para ambiente de las probetas cilíndricas de concreto. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

En la Tabla 24 se muestran la estadística descriptiva del promedio de los cuatro sensores de temperaturas de concreto y de la temperatura ambiente en probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm², registrados hasta la edad de 28 días.

Tabla 24

Estadística descriptiva de las temperaturas en probetas cilíndricas de concreto

Descripción	Promedio de Temperaturas - Concreto	Ambiente
Media	18.58	17.69
Mínimo	17.25	16.25
Máximo	22.50	19.50
Rango	5.25	3.25
Desviación estándar	1.03	0.54
Varianza de la muestra	1.06	0.29
Cuenta	2689	2689

Nota. El cálculo se realizó mediante el software IBM SPSS Statistics. *Elaborado por el investigador.*

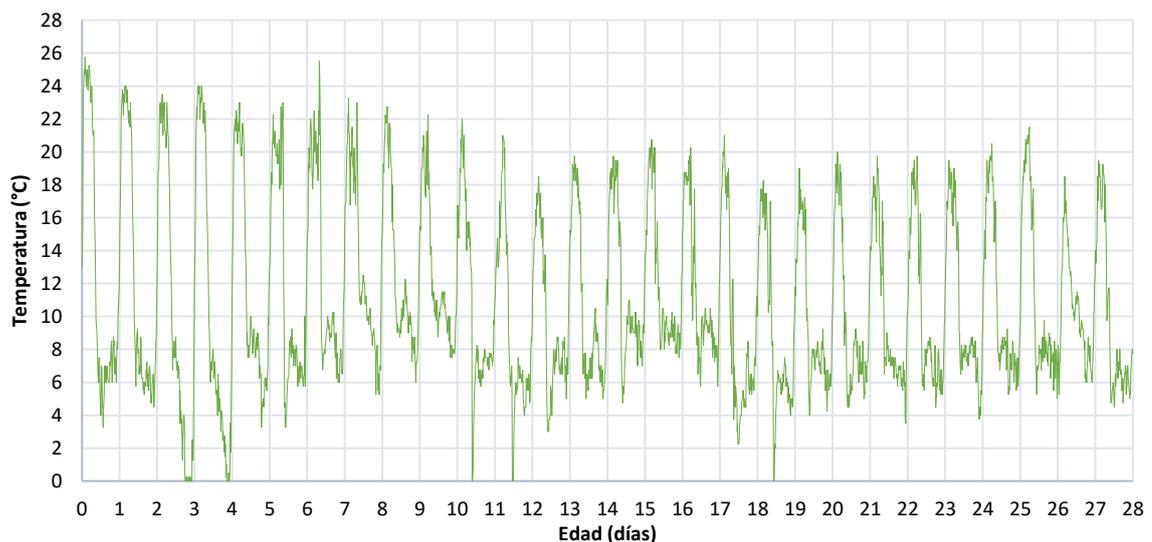
El análisis se realizó a 2689 unidades de lectura para cada caso en probetas cilíndricas de concreto curado a temperatura ambiente. Se obtuvo las medias aritméticas de 18.95 °C para las temperaturas promedio de concreto y 17.69 °C para las temperaturas ambiente, resultando mayor el promedio de concreto en 0.89 °C. La desviación estándar de las temperaturas promedio de concreto fue 1.03 °C y la desviación estándar de las temperaturas ambiente fue 0.54 °C con respecto a sus medias, resultando valores de dispersión mínimas de los datos.

Resultados de las temperaturas del concreto 210 kg/cm² en obra

De igual manera, se obtuvo un total de 2689 unidades de lectura por cada sensor, los historiales de temperaturas del concreto de los cuatro sensores y temperatura ambiente se dan a continuación:

Figura 16

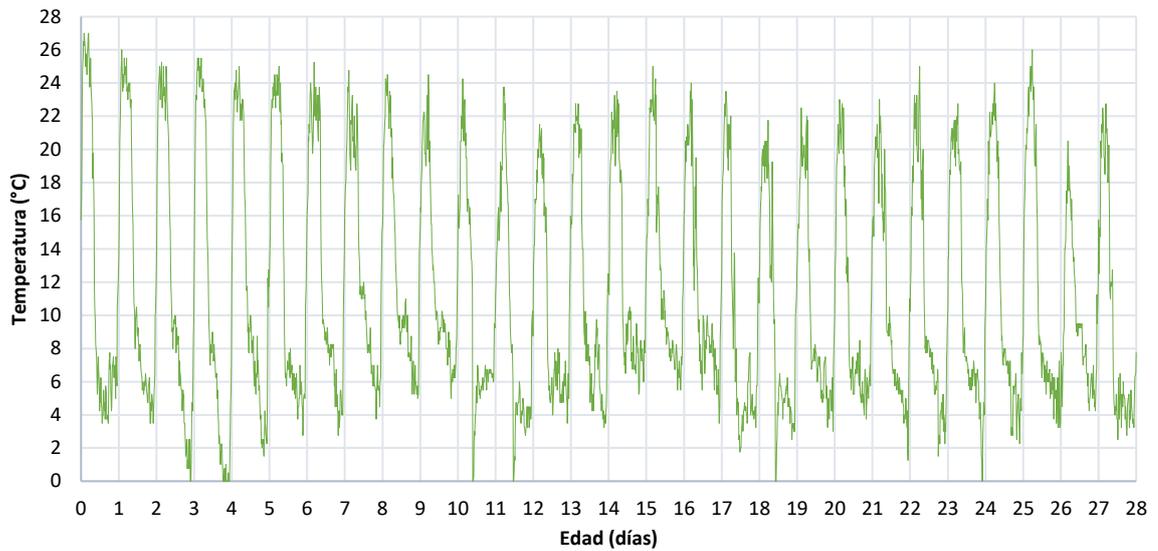
Historial de temperatura de R-1



Nota. R-1 es el sensor de temperatura 1 para el concreto vaciado en obra. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 17

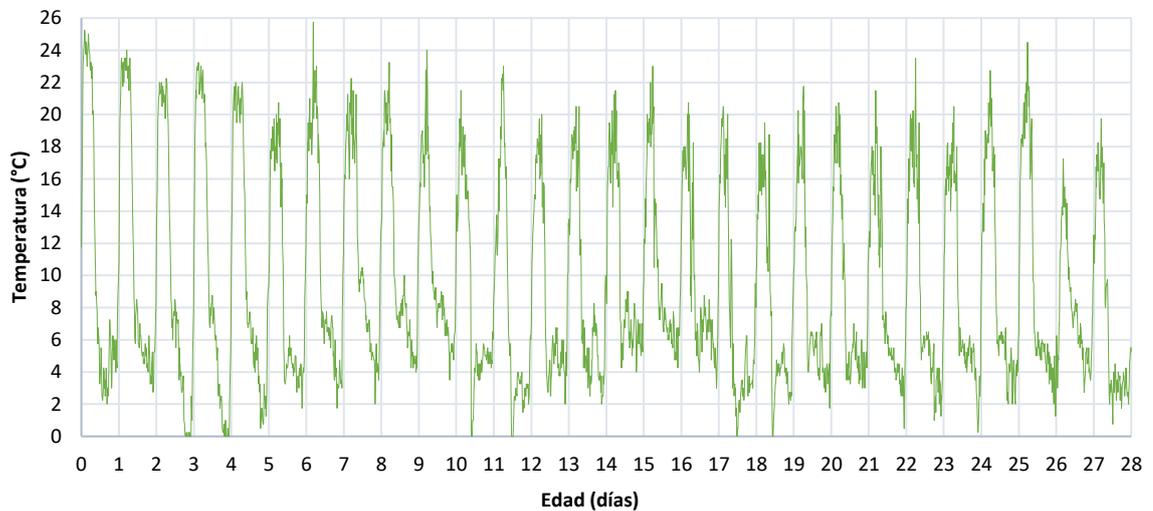
Historial de temperatura de R-2



Nota. R-2 es el sensor de temperatura 2 para el concreto vaciado en obra. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 18

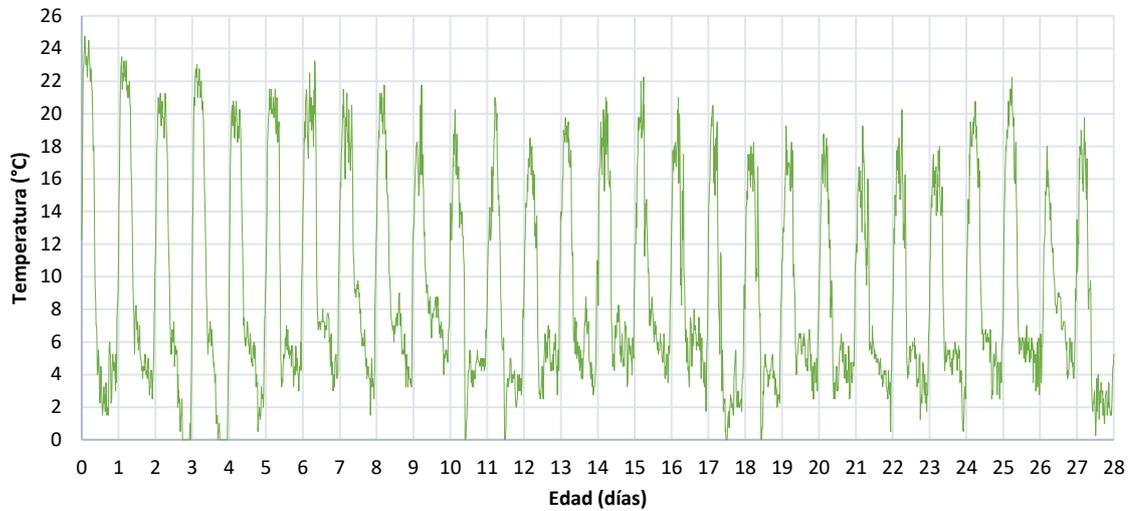
Historial de temperatura de R-3



Nota. R-3 es el sensor de temperatura 3 para el concreto vaciado en obra. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 19

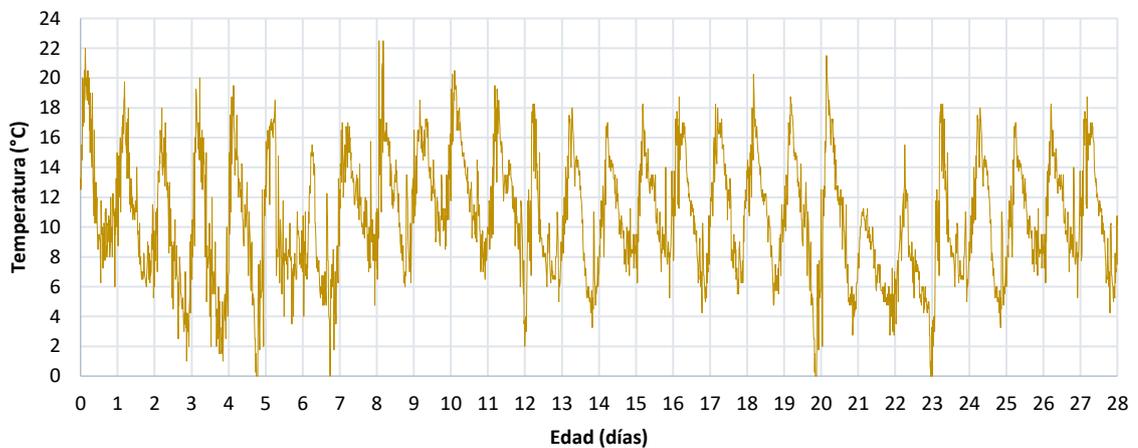
Historial de temperatura de R-4



Nota. R-4 es el sensor de temperatura 4 para el concreto vaciado en obra. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 20

Historial de temperatura de R-5



Nota. R-5 es el sensor de temperatura 5 para el ambiente en obra. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

En la Tabla 25 se muestra el cálculo realizado de la estadística descriptiva del promedio de los cuatro sensores de temperatura para concreto y el sensor de temperatura para el ambiente del concreto vaciado en obra registradas hasta la edad de 28 días.

Tabla 25*Estadística descriptiva de las temperaturas en obra*

Descripción	Promedio de temperaturas - Concreto	Ambiente
Media	10.28	10.59
Mínimo	0.00	0.00
Máximo	25.69	22.50
Rango	25.69	22.50
Desviación estándar	6.25	4.03
Varianza de la muestra	39.09	16.27
Cuenta	2689	2689

Nota. El cálculo fue realizado mediante el software IBM SPSS Statistics. *Elaborado por el investigador.*

El análisis se realizó a 2689 unidades de lectura para cada caso en condiciones de obra. Se obtuvo las medias aritméticas de 10.28 °C para las temperaturas promedio de concreto y 10.59 °C para las temperaturas ambiente, resultando mínimamente mayor las temperaturas ambientes por 0.31 °C. La desviación estándar de las temperaturas promedio de concreto fue 6.25 °C y la desviación estándar de las temperaturas ambiente fue 4.03 °C con respecto a sus medias, resultando con mayor dispersión las temperaturas promedio de concreto, estos valores de dispersión corresponden a los cambios bruscos de temperatura que se dio durante todo el día en obra.

Comparación entre las temperaturas del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y el concreto vaciado en obra

En la Tabla 26 se muestra el cálculo realizado de la estadística descriptiva del promedio de los cuatro sensores de temperaturas en probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura ambiente y de los cuatro sensores de temperatura en el concreto vaciado en obra, registrados hasta la edad de 28 días.

Tabla 26

Estadística descriptiva de las temperaturas promedio del concreto en probetas cilíndricas y en obra

Descripción	Promedio de temperaturas – probetas cilíndricas de concreto	Promedio temperaturas - concreto vaciado en obra
Media	18.58	10.28
Mínimo	17.25	0.00
Máximo	22.50	25.69
Rango	5.25	25.69
Desviación estándar	1.03	6.25
Varianza de la muestra	1.06	39.09
Cuenta	2689.00	2689.00

Nota. El cálculo fue realizado mediante el software IBM SPSS Statistics. *Elaborado por el investigador.*

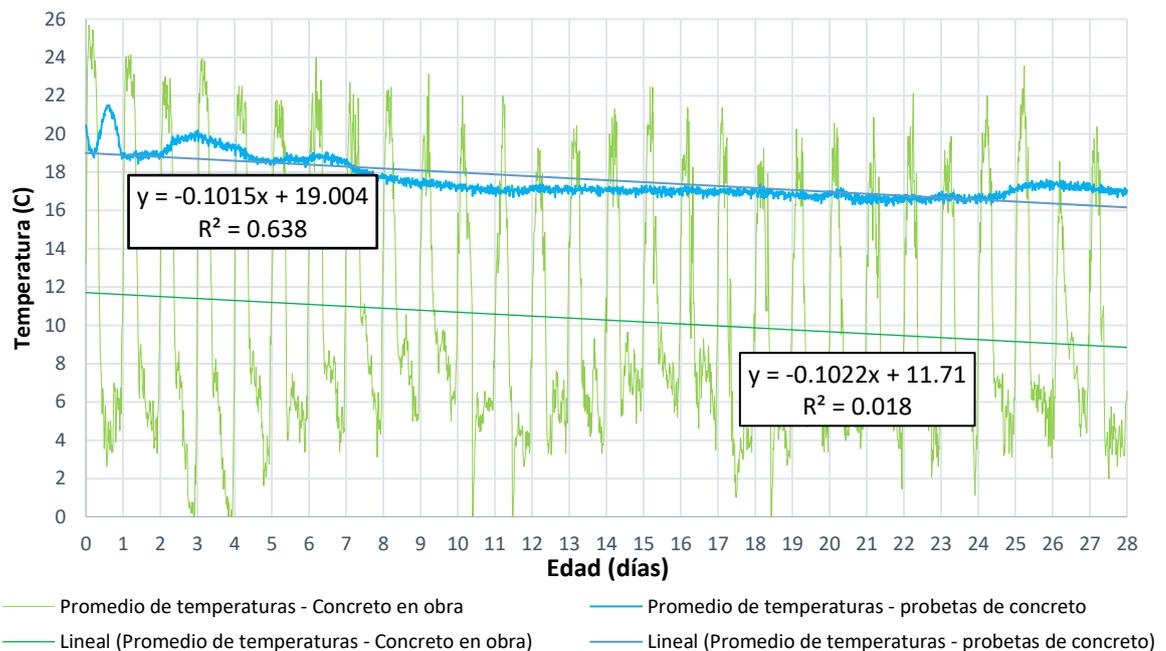
Se obtuvo las medias aritméticas de 18.58 °C para las temperaturas promedio de probetas cilíndricas de concreto y 10.28 °C para las temperaturas promedio del concreto en obra, resultando mayor las temperaturas promedio de concreto en probetas cilíndricas por 8.30 °C. La desviación estándar de las temperaturas promedio de probetas cilíndricas fue 1.03 °C y la desviación estándar de las temperaturas promedio del concreto en obra fue 6.25 °C con respecto a sus medias, resultando con mayor dispersión las temperaturas promedio de concreto en obra, debido a los cambios bruscos de temperatura que se dio durante los días en obra. Se obtuvo el valor mínimo de 17.25 °C, el máximo de 22.50 °C y el rango de 5.25 °C para las temperaturas promedio de probetas cilíndricas; y, el valor mínimo de 0.00 °C, el máximo de 25.69 °C y el rango de 25.69 °C para las temperaturas promedio de concreto en obra; resultando similares valores máximos, diferenciándose en 3.19 °C; sin embargo, diferentes valores mínimos y de rango, debido a la dispersión de los datos.

En la Figura 21, se muestran las líneas de tendencia de los promedios de temperaturas de probetas cilíndricas de concreto y del concreto en obra hasta la edad de

28 días. El coeficiente de determinación r cuadrado de las temperaturas promedio de probetas de concreto fue de 0.638 el cual representa un ajuste del modelo a la variable de temperatura regular, esto se debe a que los valores de temperaturas tienen un comportamiento en su mayoría constante, en cambio, el coeficiente de determinación en obra fue de 0.018, los cuales representa un ajuste del modelo a la variable de temperatura deficiente, esto se debe a que los valores de temperaturas tienen un comportamiento variable a lo largo de los días.

Figura 21

Comparación de los promedios de temperaturas



Nota. Se muestra los promedios de temperaturas de las probetas cilíndricas de concreto y el concreto vaciado en obra. La gráfica y las ecuaciones se determinaron mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

De la Figura 21 se puede observar que el historial de temperatura del promedio de probetas cilíndricas de concreto y el concreto vaciado en obra logran su máximo valor en el primer día, con valores de 22.5 °C y 25.69 °C, después de eso el comportamiento térmico tiende a descender. También se pudo observar que las temperaturas promedio de

concreto en obra alcanzó mínimos valores de 0 grados durante las edades de 2, 3, 10, 11 y 18 días, esto debido a las características heladas que se presentó en la región de Puno durante los meses de mayo y junio – 2021.

4.1.5. Madurez de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra

El cálculo de la madurez o índice de madurez del concreto se realizó de acuerdo a la norma ASTM C1074-19 teniendo en cuenta las consideraciones que fueron descritas en el capítulo anterior, tanto para las probetas cilíndricas de concreto como para el concreto vaciado en obra.

Madurez de probetas cilíndricas de concreto según el modelo de Nurse-Saúl. La siguiente tabla muestra los cálculos y resultados realizados para el modelo de Nurse-Saúl.

Tabla 27

Cálculo de la madurez en probetas cilíndricas según el modelo de Nurse-Saúl.

Edad		Temperatura M - 1	Δt	Temperatura promedio en Δt	F.T.T. parcial	F.T.T. acumulado
(horas)	(días)	(°C)	(días)	(°C)	(°C - días)	(°C - días)
0.00	0.00	21.75	-	-	-	0.00
0.25	0.01	21.75	0.0104	21.75	0.23	0.23
0.50	0.02	21.50	0.0104	21.63	0.23	0.45
0.75	0.03	21.25	0.0104	21.38	0.22	0.67
1.00	0.04	20.50	0.0104	20.88	0.22	0.89
1.25	0.05	21.25	0.0104	20.88	0.22	1.11
1.50	0.06	21.00	0.0104	21.13	0.22	1.33
1.75	0.07	20.75	0.0104	20.88	0.22	1.55
2.00	0.08	20.25	0.0104	20.50	0.21	1.76
2.25	0.09	20.75	0.0104	20.50	0.21	1.97
2.50	0.10	20.75	0.0104	20.75	0.22	2.19
2.75	0.11	20.75	0.0104	20.75	0.22	2.41
3.00	0.13	20.25	0.0104	20.50	0.21	2.62
3.25	0.14	20.25	0.0104	20.25	0.21	2.83
3.50	0.15	20.75	0.0104	20.50	0.21	3.04
3.75	0.16	20.50	0.0104	20.63	0.21	3.26
4.00	0.17	20.25	0.0104	20.38	0.21	3.47
4.25	0.18	20.50	0.0104	20.38	0.21	3.68

Edad		Temperatura M - 1	Δt	Temperatura promedio en Δt	F.T.T. parcial	F.T.T. acumulado
(horas)	(días)	(°C)	(días)	(°C)	(°C – días)	(°C – días)
4.50	0.19	20.25	0.0104	20.38	0.21	3.90
4.75	0.20	20.50	0.0104	20.38	0.21	4.11
5.00	0.21	20.25	0.0104	20.38	0.21	4.32
5.25	0.22	20.25	0.0104	20.25	0.21	4.53
5.50	0.23	20.50	0.0104	20.38	0.21	4.74
5.75	0.24	20.25	0.0104	20.38	0.21	4.96
6.00	0.25	20.00	0.0104	20.13	0.21	5.17

Nota. M-1 es el sensor de temperatura 1 para probetas cilíndricas de concreto, Δt es el intervalo de tiempo y F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo. *Elaborado por el investigador.*

La sexta columna representa el Factor Temperatura Tiempo parcial para los intervalos de tiempo, que es igual al producto de la cuarta columna por la quinta columna, debido a que, se asumió la temperatura de referencia $T_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. La suma de los Factores Temperatura Tiempo parcial es el Factor Temperatura Tiempo acumulado, séptima columna. Estos valores indican que la muestra M-1, a la edad 0.25 días (seis horas) tiene un Factor Temperatura Tiempo acumulado de 5.17 °C–días. Siendo de esta forma que se calculó el F.T.T. para cada edad en interés en las cuatro probetas cilíndricas de concreto.

En la Tabla 28 se muestra el resumen de dichos cálculos de madurez para cada una de las muestras.

Tabla 28

Resultados de madurez en probetas cilíndricas según el modelo de Nurse–Saúl

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	F.T.T. parcial (°C – días)	F.T.T. acumulado (°C – días)
M-1	24/11/2020	25/11/2020	1	21.48	21.48
M-1	24/11/2020	27/11/2020	3	41.98	63.46
M-1	24/11/2020	29/11/2020	5	41.54	105.01
M-1	24/11/2020	1/12/2020	7	40.53	145.54
M-1	24/11/2020	4/12/2020	10	57.57	203.12
M-1	24/11/2020	8/12/2020	14	74.64	277.75
M-1	24/11/2020	12/12/2020	18	74.39	352.14
M-1	24/11/2020	15/12/2020	21	55.33	407.47



Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	F.T.T. parcial (°C – días)	F.T.T. acumulado (°C – días)
M-1	24/11/2020	18/12/2020	24	54.68	462.15
M-1	24/11/2020	22/12/2020	28	74.79	536.95
M-2	24/11/2020	25/11/2020	1	22.16	22.16
M-2	24/11/2020	27/11/2020	3	41.69	63.85
M-2	24/11/2020	29/11/2020	5	42.45	106.30
M-2	24/11/2020	1/12/2020	7	41.69	147.98
M-2	24/11/2020	4/12/2020	10	59.70	207.69
M-2	24/11/2020	8/12/2020	14	77.39	285.08
M-2	24/11/2020	12/12/2020	18	76.98	362.06
M-2	24/11/2020	15/12/2020	21	57.07	419.12
M-2	24/11/2020	18/12/2020	24	56.77	475.89
M-2	24/11/2020	22/12/2020	28	77.25	553.15
M-3	24/11/2020	25/11/2020	1	19.79	19.79
M-3	24/11/2020	27/11/2020	3	37.82	57.61
M-3	24/11/2020	29/11/2020	5	37.40	95.01
M-3	24/11/2020	1/12/2020	7	36.40	131.41
M-3	24/11/2020	4/12/2020	10	51.30	182.71
M-3	24/11/2020	8/12/2020	14	66.13	248.85
M-3	24/11/2020	12/12/2020	18	65.90	314.74
M-3	24/11/2020	15/12/2020	21	48.65	363.39
M-3	24/11/2020	18/12/2020	24	48.14	411.54
M-3	24/11/2020	22/12/2020	28	66.51	478.05
M-4	24/11/2020	25/11/2020	1	20.92	20.92
M-4	24/11/2020	27/11/2020	3	40.35	61.27
M-4	24/11/2020	29/11/2020	5	40.10	101.37
M-4	24/11/2020	1/12/2020	7	38.84	140.21
M-4	24/11/2020	4/12/2020	10	55.10	195.31
M-4	24/11/2020	8/12/2020	14	71.37	266.68
M-4	24/11/2020	12/12/2020	18	70.90	337.58
M-4	24/11/2020	15/12/2020	21	52.62	390.20
M-4	24/11/2020	18/12/2020	24	51.87	442.08
M-4	24/11/2020	22/12/2020	28	71.10	513.17

Nota. M-1, M-2, M-3 y M-4 son los sensores de temperatura 1, 2, 3 y 4 para las probetas cilíndricas de concreto. *Elaborado por el investigador.*

Madurez de probetas cilíndricas de concreto según el modelo de Arrhenius. La siguiente tabla muestra los cálculos y resultados realizados para el modelo de Arrhenius.

Tabla 29

Cálculo de la madurez en probetas cilíndricas según el Modelo de Arrhenius

Edad		Temperatura M-1	Δt	Temperatura promedio en Δt	Factor Edad	E. Eq. parcial	E. Eq. acumulado
(horas)	(días)	(K)	(días)	(K)		(días)	(días)
0.00	0.00	294.90	-	-	-	-	0.000
0.25	0.01	294.90	0.0104	294.90	1.17	0.012	0.012
0.50	0.02	294.65	0.0104	294.78	1.16	0.012	0.024
0.75	0.03	294.40	0.0104	294.53	1.15	0.012	0.036
1.00	0.04	293.65	0.0104	294.03	1.12	0.012	0.048
1.25	0.05	294.40	0.0104	294.03	1.12	0.012	0.060
1.50	0.06	294.15	0.0104	294.28	1.13	0.012	0.071
1.75	0.07	293.90	0.0104	294.03	1.12	0.012	0.083
2.00	0.08	293.40	0.0104	293.65	1.10	0.011	0.095
2.25	0.09	293.90	0.0104	293.65	1.10	0.011	0.106
2.50	0.10	293.90	0.0104	293.90	1.11	0.012	0.118
2.75	0.11	293.90	0.0104	293.90	1.11	0.012	0.129
3.00	0.13	293.40	0.0104	293.65	1.10	0.011	0.141
3.25	0.14	293.40	0.0104	293.40	1.09	0.011	0.152
3.50	0.15	293.90	0.0104	293.65	1.10	0.011	0.163
3.75	0.16	293.65	0.0104	293.78	1.11	0.012	0.175
4.00	0.17	293.40	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.186
4.25	0.18	293.65	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.198
4.50	0.19	293.40	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.209
4.75	0.20	293.65	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.220
5.00	0.21	293.40	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.232
5.25	0.22	293.40	0.0104	293.40	1.09	0.011	0.243
5.50	0.23	293.65	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.255
5.75	0.24	293.40	0.0104	293.53	1.09	0.011	0.266
6.00	0.25	293.15	0.0104	293.28	1.08	0.011	0.277

Nota. M-1 es el sensor de temperatura 1 para concreto (en grados Kelvin), Δt es el intervalo de tiempo y E. Eq. es la Edad Equivalente. *Elaborado por el investigador.*

La sexta columna calcula los valores de la parte exponencial de la función de Arrhenius, bajo el título Factor de Edad. La séptima columna representa las Edades Equivalentes parciales para cada intervalo de tiempo. La suma de las Edades Equivalentes parciales es igual a la Edad Equivalente acumulada que se presenta en la octava columna. Estos valores indican que la muestra M-1, a la edad 0.25 días (seis horas) tiene una Edad

Equivalente acumulado igual a 0.277 días. Siendo de esta forma que se calculó la E. Eq. para cada edad en interés en las cuatro probetas cilíndricas de concreto.

En la Tabla 30 se muestra el resumen de dichos cálculos de madurez para cada una de las muestras.

Tabla 30

Resultados de madurez en probetas cilíndricas según el Modelo de Arrhenius

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulado (días)
M-1	24/11/2020	25/11/2020	1	1.130	1.130
M-1	24/11/2020	27/11/2020	3	2.205	3.335
M-1	24/11/2020	29/11/2020	5	2.182	5.517
M-1	24/11/2020	1/12/2020	7	2.128	7.645
M-1	24/11/2020	4/12/2020	10	3.029	10.674
M-1	24/11/2020	8/12/2020	14	3.933	14.607
M-1	24/11/2020	12/12/2020	18	3.921	18.529
M-1	24/11/2020	15/12/2020	21	2.919	21.448
M-1	24/11/2020	18/12/2020	24	2.888	24.335
M-1	24/11/2020	22/12/2020	28	3.941	28.277
M-2	24/11/2020	25/11/2020	1	1.168	1.168
M-2	24/11/2020	27/11/2020	3	2.190	3.358
M-2	24/11/2020	29/11/2020	5	2.230	5.588
M-2	24/11/2020	1/12/2020	7	2.189	7.777
M-2	24/11/2020	4/12/2020	10	3.136	10.914
M-2	24/11/2020	8/12/2020	14	4.069	14.983
M-2	24/11/2020	12/12/2020	18	4.049	19.031
M-2	24/11/2020	15/12/2020	21	3.003	22.035
M-2	24/11/2020	18/12/2020	24	2.989	25.024
M-2	24/11/2020	22/12/2020	28	4.063	29.086
M-3	24/11/2020	25/11/2020	1	1.041	1.041
M-3	24/11/2020	27/11/2020	3	1.991	3.032
M-3	24/11/2020	29/11/2020	5	1.971	5.003
M-3	24/11/2020	1/12/2020	7	1.923	6.926
M-3	24/11/2020	4/12/2020	10	2.731	9.656
M-3	24/11/2020	8/12/2020	14	3.539	13.195
M-3	24/11/2020	12/12/2020	18	3.528	16.723
M-3	24/11/2020	15/12/2020	21	2.612	19.335
M-3	24/11/2020	18/12/2020	24	2.590	21.925
M-3	24/11/2020	22/12/2020	28	3.556	25.481
M-4	24/11/2020	25/11/2020	1	1.099	1.099
M-4	24/11/2020	27/11/2020	3	2.120	3.219
M-4	24/11/2020	29/11/2020	5	2.106	5.325

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulado (días)
M-4	24/11/2020	1/12/2020	7	2.042	7.367
M-4	24/11/2020	4/12/2020	10	2.908	10.275
M-4	24/11/2020	8/12/2020	14	3.778	14.053
M-4	24/11/2020	12/12/2020	18	3.755	17.808
M-4	24/11/2020	15/12/2020	21	2.791	20.599
M-4	24/11/2020	18/12/2020	24	2.756	23.356
M-4	24/11/2020	22/12/2020	28	3.765	27.121

Nota. M-1, M-2, M-3 y M-4 son los sensores de temperatura 1, 2, 3 y 4 para las probetas cilíndricas de concreto. *Elaborado por el investigador.*

Madurez del concreto en obra según el modelo de Nurse-Saúl. La siguiente tabla muestra los cálculos y resultados realizados para el modelo de Nurse-Saúl, del concreto de 210 kg/cm² vaciado en obra.

Tabla 31

Cálculo de la madurez en obra según el modelo de Nurse-Saúl

Edad		Temperatura R - 1	Δt	Temperatura promedio en Δt	F.T.T. parcial	F.T.T. acumulado
(horas)	(días)	(°C)	(días)	(°C)	(°C - días)	(°C - días)
0.00	0.00	13.00	-	-	-	0.00
0.25	0.01	15.50	0.0104	14.25	0.15	0.15
0.50	0.02	18.75	0.0104	17.13	0.18	0.33
0.75	0.03	22.25	0.0104	20.50	0.21	0.54
1.00	0.04	23.75	0.0104	23.00	0.24	0.78
1.25	0.05	24.75	0.0104	24.25	0.25	1.03
1.50	0.06	25.00	0.0104	24.88	0.26	1.29
1.75	0.07	24.75	0.0104	24.88	0.26	1.55
2.00	0.08	25.75	0.0104	25.25	0.26	1.81
2.25	0.09	25.00	0.0104	25.38	0.26	2.08
2.50	0.10	24.50	0.0104	24.75	0.26	2.34
2.75	0.11	24.00	0.0104	24.25	0.25	2.59
3.00	0.13	24.75	0.0104	24.38	0.25	2.84
3.25	0.14	25.00	0.0104	24.88	0.26	3.10
3.50	0.15	24.50	0.0104	24.75	0.26	3.36
3.75	0.16	23.75	0.0104	24.13	0.25	3.61
4.00	0.17	24.50	0.0104	24.13	0.25	3.86
4.25	0.18	24.75	0.0104	24.63	0.26	4.12
4.50	0.19	25.25	0.0104	25.00	0.26	4.38

Edad		Temperatura R - 1	Δt	Temperatura promedio en Δt	F.T.T. parcial	F.T.T. acumulado
(horas)	(días)	(°C)	(días)	(°C)	(°C – días)	(°C – días)
4.75	0.20	25.00	0.0104	25.13	0.26	4.64
5.00	0.21	24.25	0.0104	24.63	0.26	4.90
5.25	0.22	23.75	0.0104	24.00	0.25	5.15
5.50	0.23	23.50	0.0104	23.63	0.25	5.39
5.75	0.24	23.00	0.0104	23.25	0.24	5.64
6.00	0.25	24.00	0.0104	23.50	0.24	5.88

Nota. R-1 es el sensor de temperatura 1 para el concreto en obra, Δt es el intervalo de tiempo y F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo. *Elaborado por el investigador.*

El cálculo es similar a lo anterior explicado. Estos valores significan que el sensor R-1, a la edad 0.25 días (seis horas) se tiene un Factor Temperatura Tiempo acumulado de 5.88 °C-días para la condición de concreto en obra. Siendo de esta forma que se calculó el F.T.T. para cada edad en interés.

En la Tabla 32 se muestra el resumen de dichos cálculos de madurez para los cuatro registradores de temperatura colocados en el concreto vaciado en obra.

Tabla 32

Resultados de la madurez en obra según el Modelo de Nurse-Saúl

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	F.T.T. parcial (°C – días)	F.T.T. acumulado (°C – días)
R - 1	27/04/21	28/04/21	1	12.59	12.59
R - 1	27/04/21	30/04/21	3	22.45	35.04
R - 1	27/04/21	02/05/21	5	22.64	57.68
R - 1	27/04/21	04/05/21	7	24.47	82.15
R - 1	27/04/21	07/05/21	10	38.58	120.74
R - 1	27/04/21	11/05/21	14	40.39	161.13
R - 1	27/04/21	15/05/21	18	44.61	205.73
R - 1	27/04/21	18/05/21	21	29.01	234.74
R - 1	27/04/21	21/05/21	24	31.18	265.92
R - 1	27/04/21	25/05/21	28	42.76	308.69
R - 2	27/04/21	28/04/21	1	12.35	12.35
R - 2	27/04/21	30/04/21	3	24.78	37.13
R - 2	27/04/21	02/05/21	5	23.00	60.13



Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	F.T.T. parcial (°C – días)	F.T.T. acumulado (°C – días)
R - 2	27/04/21	04/05/21	7	24.96	85.10
R - 2	27/04/21	07/05/21	10	38.17	123.26
R - 2	27/04/21	11/05/21	14	41.66	164.92
R - 2	27/04/21	15/05/21	18	46.33	211.25
R - 2	27/04/21	18/05/21	21	30.94	242.19
R - 2	27/04/21	21/05/21	24	32.78	274.97
R - 2	27/04/21	25/05/21	28	42.65	317.62
R - 3	27/04/21	28/04/21	1	11.22	11.22
R - 3	27/04/21	30/04/21	3	21.46	32.69
R - 3	27/04/21	02/05/21	5	20.41	53.10
R - 3	27/04/21	04/05/21	7	20.32	73.42
R - 3	27/04/21	07/05/21	10	32.97	106.39
R - 3	27/04/21	11/05/21	14	34.52	140.92
R - 3	27/04/21	15/05/21	18	38.07	178.98
R - 3	27/04/21	18/05/21	21	25.73	204.72
R - 3	27/04/21	21/05/21	24	26.68	231.39
R - 3	27/04/21	25/05/21	28	34.96	266.35
R - 4	27/04/21	28/04/21	1	10.34	10.34
R - 4	27/04/21	30/04/21	3	19.98	30.31
R - 4	27/04/21	02/05/21	5	19.02	49.33
R - 4	27/04/21	04/05/21	7	21.84	71.17
R - 4	27/04/21	07/05/21	10	31.37	102.54
R - 4	27/04/21	11/05/21	14	34.48	137.02
R - 4	27/04/21	15/05/21	18	36.48	173.50
R - 4	27/04/21	18/05/21	21	24.75	198.25
R - 4	27/04/21	21/05/21	24	24.61	222.86
R - 4	27/04/21	25/05/21	28	35.69	258.55

Nota. R-1, R-2, R-3 y R-4 son los sensores de temperatura 1, 2, 3 y 4 para el concreto en obra.
Elaborado por el investigador.

Madurez del concreto en obra según el modelo de Arrhenius. La siguiente tabla muestra los cálculos y resultados realizados para el modelo de Arrhenius, del concreto de 210 kg/cm² vaciado en obra.

Tabla 33*Cálculo de la madurez en obra según el modelo de Arrhenius*

Edad		Temperatura R - 1	Δt	Temperatura a promedio en Δt	Factor Edad	E. Eq. parcial	E. Eq. acumulada
(horas)	(días)	(K)	(días)	(K)		(días)	(días)
0.00	0.00	286.15	0.00	0.00	0.53	0.000	0.000
0.25	0.01	288.65	0.0104	287.40	0.57	0.006	0.006
0.50	0.02	291.90	0.0104	290.28	0.66	0.007	0.013
0.75	0.03	295.40	0.0104	293.65	0.78	0.008	0.021
1.00	0.04	296.90	0.0104	296.15	0.88	0.009	0.030
1.25	0.05	297.90	0.0104	297.40	0.93	0.010	0.040
1.50	0.06	298.15	0.0104	298.03	0.96	0.010	0.050
1.75	0.07	297.90	0.0104	298.03	0.96	0.010	0.060
2.00	0.08	298.90	0.0104	298.40	0.98	0.010	0.070
2.25	0.09	298.15	0.0104	298.53	0.98	0.010	0.080
2.50	0.10	297.65	0.0104	297.90	0.96	0.010	0.090
2.75	0.11	297.15	0.0104	297.40	0.93	0.010	0.100
3.00	0.13	297.90	0.0104	297.53	0.94	0.010	0.110
3.25	0.14	298.15	0.0104	298.03	0.96	0.010	0.120
3.50	0.15	297.65	0.0104	297.90	0.96	0.010	0.130
3.75	0.16	296.90	0.0104	297.28	0.93	0.010	0.139
4.00	0.17	297.65	0.0104	297.28	0.93	0.010	0.149
4.25	0.18	297.90	0.0104	297.78	0.95	0.010	0.159
4.50	0.19	298.40	0.0104	298.15	0.97	0.010	0.169
4.75	0.20	298.15	0.0104	298.28	0.97	0.010	0.179
5.00	0.21	297.40	0.0104	297.78	0.95	0.010	0.189
5.25	0.22	296.90	0.0104	297.15	0.92	0.010	0.198
5.50	0.23	296.65	0.0104	296.78	0.90	0.009	0.208
5.75	0.24	296.15	0.0104	296.40	0.89	0.009	0.217
6.00	0.25	297.15	0.0104	296.65	0.90	0.009	0.226

Nota. R-1 es el sensor de temperatura 1 para el concreto en obra (en grados Kelvin), Δt es el intervalo de tiempo y E. Eq. es la Edad Equivalente. La temperatura de referencia es igual a 25.7 °C. *Elaborado por el investigador.*

De la misma manera, los cálculos se realizaron como se explicó anteriormente. Estos valores indican que el sensor R-1, a la edad 0.25 días (seis horas) la Edad Equivalente acumulado es igual a 0.226 días para el concreto en condición de obra. Siendo de esta forma que se calculó la E. Eq. para cada edad interés.

En la Tabla 34 se muestra el resumen de dichos cálculos de madurez para los cuatro registradores de temperatura colocados en obra.

Tabla 34

Resultados de la madurez en obra según el modelo de Arrhenius

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulada (días)
R-1	27/04/2021	28/04/2021	1	0.558	0.558
R-1	27/04/2021	30/04/2021	3	1.043	1.601
R-1	27/04/2021	2/05/2021	5	1.039	2.640
R-1	27/04/2021	4/05/2021	7	1.065	3.705
R-1	27/04/2021	7/05/2021	10	1.621	5.326
R-1	27/04/2021	11/05/2021	14	1.877	7.203
R-1	27/04/2021	15/05/2021	18	1.977	9.180
R-1	27/04/2021	18/05/2021	21	1.370	10.550
R-1	27/04/2021	21/05/2021	24	1.424	11.974
R-1	27/04/2021	25/05/2021	28	1.929	13.903
R-2	27/04/2021	28/04/2021	1	0.561	0.561
R-2	27/04/2021	30/04/2021	3	1.113	1.675
R-2	27/04/2021	2/05/2021	5	1.072	2.747
R-2	27/04/2021	4/05/2021	7	1.104	3.851
R-2	27/04/2021	7/05/2021	10	1.636	5.487
R-2	27/04/2021	11/05/2021	14	1.948	7.435
R-2	27/04/2021	15/05/2021	18	2.064	9.499
R-2	27/04/2021	18/05/2021	21	1.448	10.947
R-2	27/04/2021	21/05/2021	24	1.504	12.451
R-2	27/04/2021	25/05/2021	28	1.979	14.430
R-3	27/04/2021	28/04/2021	1	0.527	0.527
R-3	27/04/2021	30/04/2021	3	1.018	1.546
R-3	27/04/2021	2/05/2021	5	0.989	2.535
R-3	27/04/2021	4/05/2021	7	0.964	3.499
R-3	27/04/2021	7/05/2021	10	1.487	4.986
R-3	27/04/2021	11/05/2021	14	1.761	6.747
R-3	27/04/2021	15/05/2021	18	1.833	8.580
R-3	27/04/2021	18/05/2021	21	1.310	9.890
R-3	27/04/2021	21/05/2021	24	1.335	11.224
R-3	27/04/2021	25/05/2021	28	1.768	12.992
R-4	27/04/2021	28/04/2021	1	0.505	0.505
R-4	27/04/2021	30/04/2021	3	0.977	1.482
R-4	27/04/2021	2/05/2021	5	0.951	2.433
R-4	27/04/2021	4/05/2021	7	1.005	3.438
R-4	27/04/2021	7/05/2021	10	1.445	4.883
R-4	27/04/2021	11/05/2021	14	1.749	6.632

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulada (días)
R-4	27/04/2021	15/05/2021	18	1.804	8.436
R-4	27/04/2021	18/05/2021	21	1.281	9.717
R-4	27/04/2021	21/05/2021	24	1.276	10.993
R-4	27/04/2021	25/05/2021	28	1.782	12.775

Nota. R-1, R-2, R-3 y R-4 son los sensores de temperatura 1, 2, 3 y 4 para el concreto en obra.
Elaborado por el investigador.

4.1.6. Relación Madurez – Resistencia patrón

Para establecer la relación entre la resistencia a la compresión y la madurez, se determinó gráficamente las curvas que relacionan la resistencia en función del Factor Temperatura Tiempo y en función de la Edad Equivalente, las mismas que se detallan a continuación.

Desarrollo de la Relación Resistencia a la Compresión – Factor Temperatura

Tiempo. En la Tabla 35 se muestra el cálculo de la madurez según el modelo de Nurse-Saúl.

Tabla 35

Cálculo de la madurez promedio para el modelo de Nurse-Saúl

Edad (días)	Δt (días)	Sensores				Temperatura promedio (°C)	F.T.T. parcial (°C-días)	F.T.T. acumulado (°C-días)
		01 (°C)	02 (°C)	03 (°C)	04 (°C)			
1	1	21.49	22.17	19.81	20.92	21.10	21.09	21.09
3	2	20.99	20.84	18.90	20.17	20.23	40.46	61.55
5	2	20.78	21.23	18.71	20.05	20.19	40.37	101.92
7	2	20.27	20.84	18.20	19.42	19.68	39.37	141.29
10	3	19.19	19.90	17.10	18.37	18.64	55.92	197.21
14	4	18.66	19.35	16.53	17.84	18.10	72.38	269.59
18	4	18.60	19.25	16.47	17.72	18.01	72.04	341.63
21	3	18.44	19.02	16.22	17.54	17.81	53.42	395.05
24	3	18.23	18.92	16.05	17.29	17.62	52.87	447.91
28	4	18.70	19.31	16.63	17.77	18.10	72.41	520.33

Nota. Δt es el intervalo de tiempo y F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo. *Elaborado por el investigador.*

Para determinar la relación, el Factor Temperatura Tiempo fue calculado con el promedio de los cuatro sensores de temperaturas registradas en las probetas cilíndricas de concreto.

En la Tabla 36 se muestra el resumen de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas de concreto y los resultados del Factor Temperatura Tiempo para cada edad respectivamente. Con estos datos, se determinó gráficamente la relación Resistencia a la compresión – Factor Temperatura Tiempo patrón, como se muestra en la Figura 22.

Tabla 36

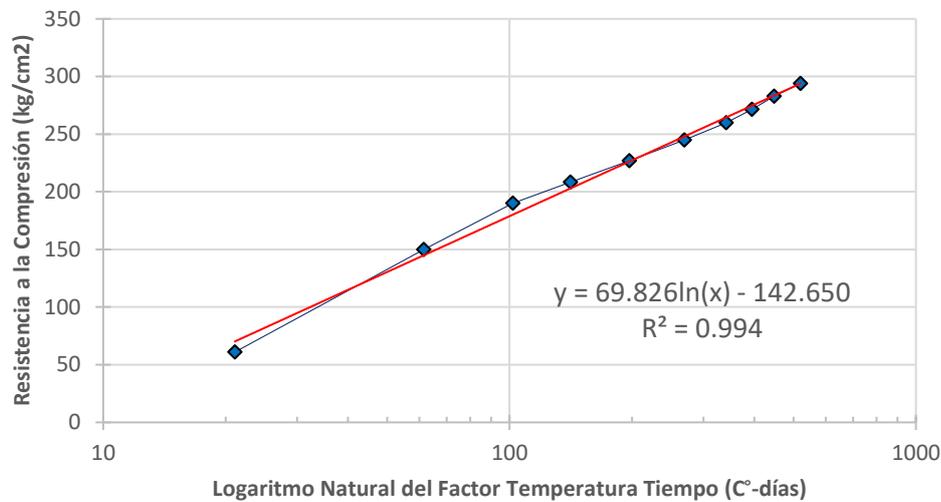
Puntos obtenidos para la relación Resistencia – Madurez (F.T.T.)

Edad (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Factor Temperatura Tiempo (°C – días)
1	61.01	21.09
3	150.01	61.55
5	190.18	101.92
7	208.50	141.29
10	226.98	197.21
14	244.99	269.59
18	260.01	341.63
21	271.51	395.05
24	282.95	447.91
28	294.08	520.33

Nota. *Elaborado por el investigador.*

Figura 22

Relación Resistencia – Madurez patrón según el modelo de Nurse-Saúl.



Nota. La grafica se realizó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Con los datos de la anterior tabla y la aplicación Línea de Tendencia del software Microsoft Excel se pudo graficar una función del tipo logarítmica entre la Resistencia a la Compresión y el Factor Temperatura Tiempo, resultando un coeficiente de determinación lineal de 0.994 y la siguiente relación:

$$f'c = 69.826 * Ln(M) - 142.650 \dots (Ec. 13)$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia a la Compresión estimada del concreto en kg/cm^2
- M : Madurez según el modelo de Nurse – Saúl o F.T.T. en $^{\circ}\text{C} - \text{días}$

Desarrollo de la Relación Resistencia a la Compresión - Edad Equivalente. En la Tabla 37 se muestra los resultados obtenidos del cálculo de la madurez según el modelo de Arrhenius.

Tabla 37

Cálculo de la madurez promedio para el modelo de Arrhenius

Edad (días)	Δt (días)	Termocuplas				Temperatura promedio en Δt (°C)	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulado (días)
		01 (°C)	02 (°C)	03 (°C)	04 (°C)			
1	1	21.49	22.17	19.81	20.92	21.10	1.13	1.13
3	2	20.99	20.84	18.90	20.17	20.23	2.17	3.30
5	2	20.78	21.23	18.71	20.05	20.19	2.17	5.47
7	2	20.27	20.84	18.20	19.42	19.68	2.11	7.58
10	3	19.19	19.90	17.10	18.37	18.64	3.01	10.59
14	4	18.66	19.35	16.53	17.84	18.10	3.90	14.49
18	4	18.60	19.25	16.47	17.72	18.01	3.88	18.37
21	3	18.44	19.02	16.22	17.54	17.81	2.88	21.25
24	3	18.23	18.92	16.05	17.29	17.62	2.86	24.11
28	4	18.70	19.31	16.63	17.77	18.10	3.90	28.01

Nota. Δt es el intervalo de tiempo y E. Eq. es la Edad Equivalente. *Elaborado por el investigador.*

La Edad Equivalente para determinar la curva fue calculada con el promedio de las cuatro temperaturas (en Kelvin) registradas en las probetas cilíndricas de concreto.

Tabla 38

Puntos obtenidos para la relación Resistencia – Madurez (E. Eq.)

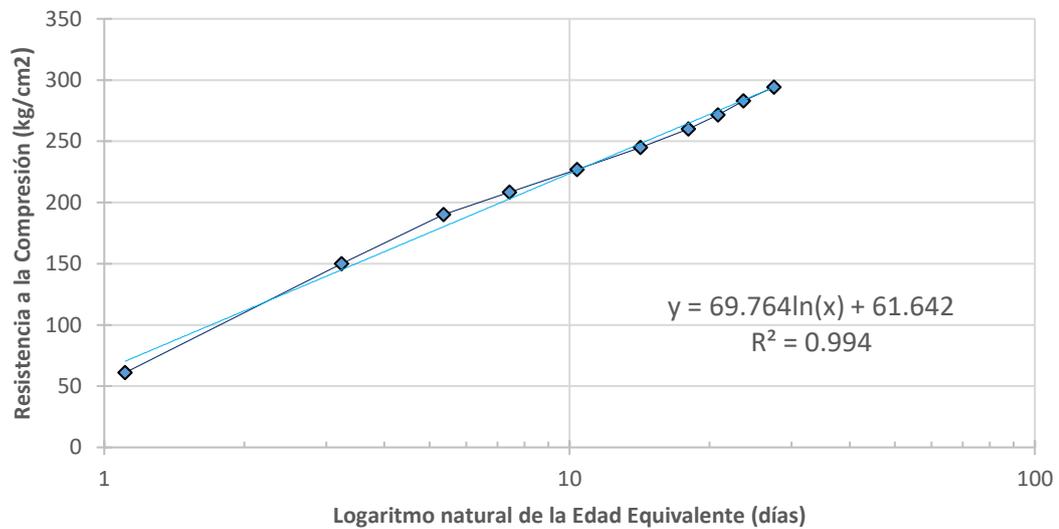
Edad (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Edad Equivalente (días)
1	61.01	1.13
3	150.01	3.30
5	190.18	5.47
7	208.5	7.58
10	226.98	10.59
14	244.99	14.49
18	260.01	18.37
21	271.51	21.25
24	282.95	24.11
28	294.08	28.01

Nota. *Elaborado por el investigador.*

En la Tabla 38 se muestra el resumen de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas de concreto y los resultados de edad equivalente. Con estos datos se determinó gráficamente la relación Resistencia a la compresión – Edad Equivalente patrón, como se muestra en la Figura 23.

Figura 23

Relación Resistencia – Madurez patrón según el modelo de Arrhenius.



Nota. La grafica se realizó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Con los datos de la anterior tabla y la aplicación Línea de Tendencia del software Microsoft Excel se pudo graficar una función del tipo logarítmica entre la Resistencia a la Compresión y la Edad Equivalente, resultando un coeficiente de determinación lineal de 0.994 y la siguiente relación:

$$f'c = 69.764 * Ln(M) + 61.642 \dots (Ec. 14)$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia a la compresión estimada del concreto en kg/cm^2 .
- M : Madurez acuerdo al modelo de Arrhenius o Edad Equivalente en días.

4.1.7. Resistencias estimadas mediante el Método de Madurez

Con los anteriores gráficos relación Resistencia - Madurez patrones, se estimaron las resistencias a la compresión del concreto vaciado en obra, para ambos modelos, de acuerdo a las ecuaciones 13 y 14.

Resistencias estimadas en obra según el modelo de Nurse – Saúl. En la Tabla 39

se muestra los resultados estimados de la resistencia a la compresión en obra, según el modelo de Nurse – Saúl.

Tabla 39

Resistencias a la compresión del concreto en obra según el modelo de Nurse-Saúl

Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	Id. (cód.)	F.T.T. (°C – días)	Resistencia estimada		Resistencia promedio	
					(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)
27/04/21	28/04/21	1	R-1	12.59	34.23	16.30	28.65	13.64
			R-2	12.35	32.88	15.66		
			R-3	11.22	26.18	12.46		
			R-4	10.34	20.44	9.73		
27/04/21	30/04/21	3	R-1	35.04	105.69	50.33	103.15	49.12
			R-2	37.13	109.73	52.25		
			R-3	32.69	100.83	48.01		
			R-4	30.31	95.56	45.51		
27/04/21	02/05/21	5	R-1	57.68	140.49	66.90	137.24	65.35
			R-2	60.13	143.40	68.28		
			R-3	53.10	134.71	64.15		
			R-4	49.33	129.57	61.70		
27/04/21	04/05/21	7	R-1	82.15	165.18	78.66	161.53	76.92
			R-2	85.10	167.64	79.83		
			R-3	73.42	157.34	74.92		
			R-4	71.17	155.17	73.89		
27/04/21	07/05/21	10	R-1	120.74	192.07	91.46	187.59	89.33
			R-2	123.26	193.51	92.15		
			R-3	106.39	183.24	87.26		
			R-4	102.54	180.66	86.03		
27/04/21	11/05/21	14	R-1	161.13	212.22	101.06	207.68	98.90
			R-2	164.92	213.84	101.83		
			R-3	140.92	202.86	96.60		
			R-4	137.02	200.90	95.67		
27/04/21	15/05/21	18	R-1	205.73	229.28	109.18	224.59	106.95
			R-2	211.25	231.13	110.06		
			R-3	178.98	219.56	104.55		
			R-4	173.50	217.38	103.52		
27/04/2021	18/05/2021	21	R-1	234.74	238.49	113.57	233.96	111.41
			R-2	242.19	240.67	114.61		
			R-3	204.72	228.94	109.02		
			R-4	198.25	226.69	107.95		
27/04/21	21/05/21	24	R-1	265.92	247.20	117.71	242.55	115.50

Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	Id. (cód.)	F.T.T. (°C – días)	Resistencia estimada		Resistencia promedio	
					(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)
			R-2	274.97	249.54	118.83		
			R-3	231.39	237.49	113.09		
			R-4	222.86	234.87	111.84		
			R-1	308.69	257.61	122.67		
27/04/21	25/05/21	28	R-2	317.62	259.61	123.62	252.72	120.34
			R-3	266.35	247.31	117.77		
			R-4	258.55	245.24	116.78		

Nota. F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo acumulado, para cada edad. R-1, R-2, R-3 y R-4 son los sensores de temperatura 1, 2, 3 y 4 respectivamente, para el concreto en obra. *Elaborado por el investigador.*

Resistencias estimadas en obra según el modelo de Arrhenius. En la Tabla 40 se muestra los resultados estimados de la resistencia a la compresión en obra, según el modelo de Arrhenius.

Tabla 40

Resistencias a la compresión del concreto en obra según el modelo de Arrhenius

Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	Id. (cód.)	E. Eq. (días)	Resistencia estimada		Resistencia promedio	
					(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)
			R-1	0.56	20.93	9.97		
			R-2	0.56	21.33	10.16		
27/04/21	28/04/21	1	R-3	0.53	17.01	8.10	18.29	8.71
			R-4	0.50	13.95	6.64		
			R-1	1.60	94.46	44.98		
			R-2	1.67	97.61	46.48		
27/04/21	30/04/21	3	R-3	1.55	92.02	43.82	93.98	44.42
			R-4	1.48	89.08	42.42		
			R-1	2.64	129.36	61.60		
			R-2	2.75	132.13	62.92		
27/04/21	02/05/21	5	R-3	2.53	126.53	60.25	127.91	60.91
			R-4	2.43	123.68	58.89		
			R-1	3.71	153.01	72.86		
			R-2	3.85	155.70	74.15		
27/04/21	04/05/21	7	R-3	3.50	149.02	70.96	151.34	72.07
			R-4	3.44	147.80	70.38		
			R-1	5.33	178.32	84.92		
			R-2	5.49	180.40	85.91		
27/04/21	07/05/21	10	R-3	4.99	173.72	82.73	176.15	83.88



Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	Id. (cód.)	E. Eq. (días)	Resistencia estimada		Resistencia promedio	
					(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)
27/04/21	11/05/21	14	R-4	4.88	172.28	82.04	197.32	93.96
			R-1	7.20	199.39	94.95		
			R-2	7.43	201.60	96.00		
			R-3	6.75	194.83	92.78		
			R-4	6.63	193.63	92.21		
27/04/21	15/05/21	18	R-1	9.18	216.31	103.00	214.22	102.01
			R-2	9.50	218.69	104.14		
			R-3	8.58	211.60	100.76		
			R-4	8.44	210.41	100.20		
27/04/21	18/05/21	21	R-1	10.55	226.01	107.63	224.06	106.69
			R-2	10.95	228.59	108.85		
			R-3	9.89	221.51	105.48		
			R-4	9.72	220.27	104.89		
27/04/21	21/05/21	24	R-1	11.97	234.85	111.83	232.87	110.89
			R-2	12.45	237.57	113.13		
			R-3	11.22	230.34	109.68		
			R-4	10.99	228.88	108.99		
27/04/21	25/05/21	28	R-1	13.90	245.27	116.79	243.22	115.82
			R-2	14.43	247.86	118.03		
			R-3	12.99	240.54	114.54		
			R-4	12.77	239.36	113.98		

Nota. E. Eq. es la Edad Equivalente Acumulada, para cada edad específica. R-1, R-2, R-3 y R-4 son los sensores de temperatura 1, 2, 3 y 4 respectivamente, para el concreto en obra. *Elaborado por el investigador.*

Finalmente, para la validación de las resistencias a compresión estimadas por el método de madurez en obra, se utilizaron los resultados de los ensayos a compresión de las probetas cilíndricas de concreto 210 kg/cm² elaboradas en obra. Los resultados de estos ensayos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 41*Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de corroboración*

Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diámetro	Área neta	Carga aplicada	Resistencia a la compresión	
			[día]	[cm]	[cm ²]	[kg-f]	[kg/cm ²]	%
B-01	18/05/21	25/05/21	7	15.06	178.13	28650	160.84	76.59
B-02	18/05/21	25/11/21	7	14.98	176.24	27810	157.80	75.14
B-03	18/05/21	01/06/21	14	15.06	178.13	33220	186.49	88.81
B-04	18/05/21	01/06/21	14	14.96	175.77	32650	185.75	88.45
B-05	18/05/21	15/06/21	28	14.84	172.96	39540	228.61	108.86
B-06	18/05/21	15/06/21	28	14.82	172.50	40810	236.58	112.66

Nota. Los ensayos de rotura de probetas se realizaron en el laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfaltos de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - sede Juliaca, los certificados de los respectivos ensayos se encuentran en el Anexo 16. *Elaborado por el investigador.*

Verificación de las resistencias estimadas en obra por el método de madurez

Para la verificación como se mencionó en el capítulo anterior, se comparó las resistencias potenciales determinadas a partir de probetas elaboradas en obra con las resistencias estimadas a partir de la relación Resistencia – Madurez patrón y el índice de madurez de obra, donde la diferencia no debe exceder el 10 %. Se realizó 6 ensayos para determinar la resistencia potencial alcanzada en obra a las edades de 7, 14 y 28 días (2 ensayos por edad). Estos resultados se dan a continuación:

Tabla 42*Resistencia a la compresión potencial de obra*

Edad	Resistencia a la Compresión Potencial en Obra			
	Individual		Promedio	
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
7	160.84	76.59	159.32	75.87
	157.80	75.14		
14	186.49	88.81	186.12	88.63
	185.75	88.45		
28	228.61	108.86	232.60	110.76
	236.58	112.66		

Nota. Elaborado por el investigador.

La verificación de los resultados de resistencia a la compresión según la relación Resistencia – Madurez y el índice de madurez de obra, en términos de Factor Temperatura Tiempo y Edad Equivalente se da a continuación:

Tabla 43*Verificación de las resistencias estimadas según la madurez*

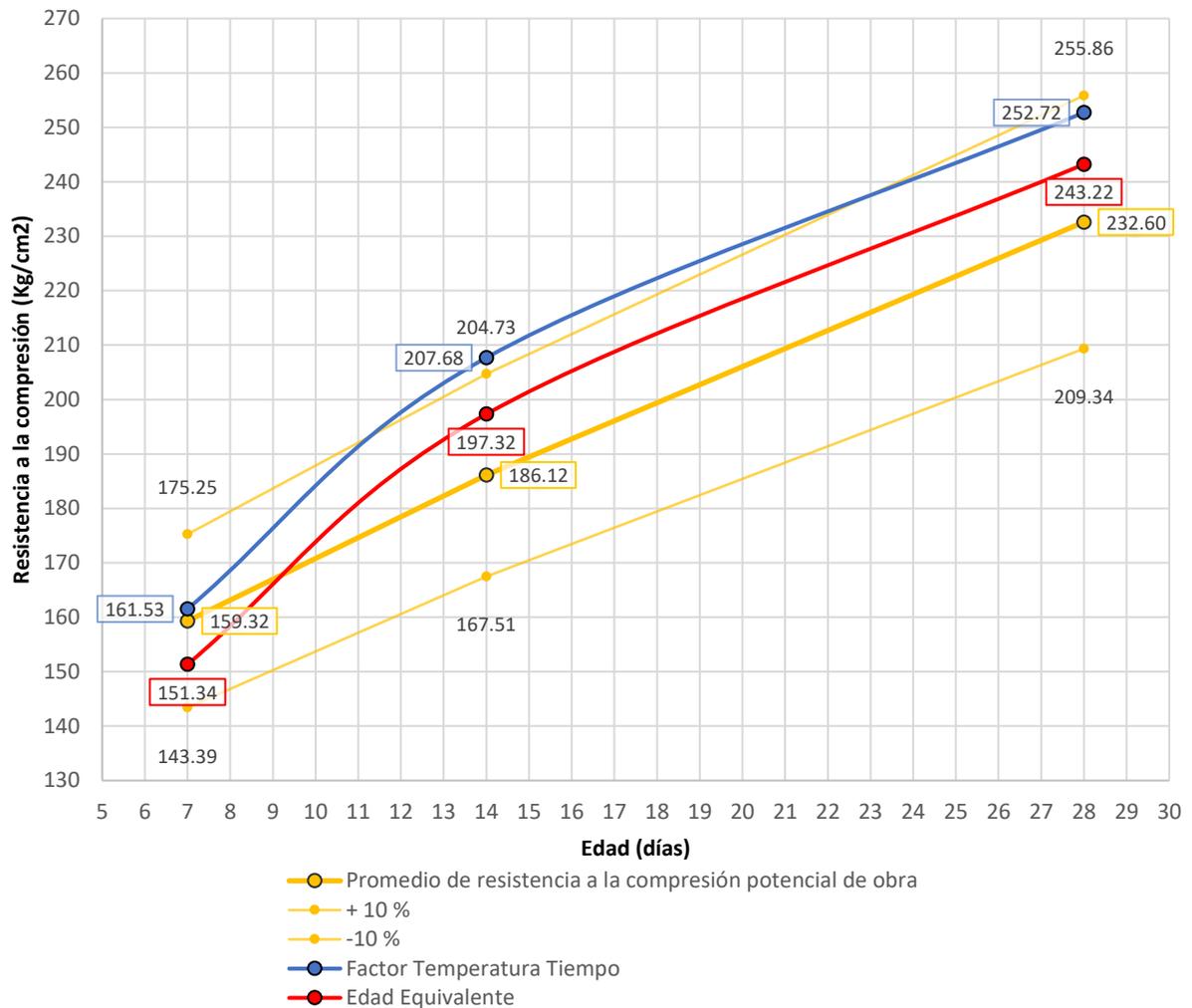
Edad	Resistencia potencial promedio en obra	Verificación de los resultados		Resistencia a la compresión según		Incertidumbre	
		- 10 % R prom.	+ 10 % R prom.	F.T.T.	E. EQ.	F.T.T.	E. EQ.
[día]	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	%	%
7	159.32	[143.39	175.25]	161.53	151.34	1.05	3.80
14	186.12	[167.51	204.73]	207.68	197.32	10.27	5.33
28	232.60	[209.34	255.86]	252.72	243.22	9.58	5.06

Nota. Elaborado por el investigador.

Para la edad de 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión potencial promedio en obra de 159.32 kg/cm² (75.87 %), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 175.25 kg/cm² (83.45 %) y – 10 % resultando 143.39 kg/cm² (68.28 %). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura fue 161.53 kg/cm² (79.92 %) y según la Edad Equivalente fue 151.34 kg/cm² (72.07 %), estos valores se encuentran dentro del rango aceptable para la verificación.

Figura 24

Verificación de las resistencias estimadas en obra



Nota. Elaborado por el investigador.

Para la edad de 14 días se obtuvo una resistencia a la compresión potencial promedio en obra de 186.12 kg/cm² (88.63 %), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 204.73 kg/cm² (97.49 %) y – 10 % resultando 167.51 kg/cm² (79.77 %). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura fue 207.68 kg/cm² (98.90 %) y según la Edad Equivalente fue 197.32 kg/cm² (93.96 %). Resultando el primer valor mayor al límite superior del rango en 2.95 kg/cm² (1.40 %) y el segundo valor dentro del rango aceptable para la verificación.



Para la edad de 28 días se tiene una resistencia a la compresión potencial promedio en obra de 232.60 kg/cm² (110.76 %), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 255.86 kg/cm² (121.84 %) y - 10 % resultando 209.34 kg/cm² (209.34 %). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura es 252.72 kg/cm² (120.34 %) y según la Edad Equivalente es 243.22 kg/cm² (115.82 %), estos valores se encuentran dentro del rango aceptable para la verificación.

Por lo tanto, como los resultados obtenidos de resistencias estimadas para el concreto vaciado en obra según Factor Temperatura Tiempo y Edad Equivalente, usando las relaciones Resistencia-Madurez patrones; no exceden constantemente el rango de comprobación según ASTM C1074-19, se verifican estos valores resultantes.

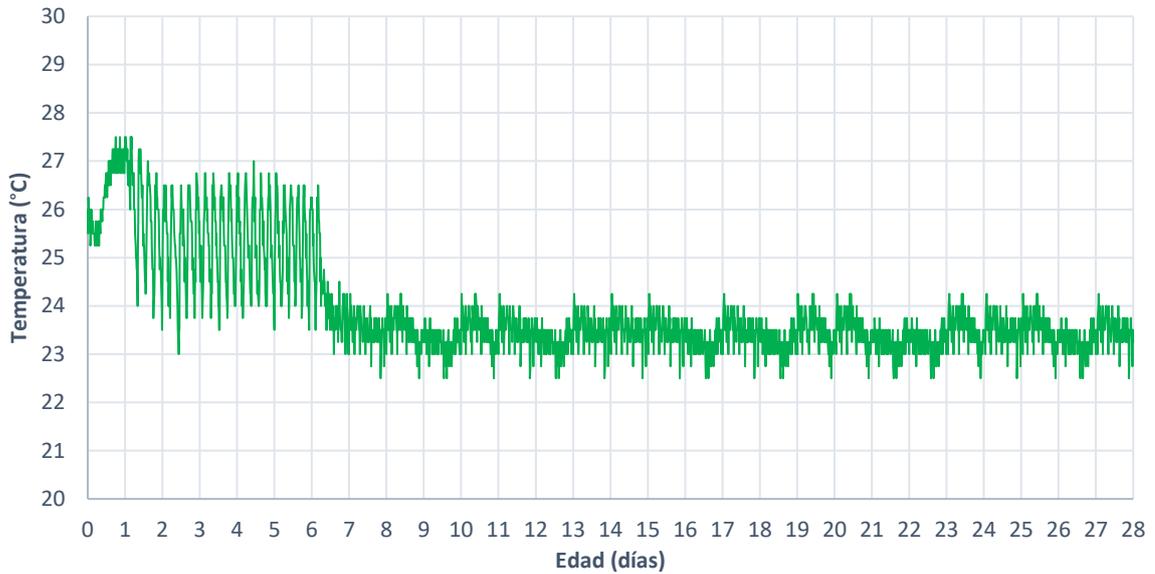
4.1.8. Corroboración de datos

Registro de temperaturas de probetas de concreto curadas a temperatura constante

Se obtuvo un total de 2683 unidades de lectura por cada sensor, los resultados de las temperaturas de concreto de los dos sensores y del sensor de temperatura ambiente en laboratorio se dan a continuación:

Figura 25

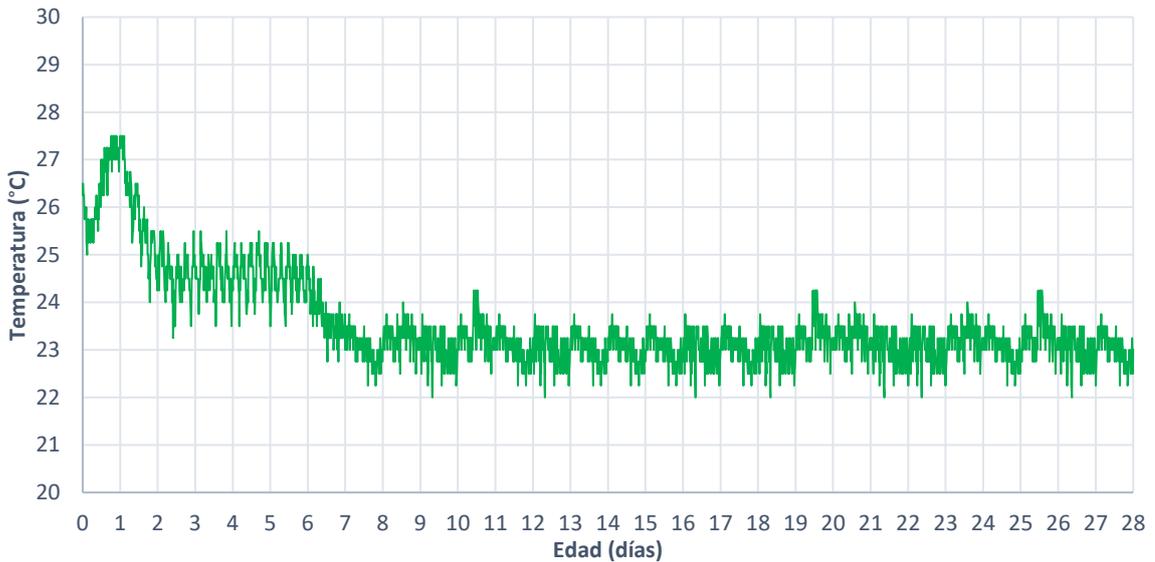
Historial de temperatura de C-3



Nota. C-3 es el sensor de temperatura 3 para probeta cilíndrica de concreto curada a temperatura constante. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 26

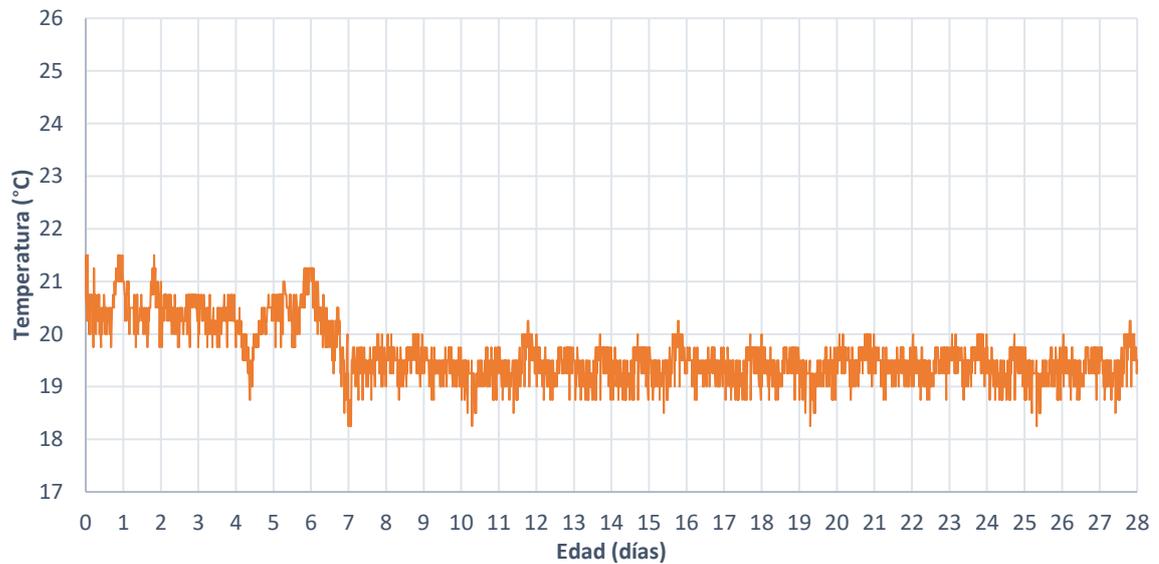
Historial de temperatura de C-5



Nota. C-5 es el sensor de temperatura 5 para probeta cilíndrica de concreto curada a temperatura constante. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

Figura 27

Historial de temperatura de C-2



Nota. C-2 es el sensor de temperatura 2 para el ambiente de las probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante. La gráfica se determinó mediante el software Microsoft Excel.
Elaborado por el investigador.

Tabla 44

Estadística descriptiva de las temperaturas de probetas cilíndricas de corroboración

Descripción	Promedio de Temperaturas - Concreto	Ambiente
Media	23.73	19.63
Mínimo	22.63	18.25
Máximo	27.50	21.50
Rango	4.87	3.25
Desviación estándar	0.98	0.56
Varianza de la muestra	0.95	0.31
Cuenta	2683	2683

Nota. El cálculo fue realizado mediante el Software IBM SPSS Statistics. *Elaborado por el investigador.*

El análisis se realizó a 2683 unidades de lectura para cada caso. Se obtuvo las medias aritméticas de 23.73 °C para las temperaturas de las probetas cilíndricas de concreto y 19.63 °C para las temperaturas ambiente, resultando mayor las temperaturas

de las probetas cilíndricas por 4.1 °C. La desviación estándar de las temperaturas promedio de las probetas cilíndricas fue 0.98 °C y la desviación estándar de las temperaturas ambiente fue 0.56 °C con respecto a sus medias, resultando con mayor dispersión las temperaturas promedio de probetas cilíndricas.

Madurez de las probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante

El cálculo de la madurez del concreto se realizó de acuerdo a la norma ASTM C1074-19 teniendo en cuenta las consideraciones que fueron descritas en el capítulo anterior.

Madurez según el modelo de Nurse-Saúl

La siguiente tabla se muestra los cálculos y resultados realizados para el modelo de Nurse-Saúl.

Tabla 45

Cálculo de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración según el modelo de Nurse-Saúl

Edad	Temperatura	Δt	Temperatura	F.T.T.	F.T.T.
(horas)	C- 3	(días)	promedio en	parcial	acumulado
(días)	(°C)		Δt	(°C – días)	(°C – días)
			(°C)		
0.00	26.00	-	-	-	0.00
0.25	25.50	0.0104	25.75	0.27	0.27
0.50	26.25	0.0104	25.88	0.27	0.54
0.75	26.00	0.0104	26.13	0.27	0.81
1.00	25.75	0.0104	25.88	0.27	1.08
1.25	25.75	0.0104	25.75	0.27	1.35
1.50	26.00	0.0104	25.88	0.27	1.62
1.75	25.25	0.0104	25.63	0.27	1.88
2.00	25.50	0.0104	25.38	0.26	2.15
2.25	26.00	0.0104	25.75	0.27	2.42
2.50	25.75	0.0104	25.88	0.27	2.69



Edad		Temperatura C- 3	Δt	Temperatura promedio en Δt	F.T.T. parcial	F.T.T. acumulado
(horas)	(días)	(°C)	(días)	(°C)	(°C – días)	(°C – días)
2.75	0.11	25.75	0.0104	25.75	0.27	2.95
3.00	0.13	25.50	0.0104	25.63	0.27	3.22
3.25	0.14	25.75	0.0104	25.63	0.27	3.49
3.50	0.15	25.50	0.0104	25.63	0.27	3.76
3.75	0.16	25.50	0.0104	25.50	0.27	4.02
4.00	0.17	25.50	0.0104	25.50	0.27	4.29
4.25	0.18	25.50	0.0104	25.50	0.27	4.55
4.50	0.19	25.25	0.0104	25.38	0.26	4.82
4.75	0.20	25.50	0.0104	25.38	0.26	5.08
5.00	0.21	25.50	0.0104	25.50	0.27	5.35
5.25	0.22	25.75	0.0104	25.63	0.27	5.61
5.50	0.23	25.50	0.0104	25.63	0.27	5.88
5.75	0.24	25.25	0.0104	25.38	0.26	6.14
6.00	0.25	25.75	0.0104	25.50	0.27	6.41

Nota. C-3 es el sensor de temperatura 3 para probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante, Δt es el intervalo de tiempo y F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo. *Elaborado por el investigador.*

El cálculo es similar a lo anterior explicado. Estos valores indican que la muestra C-3, a la edad 0.25 días (seis horas) tiene un Factor Temperatura Tiempo acumulado de 6.41 °C–días. Siendo de esta forma que se calculó el F.T.T. para cada edad en interés y para las dos probetas cilíndricas de concreto

En la Tabla 46 se muestra el resumen de dichos cálculos de madurez para cada una de las muestras.

Tabla 46

Resultados de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Nurse–Saúl

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	F.T.T. parcial (°C – días)	F.T.T. acumulado (°C – días)
C-3	16/01/2022	17/01/2022	1	0.29	26.39
C-3	16/01/2022	19/01/2022	3	0.26	77.64
C-3	16/01/2022	21/01/2022	5	0.25	128.24
C-3	16/01/2022	23/01/2022	7	0.25	178.48
C-3	16/01/2022	26/01/2022	10	0.25	248.78
C-3	16/01/2022	30/01/2022	14	0.24	341.84
C-3	16/01/2022	3/02/2022	18	0.25	435.65
C-3	16/01/2022	6/02/2022	21	0.24	505.94
C-3	16/01/2022	9/02/2022	24	0.24	575.98
C-3	16/01/2022	13/02/2022	28	0.24	669.77
C-5	16/01/2022	17/01/2022	1	0.29	26.42
C-5	16/01/2022	19/01/2022	3	0.26	76.86
C-5	16/01/2022	21/01/2022	5	0.25	126.03
C-5	16/01/2022	23/01/2022	7	0.24	174.98
C-5	16/01/2022	26/01/2022	10	0.24	244.24
C-5	16/01/2022	30/01/2022	14	0.24	335.89
C-5	16/01/2022	3/02/2022	18	0.24	427.92
C-5	16/01/2022	6/02/2022	21	0.24	497.52
C-5	16/01/2022	9/02/2022	24	0.24	566.74
C-5	16/01/2022	13/02/2022	28	0.24	659.11

Nota. C-3 y C-5 son los sensores de temperatura 3 y 5 respectivamente, para las probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante y F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo. *Elaborado por el investigador.*

Madurez según el modelo de Arrhenius

La siguiente tabla se muestra los cálculos y resultados realizados para el modelo de Arrhenius.

Tabla 47

Cálculo de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración según el modelo de Arrhenius

Edad (horas)	Edad (días)	Temperatura C-3 (K)	Δt (días)	Temperatura promedio en Δt (K)	Factor Edad	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulado (días)
0.00	0.00	299.15	-	-	-	-	0.000
0.25	0.01	298.65	0.0104	298.90	0.13	0.012	0.012
0.50	0.02	299.40	0.0104	299.03	0.14	0.012	0.024
0.75	0.03	299.15	0.0104	299.28	0.15	0.012	0.036
1.00	0.04	298.90	0.0104	299.03	0.14	0.012	0.048
1.25	0.05	298.90	0.0104	298.90	0.13	0.012	0.060
1.50	0.06	299.15	0.0104	299.03	0.14	0.012	0.072
1.75	0.07	298.40	0.0104	298.78	0.13	0.012	0.084
2.00	0.08	298.65	0.0104	298.53	0.11	0.012	0.095
2.25	0.09	299.15	0.0104	298.90	0.13	0.012	0.107
2.50	0.10	298.90	0.0104	299.03	0.14	0.012	0.119
2.75	0.11	298.90	0.0104	298.90	0.13	0.012	0.131
3.00	0.13	298.65	0.0104	298.78	0.13	0.012	0.143
3.25	0.14	298.90	0.0104	298.78	0.13	0.012	0.155
3.50	0.15	298.65	0.0104	298.78	0.13	0.012	0.167
3.75	0.16	298.65	0.0104	298.65	0.12	0.012	0.178
4.00	0.17	298.65	0.0104	298.65	0.12	0.012	0.190
4.25	0.18	298.65	0.0104	298.65	0.12	0.012	0.202
4.50	0.19	298.40	0.0104	298.53	0.11	0.012	0.214
4.75	0.20	298.65	0.0104	298.53	0.11	0.012	0.225
5.00	0.21	298.65	0.0104	298.65	0.12	0.012	0.237
5.25	0.22	298.90	0.0104	298.78	0.13	0.012	0.249
5.50	0.23	298.65	0.0104	298.78	0.13	0.012	0.261
5.75	0.24	298.40	0.0104	298.53	0.11	0.012	0.272
6.00	0.25	298.90	0.0104	298.65	0.12	0.012	0.284

Nota. C-3 es el sensor de temperatura 3 para probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante (en grados Kelvin), Δt es el intervalo de tiempo y E. Eq. es la Edad Equivalente. *Elaborado por el investigador.*

El cálculo es similar a lo anterior explicado. Estos valores indican que la muestra C-3, a la edad 0.25 días (seis horas) tiene un Edad Equivalente acumulado de 0.284 días.

Siendo de esta forma que se calculó el F.T.T. para cada edad en interés y para las dos probetas de concreto.

En la Tabla 48 se muestra el resumen de dichos cálculos de madurez para cada una de las muestras.

Tabla 48

Resultados de madurez de las probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Arrhenius

Id.	Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	E. Eq. parcial (días)	E. Eq. acumulado (días)
C-3	16/01/2022	17/01/2022	1	0.013	1.178
C-3	16/01/2022	19/01/2022	3	0.012	3.451
C-3	16/01/2022	21/01/2022	5	0.011	5.688
C-3	16/01/2022	23/01/2022	7	0.011	7.900
C-3	16/01/2022	26/01/2022	10	0.011	10.964
C-3	16/01/2022	30/01/2022	14	0.011	15.020
C-3	16/01/2022	3/02/2022	18	0.011	19.110
C-3	16/01/2022	6/02/2022	21	0.011	22.174
C-3	16/01/2022	9/02/2022	24	0.011	25.224
C-3	16/01/2022	13/02/2022	28	0.011	29.313
C-5	16/01/2022	17/01/2022	1	0.013	1.180
C-5	16/01/2022	19/01/2022	3	0.011	3.408
C-5	16/01/2022	21/01/2022	5	0.011	5.569
C-5	16/01/2022	23/01/2022	7	0.011	7.712
C-5	16/01/2022	26/01/2022	10	0.010	10.725
C-5	16/01/2022	30/01/2022	14	0.010	14.712
C-5	16/01/2022	3/02/2022	18	0.010	18.714
C-5	16/01/2022	6/02/2022	21	0.010	21.743
C-5	16/01/2022	9/02/2022	24	0.010	24.754
C-5	16/01/2022	13/02/2022	28	0.010	28.773

Nota. C-3 y C-5 es el sensor de temperatura 3 y 5 para probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante y F.T.T. es el Factor Temperatura Tiempo. *Elaborado por el investigador.*

Resistencia a la compresión estimadas de probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante

Con las anteriores relaciones Resistencia - Madurez patrón establecidas, se estimaron las resistencias a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto curado a temperatura constante de 23 °C, por los modelos de Nurse - Saúl y Arrhenius. Para tal propósito se reemplazaron los índices de madurez medidos en las probetas cilíndricas (Factor Temperatura Tiempo y Edad Equivalente) en las ecuaciones 15 y 16. Estos cálculos se realizaron a las edades de 1, 7, 14 y 28 días.

Resistencias estimadas en probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante según el modelo de Nurse – Saúl. En la Tabla 49 se muestra los resultados estimados de la resistencia a la compresión en obra, según el modelo de Nurse – Saúl.

Tabla 49

Resistencias a la compresión estimadas de probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Nurse-Saúl

Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	Id. (código)	F.T.T. acumulado (°C – días)	Resistencia estimada		Resistencia estimada en promedio	
					(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)
16/01/2022	17/01/2022	1	R-1	26.39	85.88	40.90	85.93	40.92
			R-2	26.42	85.98	40.94		
16/01/2022	23/01/2022	7	R-1	178.48	219.36	104.46	218.67	104.13
			R-2	174.98	217.98	103.80		
16/01/2022	30/01/2022	14	R-1	341.84	264.74	126.07	264.13	125.77
			R-2	335.89	263.51	125.48		
16/01/2022	13/02/2022	28	R-1	669.77	311.70	148.43	311.14	148.16
			R-2	659.11	310.58	147.90		

Nota. Elaborado por el investigador.

Resistencias estimadas en probetas cilíndricas de concreto curadas a temperatura constante, según el modelo de Arrhenius. En la Tabla 50 se muestra los resultados estimados de la resistencia a la compresión en obra, según el modelo de Arrhenius.

Tabla 50

Resistencias a la compresión estimadas de probetas cilíndricas de corroboración por el modelo de Arrhenius

Fecha de vaciado	Fecha de medición	Edad (días)	Id. (código)	E. EQ. acumulado (°C – días)	Resistencia estimada		Resistencia estimada en promedio	
					(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)
16/01/2022	17/01/2022	1	R-1	1.18	73.07	34.79	73.13	34.82
			R-2	1.18	73.19	34.85		
16/01/2022	23/01/2022	7	R-1	7.90	205.83	98.01	204.98	97.61
			R-2	7.71	204.15	97.21		
16/01/2022	30/01/2022	14	R-1	15.02	250.66	119.36	249.93	119.01
			R-2	14.71	249.21	118.67		
16/01/2022	13/02/2022	28	R-1	29.31	297.31	141.57	296.65	141.26
			R-2	28.77	296.01	140.96		

Nota. Elaborado por el investigador.

Verificación de las resistencias estimadas por el método de madurez

Para la validación de las resistencias a compresión estimadas por el método de madurez en probetas cilíndricas de concreto curadas a 23 °C, se realizó 8 ensayos para determinar la resistencia potencial alcanzada en las probetas cilíndricas curadas a temperatura constante a las edades de 1, 7, 14 y 28 días (2 ensayos por edad). Estos resultados se dan a continuación:

Tabla 51

Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de corroboración

Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diámetro	Área neta	Carga aplicada	Resistencia a la compresión	
			[día]	[cm]	[cm ²]	[kg-f]	[kg/cm ²]	%
CRL-01	16/01/2022	17/01/2022	1	15.46	187.66	15676.16	83.53	39.78
CRL-02	16/01/2022	17/01/2022		15.58	190.76	14624.82	76.67	36.51
CRL-03	16/01/2022	23/01/2022	7	15.30	183.92	39519.25	214.87	102.32
CRL-04	16/01/2022	23/01/2022		15.50	188.76	39111.36	207.20	98.66
CRL-05	16/01/2022	30/01/2022	14	15.36	185.31	46465.58	250.75	119.40
CRL-06	16/01/2022	30/01/2022		15.37	185.56	49046.49	264.31	125.86
CRL-07	16/01/2022	13/02/2022	28	15.50	188.69	57123.69	302.74	144.16
CRL-08	16/01/2022	13/02/2022		15.50	188.69	55997.92	296.77	141.32

Nota. Los ensayos de rotura se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Ensayos de Materiales G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C., los cuales se muestran en el Anexo 17. *Elaborado por el investigador.*

La verificación de los resultados de resistencia a la compresión según las relaciones Resistencia – Madurez patrón y el índice de madurez de probetas cilíndricas curadas a temperatura constante, en términos de Factor Temperatura Tiempo y Edad Equivalente se da a continuación:

Tabla 52

Verificación de las resistencias a la compresión estimadas en probetas cilíndricas de corroboración

Edad	Resistencia potencial promedio de probetas	Verificación de los resultados		Resistencia a la compresión según		Incertidumbre	
		- 10 % R prom.	+ 10 % R prom.	F.T.T. [kg/cm ²]	E. EQ. [kg/cm ²]	F.T.T. %	E. EQ. %
[día]	[kg/cm ²]						
1	80.05	[72.05	88.06]	82.66	73.13	2.78	3.32
7	213.06	[191.75	234.37]	213.50	204.98	3.63	2.88
14	252.78	[227.51	278.06]	258.30	249.93	3.14	3.62
28	295.97	[266.38	325.57]	304.64	296.65	5.42	1.48

Nota. *Elaborado por el investigador.*



Para la edad de 1 día se obtuvo una resistencia a la compresión potencial promedio de 80.10 kg/cm² (38.14%), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 88.11 kg/cm² (41.96%) y - 10 % resultando 72.09 kg/cm² (34.33%). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura fue 85.93 kg/cm² (40.92%) y según la Edad Equivalente fue 71.13 kg/cm² (34.82%), resultando valores dentro del rango aceptable para la verificación.

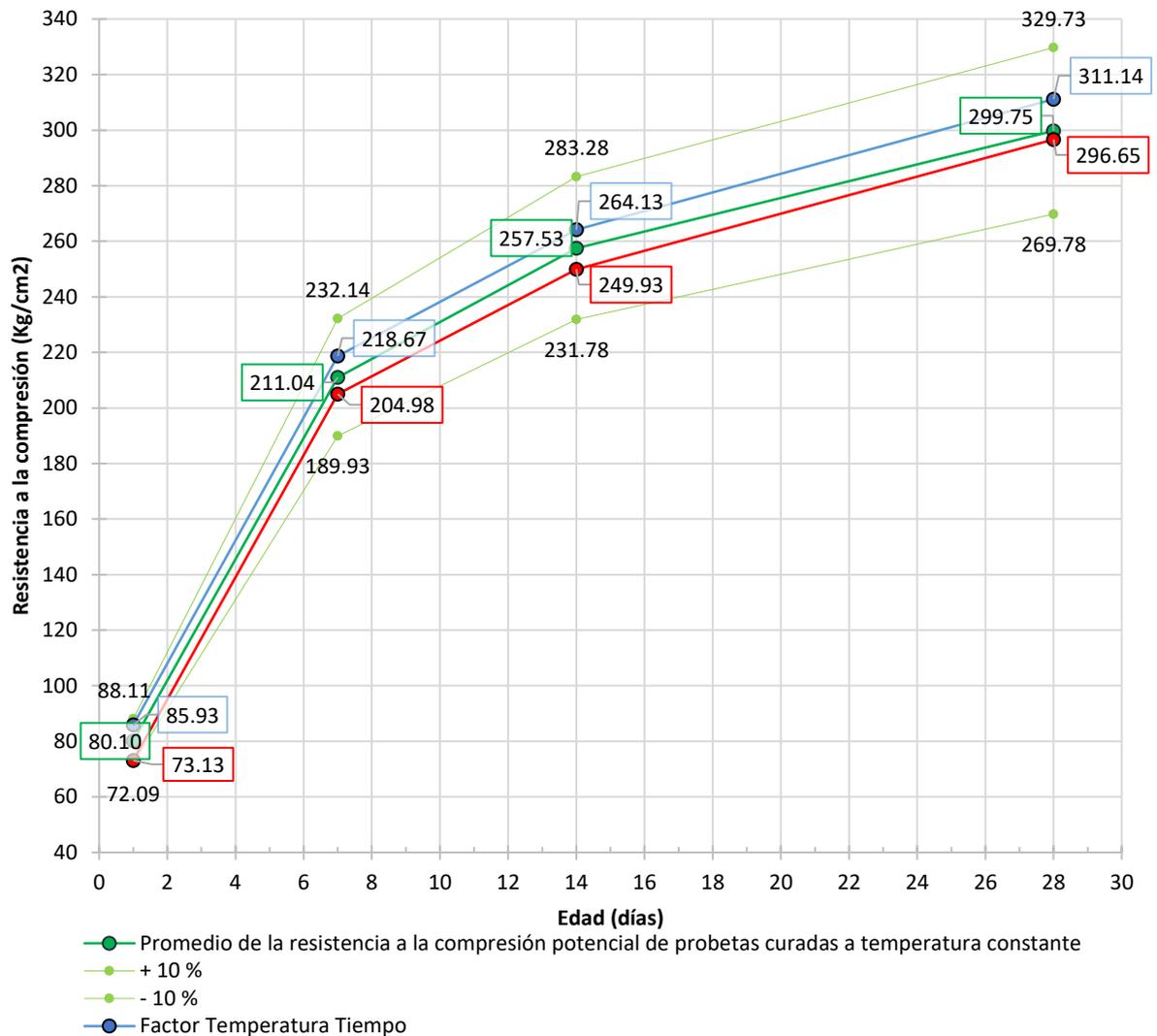
Para la edad de 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión potencial promedio de 211.04 kg/cm² (100.49%), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 232.14 kg/cm² (110.54%) y - 10 % resultando 189.93 kg/cm² (90.44%). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura fue 218.67 kg/cm² (104.13 %) y según la Edad Equivalente fue 204.98 kg/cm² (97.61%), resultando valores dentro del rango aceptable para la verificación.

Para la edad de 14 días se obtuvo una resistencia a la compresión potencial promedio en obra de 257.53 kg/cm² (122.63%), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 283.28 kg/cm² (134.90%) y - 10 % resultando 231.78 kg/cm² (110.37%). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura fue 264.13 kg/cm² (125.78%) y según la Edad Equivalente fue 249.93 kg/cm² (119.01%), resultando valores dentro del rango aceptable para la verificación.

Para la edad de 28 días se tiene una resistencia a la compresión potencial promedio en obra de 299.75 kg/cm² (142.74%), del cual se determinó el rango de + 10 % resultando 329.73 kg/cm² (157.01%) y - 10 % resultando 269.78 kg/cm² (128.47%). La resistencia a la compresión según el Factor Tiempo Temperatura es 311.14 kg/cm² (148.16 %) y según la Edad Equivalente es 296.65 kg/cm² (141.26%), resultando valores dentro del rango aceptable para la verificación.

Figura 28

Verificación de las resistencias estimadas en probetas cilíndricas



Nota. Elaborado por el investigador.

Por lo tanto, como los resultados obtenidos de resistencias estimadas para probetas de concreto curadas a temperatura constante (según Factor Temperatura Tiempo y Edad Equivalente), usando las relaciones Resistencia-Madurez patrones ya establecidas; se encuentran en el rango de comprobación según ASTM C1074-19, se corrobora el presente cálculo, como también, los datos de temperatura.

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.2.1. Temperaturas de probetas cilíndricas de concreto y el concreto en obra

Para evaluar estas diferencias estadísticamente primeramente se tiene que precisar el tipo de prueba a usar, el cual, depende de la normalidad de las variables:

Variable 1: Temperaturas internas del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Variable 2: Temperaturas internas del concreto 210 kg/cm² vaciado en la ejecución de obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Para este análisis, se calculó el promedio de temperaturas registradas a lo largo de cada día, durante los 28 días. Resultado una distribución anormal bivariado (ver Anexo 18). La hipótesis que se va probar es: *“La relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es nula”*.

Planteamiento de la hipótesis nula y alterna

Hipótesis Nula (H₀): No existe relación estadísticamente significativa entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Hipótesis Alterna (H₁): Existe relación estadísticamente significativa entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y

vaciado la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Nivel de significancia

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha = 0.05$, lo que es igual a una probabilidad del 95%.

Estadística de prueba

Como se tiene que comparar dos grupos independientes (en probetas cilíndricas de concreto y concreto vaciado en obra) con variables cuantitativas (temperatura) que presentan distribución anormal, se estableció usar la prueba Coeficiente de Correlación de Spearman. El cálculo para determinar el D_f se resume en la siguiente tabla:

Tabla 53

Coeficiente de Correlación de Spearman para el análisis de temperaturas

Edad (días)	Variable 1 (X) (°C)	Variable 2 (Y) (°C)	Rango X	Rango Y	D_f X - Y	D_f^2 (X - Y) ²
1	21.10	11.63	28	24	-4	16
2	19.88	12.02	25	27	2	4
3	20.58	10.15	27	15	-12	144
4	20.57	10.11	26	14	-12	144
5	19.82	11.15	24	21	-3	9
6	19.63	11.00	22	19	-3	9
7	19.73	11.88	23	26	3	9
8	19.01	12.13	21	28	7	49
9	18.57	11.71	20	25	5	25
10	18.35	11.44	19	23	4	16
11	18.14	9.66	16	11	-5	25
12	18.04	8.70	12	3	-9	81
13	18.12	9.49	15	9	-6	36
14	18.08	9.94	14	13	-1	1
15	18.04	11.08	11	20	9	81
16	18.02	11.29	10	22	12	144
17	18.00	10.54	9	17	8	64

Edad (días)	Variable 1 (X) (°C)	Variable 2 (Y) (°C)	Rango X	Rango Y	D_f $X - Y$	D_f^2 $(X - Y)^2$
18	17.98	8.46	8	1	-7	49
19	17.90	8.79	7	4	-3	9
20	17.77	9.36	5	6	1	1
21	17.75	9.45	4	7	3	9
22	17.59	9.47	1	8	7	49
23	17.63	9.60	2	10	8	64
24	17.65	9.77	3	12	9	81
25	17.78	10.41	6	16	10	100
26	18.29	10.90	18	18	0	0
27	18.29	9.24	17	5	-12	144
28	18.05	8.48	13	2	-11	121
					SUMA	1484

Nota. Elaborado por el investigador.

Reemplazamos los datos en la Ecuación 10:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_f^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$r_s = 1 - \frac{6(1484)}{28(28^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.594$$

Región de rechazo

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación $\alpha = 0.05$, si se cumple:

$$\left| t = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1 - r_s^2}{N - 2}}} \right| \leq t_{(1 - \frac{\alpha}{2}), (n - 2)}$$

Caso contrario, se rechazará H_0 .

Cálculo del estadístico de prueba y el valor crítico

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1 - r_s^2}{n - 2}}}$$

$$t = \frac{0.5939}{\sqrt{\frac{1 - (0.5939)^2}{28 - 2}}}$$

$$t = 3.76$$

Y el valor crítico se calcula con la Tabla de Distribución T (Anexo 1), de la siguiente manera:

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-2)} = t_{(1-\frac{0.05}{2}), (28-2)} = t_{(0.975), (26)} = 2.06$$

Decisión de la prueba

Tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula (H0) si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor al valor crítico. En caso contrario, se acepta la hipótesis nula (H0):

$$\left| t = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1 - r_s^2}{N - 2}}} \right| > t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-2)}$$

$$3.76 > 2.06$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que existe relación estadísticamente significativa entre las temperaturas internas del

concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, evaluado a 56 unidades de lectura de temperatura y con un nivel de significancia de 0.05 (5%). Según la Tabla 3, la interpretación del Coeficiente de Correlación de Spearman $r_s = 0.594$, resulta un grado de asociación moderada con pendiente positiva.

4.2.2. Madurez de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra

Para evaluar estas diferencias estadísticamente se procede a realizar la prueba de hipótesis tanto para los resultados obtenidos por el modelo de Nurse-Saúl y de Arrhenius.

Análisis estadístico para el modelo de Nurse-Saul

Para evaluar estas diferencias estadísticas primeramente se tiene que precisar el tipo de prueba a usar, el cual, depende de la normalidad de las variables:

Variable 1: Factor Temperatura Tiempo acumulado del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Variable 2: Factor Temperatura Tiempo acumulado del concreto 210 kg/cm² vaciado en la ejecución de la obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Para este análisis, se usó los resultados de las Tablas 28 y 32, resultando una distribución anormal bivariado (ver Anexo 18). La hipótesis que se va probar es: “*La relación entre los Factores Temperatura Tiempo acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta*”.



Planteamiento de la hipótesis nula y alterna

Hipótesis Nula (H0): No existe relación estadísticamente significativa entre los Factores Temperatura Tiempo acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Hipótesis Alterna (H1): Existe relación estadísticamente significativa entre los Factores Temperatura Tiempo acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Nivel de significancia

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha = 0.05$, lo que es igual a una probabilidad del 95%.

Estadística de prueba

Como se tiene que comparar dos grupos independientes (en probetas cilíndricas de concreto y concreto vaciado en obra) con variables cuantitativas (Factor Temperatura Tiempo acumulado) que presentan distribución anormal, se estableció usar la prueba Coeficiente de Correlación de Spearman. El cálculo para determinar el D_f se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 54

Coefficiente de Correlación de Spearman para el Factor Temperatura Tiempo

Edad	Variable 1 –	Variable 2 –	Rango	Rango	D_f	D_f^2
(días)	(X)	(Y)	(X)	(Y)	$X - Y$	$(X - Y)^2$
	(°C-día)	(°C-día)				
1	21.48	12.59	3	4	1	1
1	22.16	12.35	4	3	-1	1
1	19.79	11.22	1	2	1	1
1	20.92	10.34	2	1	-1	1
3	63.46	35.04	7	7	0	0
3	63.85	37.13	8	8	0	0
3	57.61	32.69	5	6	1	1
3	61.27	30.31	6	5	-1	1
5	105.01	57.68	11	11	0	0
5	106.30	60.13	12	12	0	0
5	95.01	53.10	9	10	1	1
5	101.37	49.33	10	9	-1	1
7	145.54	82.15	15	15	0	0
7	147.98	85.10	16	16	0	0
7	131.41	73.42	13	14	1	1
7	140.21	71.17	14	13	-1	1
10	203.12	120.74	19	19	0	0
10	207.69	123.26	20	20	0	0
10	182.71	106.39	17	18	1	1
10	195.31	102.54	18	17	-1	1
14	277.75	161.13	23	23	0	0
14	285.08	164.92	24	24	0	0
14	248.85	140.92	21	22	1	1
14	266.68	137.02	22	21	-1	1
18	352.14	205.73	27	29	2	4
18	362.06	211.25	28	30	2	4
18	314.74	178.98	25	26	1	1
18	337.58	173.50	26	25	-1	1
21	407.47	234.74	31	33	2	4
21	419.12	242.19	33	34	1	1
21	363.39	204.72	29	28	-1	1
21	390.20	198.25	30	27	-3	9
24	462.15	265.92	35	36	1	1
24	475.89	274.97	36	38	2	4
24	411.54	231.39	32	32	0	0
24	442.08	222.86	34	31	-3	9

Edad	Variable 1 – (X)	Variable 2 – (Y)	Rango	Rango	D_f	D_f^2
(días)	(°C-día)	(°C-día)	(X)	(Y)	$X - Y$	$(X - Y)^2$
28	536.95	308.69	39	39	0	0
28	553.15	317.62	40	40	0	0
28	478.05	266.35	37	37	0	0
28	513.17	258.55	38	35	-3	9
					Sumatoria	62

Nota. Elaborado por el investigador.

Reemplazamos los datos en la Ecuación 10:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum D_f^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum 62}{40(40^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.994$$

Región de rechazo

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación α , si se cumple:

$$\left| t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| \leq t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Caso contrario, se rechazará H_0 .

Cálculo del estadística de prueba y el valor crítico

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}}$$

$$t = \frac{0.9942}{\sqrt{\frac{1 - 0.9942^2}{40 - 2}}}$$

$$t = 56.91$$

Y el valor crítico se calcula con la Tabla de Distribución T (Anexo 1), de la siguiente manera:

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-2)} = t_{(1-\frac{0.05}{2}), (40-2)} = t_{(0.975), (38)} = 2.02$$

Decisión de la prueba

Tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula (H0) si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor al valor crítico. En caso contrario, se acepta la hipótesis nula (H0):

$$\left| t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| > t_{(\frac{\alpha}{2}), (n-2)}$$

$$56.91 > 2.02$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que existe relación estadísticamente significativa entre los Factores Temperatura Tiempo acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, evaluado a 80 unidades de lectura de F.T.T. y con un nivel de significancia de 0.05 (5%). Según la Tabla 3, la interpretación del Coeficiente de Correlación de Spearman $r_{xy} = 0.994$, resulta un grado de asociación muy alta con pendiente positiva.



Análisis estadístico para el modelo Arrhenius

Para evaluar estas diferencias estadísticamente primeramente se tiene que precisar el tipo de prueba a usar, el cual, depende de la normalidad de las variables:

Variable 1: Edad Equivalente acumulado del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del 2021.

Variable 2: Edad Equivalente acumulado del concreto 210 kg/cm² vaciado en la ejecución de la obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del 2021.

Para este análisis, se usó los resultados de las Tablas 30 y 34, resultando una distribución anormal bivariado (ver Anexo 18). La hipótesis que se va probar es: *“La relación entre las Edades Equivalentes acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del 2021, es alta”*.

Planteamiento de la hipótesis nula y alterna

Hipótesis Nula (H₀): No existe relación estadísticamente significativa entre las Edades Equivalentes acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del 2021.

Hipótesis Alterna (H₁): Existe relación estadísticamente significativa entre las Edades Equivalentes acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del 2021.



Nivel de significancia

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha = 0.05$, lo que es igual a una probabilidad del 95%.

Estadística de Prueba

Como se tiene que comparar dos grupos independientes (en probetas de concreto y concreto vaciado en obra) con variables cuantitativas (Edad Equivalente acumulado) que presentan distribución anormal bivariado, se estableció usar la prueba Coeficiente de Correlación de Spearman. El cálculo para determinar el D_f se resume en la siguiente tabla:

Tabla 55

Coeficiente de Correlación de Spearman para la Edad Equivalente

Edad (día)	Variable 1 – (X) (día)	Variable 2 – (Y) (día)	Rango (X)	Rango (Y)	D_f $X - Y$	D_f^2 $(X - Y)^2$
1	1.15	0.56	3	3	0	0
1	1.19	0.56	4	4	0	0
1	1.06	0.53	1	2	1	1
1	1.12	0.50	2	1	-1	1
3	3.41	1.60	7	7	0	0
3	3.43	1.67	8	8	0	0
3	3.09	1.55	5	6	1	1
3	3.29	1.48	6	5	-1	1
5	5.64	2.64	11	11	0	0
5	5.71	2.75	12	12	0	0
5	5.10	2.53	9	10	1	1
5	5.44	2.43	10	9	-1	1
7	7.81	3.71	15	15	0	0
7	7.95	3.85	16	16	0	0
7	7.06	3.50	13	14	1	1
7	7.52	3.44	14	13	-1	1
10	10.90	5.33	19	19	0	0
10	11.15	5.49	20	20	0	0
10	9.85	4.99	17	18	1	1
10	10.49	4.88	18	17	-1	1
14	14.91	7.20	23	23	0	0
14	15.30	7.43	24	24	0	0
14	13.45	6.75	21	22	1	1



Edad (día)	Variable 1 – (X) (día)	Variable 2 – (Y) (día)	Rango (X)	Rango (Y)	D_f $X - Y$	D_f^2 $(X - Y)^2$
14	14.34	6.63	22	21	-1	1
18	18.91	9.18	27	27	0	0
18	19.44	9.50	28	28	0	0
18	17.04	8.58	25	26	1	1
18	18.17	8.44	26	25	-1	1
21	21.89	10.55	31	31	0	0
21	22.50	10.95	33	32	-1	1
21	19.70	9.89	29	30	1	1
21	21.01	9.72	30	29	-1	1
24	24.84	11.97	35	35	0	0
24	25.55	12.45	36	36	0	0
24	22.34	11.22	32	34	2	4
24	23.82	10.99	34	33	-1	1
28	28.86	13.90	39	39	0	0
28	29.70	14.43	40	40	0	0
28	25.96	12.99	37	38	1	1
28	27.66	12.77	38	37	-1	1
					Sumatoria	24

Nota. Elaborado por el investigador.

Reemplazamos los datos en la Ecuación 10:

$$r_{xy}r_s = 1 - \frac{6 \sum D_f^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$r_s = 1 - \frac{6(24)}{40(40^2 - 1)}$$

$$r_s = 0.998$$

Región de rechazo

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación α , si se cumple:

$$\left| t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| \leq t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Caso contrario, se rechazará H_0 .

Cálculo del estadístico de prueba y el valor crítico

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}}$$

$$t = \frac{0.9977}{\sqrt{\frac{1 - 0.9977^2}{20 - 2}}}$$

$$t = 91.71$$

Y el valor crítico se calcula con la Tabla de Distribución T (Anexo 1), de la siguiente manera:

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-2)} = t_{(1-\frac{0.05}{2}), (20-2)} = t_{(0.975), (18)} = 2.02$$

Decisión de la prueba

Tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula (H0) si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor al valor crítico. En caso contrario, se acepta la hipótesis nula (H0):

$$\left| t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| > t_{(\frac{\alpha}{2}), (n-2)}$$

$$91.71 > 2.02$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que existe relación estadísticamente significativa entre las Edades Equivalentes



acumulados del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del 2021, evaluado a 40 unidades de lectura de E. Eq. y con un nivel de significancia de 0.05 (5%). Según la Tabla 3, la interpretación del coeficiente de correlación de Spearman $r_{xy} = 0.998$, resulta un grado de asociación muy alta con pendiente positiva.

4.2.3. Resistencias a la compresión de probetas cilíndricas de concreto y las estimadas en obra mediante la madurez

Para evaluar estas diferencias estadísticamente se procede a realizar la prueba de hipótesis tanto para los resultados obtenidos por el modelo de Nurse-Saúl y de Arrhenius.

Análisis estadístico para el modelo de Nurse-Saul

Para evaluar estas diferencias estadísticamente primeramente se tiene que precisar el tipo de prueba a usar, el cual, depende de la normalidad de las variables:

Variable 1: Resistencia a la compresión del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Variable 2: Resistencia a la compresión del concreto 210 kg/cm² estimadas mediante el modelo de Nurse-Saul del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Para este análisis, se usó los resultados de las Tablas 42 y 39, resultando una distribución normal bivariado (ver Anexo 18). La hipótesis que se va probar es: *“El nivel de relación entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante el modelo de Nurse-Saul del método de madurez en la*



ejecución de la obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.

Planteamiento de la hipótesis nula y alterna

Hipótesis Nula (H0): No existe relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y las estimadas mediante el modelo de Nurse-Saul del método de madurez en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Hipótesis Alterna (H1): Existe relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y las estimadas mediante el modelo de Nurse-Saul del método de madurez en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Nivel de significancia

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha = 0.05$, lo que es igual a una probabilidad del 95%.

Estadística de prueba

Como se tiene que comparar dos grupos independientes (en probetas cilíndricas de concreto y concreto vaciado en obra) con variables cuantitativas (resistencia a la compresión) que presentan distribución normal, se estableció usar la prueba Coeficiente de Correlación de Pearson. El cálculo para determinar el r_{xy} se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 56

Coefficiente de Correlación de Pearson para las resistencias según el Factor Tiempo Temperatura

Edad (días)	Variable 1 (X) (kg/cm2)	Variable 2 (Y) (kg/cm2)	X*Y	X^2	Y^2
7	157.80	166.41	26259.84	24900.84	27693.01
7	160.84	156.25	25131.36	25869.51	24414.28
14	185.75	213.03	39570.51	34503.06	45382.20
14	186.49	201.88	37648.56	34778.52	40755.45
28	228.61	258.61	59120.72	52262.53	66878.88
28	236.58	246.28	58263.94	55970.10	60651.78
Sumatoria	1156.07	1242.46	245994.92	228284.56	265775.60

Nota. Elaborado por el investigador.

Reemplazamos los datos en la Ecuación 8:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r_{xy} = \frac{6(245994.92) - (1156.07)(1242.46)}{\sqrt{[6(228284.56) - (1156.07)^2][6(265775.60) - (1242.46)^2]}}$$

$$r_{xy} = 0.963$$

Región de rechazo

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación α , si se cumple:

$$\left| t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \right| \leq t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Caso contrario, se rechazará H_0 .

Cálculo del estadístico de prueba y el valor crítico

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = r_s \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r_s^2}}$$

$$t = 0.963 \sqrt{\frac{6 - 2}{1 - 0.963^2}}$$

$$t = 7.12$$

Y el valor crítico se calcula con la Tabla de Distribución T (Anexo 1), de la siguiente manera:

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-2)} = t_{(1-\frac{0.05}{2}), (6-2)} = t_{(0.975), (4)} = 2.78$$

Decisión de la prueba

Tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula (H0) si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor al valor crítico. En caso contrario, se acepta la hipótesis nula (H0):

$$\left| t = r_s \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r_s^2}} \right| > t_{(\frac{\alpha}{2}), (n-2)}$$

$$7.12 > 2.78$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que existe relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y las estimadas mediante el modelo



de Nurse-Saul del método de madurez en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, evaluado a 12 unidades de lectura de resistencia y con un nivel de significancia de 0.05 (5%). Según la Tabla 3, la interpretación del coeficiente de correlación de Spearman $r_{xy} = 0.963$, resulta un grado de asociación muy alta con pendiente positiva.

Si elevamos el coeficiente de correlación al cuadrado, obtenemos el coeficiente de determinación $r_s^2 = 0.927$ el cual significa que el 92.7% de la variabilidad de las resistencias a la compresión del concreto 210 kg/cm² estimadas mediante el modelo de Nurse-Saul del método de madurez en la ejecución de la referida obra, es explicada mediante la variable de resistencias a la compresión del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del año 2021. El restante 7.3% de la variabilidad lo explican otras variables.

Análisis estadístico para el modelo de Arrhenius

Para evaluar estas diferencias estadísticamente primeramente se tiene que precisar el tipo de prueba a usar, el cual, depende de la normalidad de las variables:

Variable 1: Resistencia a la compresión del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del año 2021.

Variable 2: Resistencia a la compresión del concreto 210 kg/cm² estimadas mediante el modelo de Arrhenius del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.



Para este análisis, se usó los resultados de las Tablas 42 y 40, resultando una distribución normal bivariado (ver Anexo 18). La hipótesis que se va probar es: *“El nivel de relación entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante el modelo de Arrhenius del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta”*.

Planteamiento de la hipótesis nula y alterna

Hipótesis Nula (H₀): No existe relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y las estimadas mediante el modelo de Arrhenius del método de madurez en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021

Hipótesis Alterna (H₁): Existe relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y las estimadas mediante el modelo de Arrhenius del método de madurez en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021

Nivel de significancia

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de: $\alpha = 0.05$, lo que es igual a una probabilidad del 95%.

Estadística de prueba

Como se tiene que comparar dos grupos independientes (en probetas de concreto y concreto vaciado en obra) con variables cuantitativas (resistencia a la compresión) que

presentan distribución normal, se estableció usar la prueba Coeficiente de Correlación de Pearson. El cálculo para determinar el r_{xy} se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 57

Coeficiente de Correlación de Pearson para las resistencias según la Edad Equivalente

Edad (días)	Variable 1 - (X) (kg/cm2)	Variable 2 - (Y) (kg/cm2)	X*Y	X^2	Y^2
7	157.80	155.84	24591.48	24900.84	24285.97
7	160.84	149.90	24109.18	25869.51	22468.64
14	185.75	201.94	37511.24	34503.06	40781.68
14	186.49	195.69	36493.37	34778.52	38292.78
28	228.61	247.98	56691.41	52262.53	61495.60
28	236.58	241.37	57104.43	55970.10	58261.74
Sumatoria	1156.07	1192.72	236501.11	228284.56	245586.41

Nota. Elaborado por el investigador.

Reemplazamos los datos en la Ecuación 8:

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$r_{xy} = \frac{6(236501.11) - (1156.07)(1192.72)}{\sqrt{[6(228284.56) - (1156.07)^2][6(245586.41) - (1192.72)^2]}}$$

$$r_{xy} = 0.976$$

Región de rechazo

La hipótesis nula se aceptará al nivel de significación α , si se cumple:

$$\left| t = r_s \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \right| \leq t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), (n-2)}$$

Caso contrario, se rechazará H_0 .

Cálculo del estadístico de prueba y el valor crítico

El estadístico de prueba es el siguiente:

$$t = r_s \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r_s^2}}$$

$$t = 0.976 \sqrt{\frac{6 - 2}{1 - 0.976^2}}$$

$$t = 8.95$$

Y el valor crítico se calcula con la Tabla de Distribución T (Anexo 1), de la siguiente manera:

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2}), (n-2)} = t_{(1-\frac{0.05}{2}), (6-2)} = t_{(0.975), (4)} = 2.78$$

Decisión de la prueba

Tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula (H0) si el valor absoluto del estadístico de prueba es mayor al valor crítico. En caso contrario, se acepta la hipótesis nula (H0):

$$\left| t = \frac{r_{xy}}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{N - 2}}} \right| > t_{(\frac{\alpha}{2}), (n-2)}$$

$$8.95 > 2.78$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que afirma que existe relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión



del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y las estimadas mediante el modelo de Arrhenius del método de madurez en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, evaluado a 12 unidades de lectura de resistencia y con un nivel de significancia de 0.05 (5%). Según la Tabla 3, la interpretación del coeficiente de correlación de Spearman $r_{xy} = 0.976$, resulta un grado de asociación muy alta con pendiente positiva.

Si elevamos el coeficiente de correlación al cuadrado obtenemos el coeficiente de determinación $r_s^2 = 0.953$, el cual significa que el 95.3% de la variabilidad de las resistencias a la compresión del concreto 210 kg/cm² estimadas mediante el modelo de Arrhenius del método de madurez en la ejecución de la referida obra, es explicada mediante la variable de resistencias a la compresión del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas, durante los meses de mayo y junio del año 2021. El restante 4.7% de la variabilidad lo explican otras variables.

4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir de los resultados encontrados, se acepta la hipótesis alterna general que establece que la relación estadísticamente significativa entre las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante la aplicación del método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca” durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.

Estos resultados no guardan relación a lo sostenido por **Gamba, et al. (2019)**, quienes refieren que, a edades tempranas menores de 10 días, existen incertidumbres mayores al 10%. Sin embargo, a edades mayores a los 10 días de curado, este error no



supera el 5% debido a que, en la presente investigación a los 7 días se halla una incertidumbre de 1.1% para el modelo de Nurse-Saul y 3.8% para el modelo de Arrhenius. Asimismo, para el modelo de Nurse-Saul a la edad de 14 días se halla una incertidumbre del 10.3% y a los 28 días una incertidumbre de 9.6%. Por otro lado, para el modelo de Arrhenius a la edad de 14 días se halla una incertidumbre 5.3% y a los 28 días una incertidumbre de 5.1%. Resultados que se deben a que el periodo de curado en las probetas de concreto para determinar las relaciones Resistencias – Madurez Patrón se mantuvo constante hasta los 28 días, mientras que el curado en obra se realizó de acuerdo a las especificaciones técnicas (hasta los 7 días de edad), interrumpiendo la hidratación de las partículas de los granos del cemento; por consiguiente, afectando negativamente el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto, tal como lo menciona **Flores y González (2010)**.

Por otro lado, la Tabla 58 muestra las desviaciones estándar de los errores encontrados en las resistencias estimadas para ambos modelos, respecto a las resistencias potenciales de obra. Asimismo, se encontró valores similares a los que obtiene **Aspilcueta (2015)** para el modelo de Nurse-Saul un valor igual a 5.4% y para el modelo de Arrhenius 5.8%. Los valores obtenidos en la presente investigación son de 6.1% para el modelo de Nurse-Saul y 5.7% para el modelo de Arrhenius. Se puede evidenciar diferencia respecto al modelo de Nurse-Saul, esto debido a que Aspilcueta realiza los ensayos tanto para la elaboración de las relaciones Resistencia - Madurez (20 ± 1 °C) y las de estimación (18 ± 1 °C) a temperatura constante. En esta investigación se realiza la estimación de la resistencia en obra, donde las variaciones de temperaturas del concreto se da entre 0 °C y 25.7 °C, de tal manera que, el modelo Nurse-Saul para este rango de temperaturas es menos confiable que el modelo Arrhenius, tal como lo menciona **Raje (2019)**, el cual

alude que el modelo Nurse-Saul es usado ampliamente en un rango de temperaturas de 10 °C a 32 °C.

Tabla 58

Desviaciones estándar de los errores en las estimaciones de resistencia

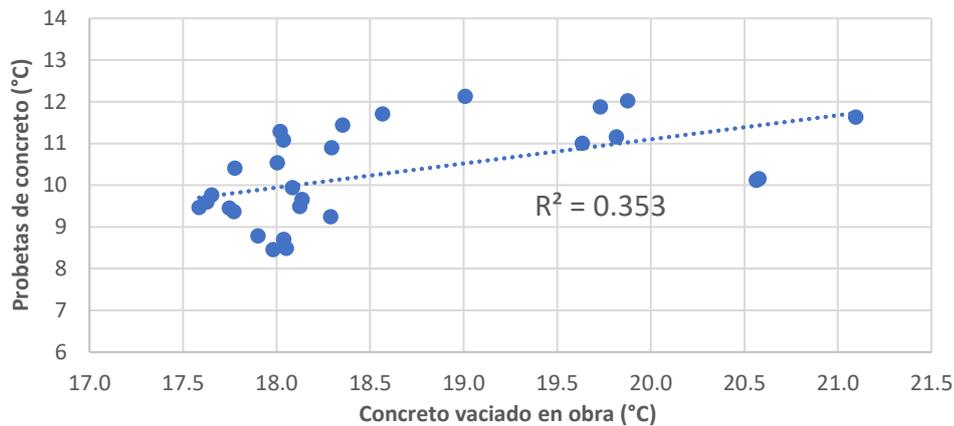
Edad (Días)	Resistencia potencial en obra (kg/cm ²)	Factor Temperatura Tiempo			Edad Equivalente		
		Resistencia estimada (kg/cm ²)	Error (%)	Desviación Estándar (%)	Resistencia estimada (kg/cm ²)	Error (%)	Desviación Estándar (%)
7	157.8	166.41	-5		158.76	-1	
7	160.84	156.25	3		152.91	5	
14	185.75	213.03	-14	6.1	204.92	-10	5.7
14	186.49	201.88	-8		198.76	-6	
28	228.61	258.61	-12		251.01	-9	
28	236.58	246.28	-4		244.5	-3	

Nota. El cálculo de las desviaciones estándar se realizó mediante la función +DESVEST.M del software Microsoft Excel. *Elaborado por el investigador.*

En lo que respecta a la relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y del concreto vaciado en la referida obra, mediante el método de madurez, se acepta la hipótesis alterna específica, contrariamente a lo que se planteó. Este resultando es debido a una casualidad, ya que, el coeficiente de determinación resulta 0.353, lo que implica que el 35.3% de la variabilidad de las temperaturas del concreto vaciado en obra es explicada por medio de las temperaturas de las probetas cilíndricas, hasta la edad de 28 días. El restante 84.7% de la variabilidad de las temperaturas del concreto vaciado en obra lo explican otras variables, siendo un porcentaje demasiado alto para suponer una posible asociación, como lo menciona **Domenech y Riba (1985)**.

Figura 29

Correlación de los datos de temperatura



Nota. El gráfico se determinó con los datos de la Tabla 53 y mediante el software Microsoft Excel.
Elaborado por el investigador.

Referente a la temperatura de curado, la normativa **ASTM C1074-19**, en la sección: Procedimiento para desarrollar la relación Resistencia-Madurez, refiere lo siguiente: A menos que se especifique lo contrario, cure en húmedo las muestras en un tanque de almacenamiento de agua o en una habitación húmeda que cumple con los requisitos de la especificación ASTM C511. En la presente investigación primeramente se pretendió usar una poza de curado a temperatura controlada para realizar los ensayos, pero se tuvo la limitación de un laboratorio completo que presente dicho equipo, a causa del estado de emergencia por la COVID-19, quedando restringido la mayoría de laboratorios. Entonces se decide usar una poza de curado a temperatura ambiente, en vista que los autores **Aspilcueta (2015)**; y, **Corro y Ramos (2015)** realizan el curado de la misma manera, resultando relaciones Resistencia-Madurez representativos.

En cuanto a la relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y del concreto vaciado en la referida obra, mediante el método de madurez, se acepta la hipótesis alterna específica. Esto se debe a que los valores para el modelo de Nurse-Saul, aumentan con el tiempo, independientemente del historial térmico. (a menos que las temperaturas sean menores que la temperatura de referencia).



En la presente investigación se tuvo valores mínimos en las probetas de concreto de 17.25 °C y en obra de 0 °C, por lo tanto, este modelo es creciente con el tiempo. Para el modelo de Arrhenius, como en su parte exponencial se encuentran las variables de temperatura promedio, temperatura específica y el valor Q, puede tomar cualquier valor, el resultando siempre va ser un numero positivo, que aumentará con el tiempo, tal como lo menciona **Carino (1984)**.

Un punto importante a resaltar es el valor de la temperatura específica en obra para el modelo de Arrhenius, ya que en la sección: Procedimiento para estimar la resistencia in situ de la normativa **ASTM C1074-19**, recomienda utilizar el mismo valor de temperatura de referencia y/o valor Q, (que es igual a la división entre la Energía de Activación y la Constante de Gas) el que sea aplicable; que se usó para calcular el índice de madurez durante el desarrollo de la relación resistencia-madurez patrón. Sin embargo; no menciona la temperatura específica en obra, razón por la que en la presente investigación se asume la máxima temperatura del concreto en obra durante las primeras 24 horas después del vaciado, cuyo valor es igual a 25.7 °C. Debido a que el fraguado del concreto se da durante las primeras 24 horas, etapa importante ya que es el inicio de la ganancia de resistencia; y, una elevada temperatura en esta etapa acelera las reacciones químicas de la hidratación del cemento, resultando aumento de resistencia. Tal como lo menciona **Soroka (1993)**. Este valor estima resistencias que se asemejan en mayor medida a las resistencias potenciales obtenidas de obra; por lo tanto, se deja este criterio para discusión y comprobación de futuras investigaciones.

De acuerdo a las relaciones Resistencia-Madurez patrones de las probetas cilíndricas de concreto para el método de madurez determinadas, se obtiene para ambos métodos coeficientes de determinación 0.994, siendo valores confiables para la



estimación. Estos resultados guardan relación con lo que identifican **Gamba, et al. (2019)**, quienes señalan que la correlación entre la resistencia a la compresión y el índice de madurez es válida para mezclas con concentraciones de 2000, 2500, 3000 y 3500 PSI, siendo aproximadamente 3000 PSI ($\approx 210 \text{ kg/cm}^2$) la concentración de la mezcla en la presente investigación. Un punto importante a detallar de estas estimaciones en función a las relaciones patrones es que para la condición curado a temperatura variable (en obra) el modelo Arrhenius se ajusta mejor que el modelo de Nurse-Saul a las resistencias potenciales obtenidas en obra, mientras que para la condición de curado a temperatura constante de $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, (corroboración de datos) los dos modelos se ajustan bien a las resistencias de probetas de concreto ensayadas.

Respecto al tiempo de desencofrado de las columnas y vigas del cerco perímetro, según las especificaciones técnicas refiere desencofrar de 2-3 días después del vaciado. Para saber el tiempo de desencofrado según los modelos Nurse-Saul y Arrhenius, primeramente, se usó la curva resistencia – edad de las probetas de concreto, (Tabla 23 y Figura 10) para determinar los porcentajes alcanzados en cada edad, tomando la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días (294.08 kg/cm^2) como el 100%. Después con estos porcentajes determinar las correspondientes resistencias esperadas en obra, donde el 100% es igual a la resistencia a la compresión específica de 210 kg/cm^2 . Con las resistencias obtenidas y las ecuaciones 13 y 14 para el modelo de Nurse-Saul y Arrhenius respectivamente, se calculó la madurez para cada edad. Finalmente usando estos resultados y las Tablas 36 y 38 se determinó la edad de desencofrado para cada porcentaje de resistencia solicitada.

Tabla 59*Tiempos de desencofrado para los elementos estructurales en obra*

Edad (días)	Resistencia de probetas de concreto		Resistencia esperada en obra		Nurse-Saul		Arrhenius	
	(kg/cm ²)	%	(kg/cm ²)	%	(C-día)	(días)	(día)	(días)
1	61.01	20.75	43.57	20.75	14.39	1.27	0.77	1.42
2	110.5	37.57	78.91	37.57	23.88	2.10	1.28	2.41
3	150.01	51.01	107.12	51.01	35.77	3.15	1.92	3.66
4	173.25	58.91	123.72	58.91	45.36	4.01	2.43	4.67
5	190.18	64.67	135.81	64.67	53.94	4.78	2.90	5.59
6	202.42	68.83	144.55	68.83	61.13	5.43	3.28	6.36
7	208.50	70.90	148.89	70.90	65.05	5.79	3.49	6.78

Nota. Los resultados se calcularon hasta la edad de 7 días, ya que en obra se curó hasta esta edad.
Elaborado por el investigador.

Como se puede observar para la edad de 2 y 3 días, según el modelo de Nurse-Saul se obtiene 2.10 y 3.15 días respectivamente y para el modelo de Arrhenius 2.41 y 3.66 días respectivamente. Estos valores indican que para realizar el desencofrado de las vigas y columnas del cerco perimétrico se tiene que esperar un tiempo adicional de acuerdo a las condiciones presentadas en obra.

Pero si suponemos que el elemento estructural es una losa de luz libre menor a 3 metros, según el **ACI 347R-14**: “Guía de encofrado para el concreto”, recomienda un tiempo de desencofrado de 7 días como mínimo. Entonces para el modelo de Nurse-Saul resulta 5.79 días y para el modelo de Arrhenius 6.78 días, evidenciando tiempos menores para ambos modelos. De esta manera se puede evaluar el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto en obra teniendo en cuenta las condiciones presentes en el lugar. En el Anexo 19 se muestra el Manual de Aplicación del Método de Madurez



V. CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo general, se determinó un nivel de relación alto del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante el método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca” durante los meses de mayo y junio del año 2021. Donde, según la función de Nurse Saul o Factor Temperatura Tiempo se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Pearson de $r_{xy} = 0.963$, implicando un grado de asociación muy alta. De igual manera para la función de Arrhenius o Edad Equivalente se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Pearson de $r_{xy} = 0.976$, el cual también muestra un grado de asociación muy alta. La función de Arrhenius se ajustó mejor a las condiciones de exposición y curado en obra. De acuerdo a estas correlaciones positivas, se pudo predecir de manera confiable las resistencias a la compresión en obra, aplicando el método de madurez.

Asimismo, respecto al primer objetivo específico, se determinó el nivel de relación entre las temperaturas internas del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, teniendo como resultado un Coeficiente de Correlación de Spearman $r_s = 0.594$ con grado de asociación moderada con pendiente positiva.

Del mismo modo, de acuerdo al segundo objetivo específico, se determinó el nivel de relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021. Donde para la función de Nurse Saul o Factor Temperatura Tiempo se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Spearman de $r_s = 0.994$, teniendo como



resultado un grado de asociación muy alta. De igual manera para la función de Arrhenius o Edad Equivalente se obtuvo un Coeficiente de Correlación de Spearman de $r_s = 0.998$, el cual también presentó un grado de asociación muy alta.

Finalmente, de acuerdo al tercer objetivo específico, se determinó y comprobó las relaciones Resistencia - Madurez Patrón de las probetas cilíndricas de concreto para el método de madurez, resultando las relaciones logarítmicas para el modelo de Nurse-Saul: $f'c = 69.826 * Ln(M) - 142.650$ y para el modelo de Arrhenius: $f'c = 69.764 * Ln(M) + 61.642$, con coeficientes de determinación lineal de 0.994 para ambos modelos.

Adicionalmente, a lo largo del desarrollo de presente tesis, se logró contrastar que la normativa ASTM C1074-19 no establece como determinar el valor de la temperatura específica para el cálculo de la función Edad Equivalente de obra.



VI. RECOMENDACIONES

En base al estudio realizado en la presente tesis, se recomienda:

Aplicar el método de madurez según la norma ASTM C 1074 / NTP 339.217: “Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez”, como herramienta de control de calidad del concreto en los proyectos de construcción en el departamento de Puno, para un adecuado seguimiento de la resistencia a edades tempranas y a largo plazo, siendo un complemento del ensayo estandarizado en muestras cilíndricas.

Así también, controlar la temperatura del concreto in situ para evaluar el desarrollo de la resistencia, mediante el índice de madurez, con el objetivo de llevar a cabo un adecuado control de los procesos constructivos con fines de desencofrados rápidos, como también para evitar posibles efectos adversos como fisuración en la estructura de concreto debido a las variaciones térmicas.

Del mismo modo, se recomienda realizar las mediciones del perfil térmico en varios puntos de la estructura, como de la temperatura ambiente, para conocer y controlar la velocidad de la ganancia de la resistencia in situ y de esta manera evaluar el mejoramiento mediante la implementación de las acciones de protección y curado del concreto durante el proceso constructivo.

Finalmente, para futuras investigaciones se recomienda el estudio del efecto de las variaciones térmicas cuando estas descienden por debajo de los 0°C en la resistencia a la compresión a tempranas edades y largo plazo, mediante el control térmico del concreto in situ.



Adicionalmente, para determinar el valor de la temperatura específica para el cálculo de la función Edad Equivalente en obra, se recomienda usar la máxima temperatura del concreto en obra, registrada durante las primeras 24 horas.



VII. REFERENCIAS

7.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Editorial San Marcos. Lima, Perú.

American Concrete Institute – ACI. *Estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto armado*. Recuperado de: www.concrete.org

American Psychological Association – APA. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165000>

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. 6ta. Fidas G. Arias Odón.

Aspilcueta Asencios, M. U. (2015). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto estimada a partir de la utilización del método de madurez*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú].

Bernhardt, C. J. (1956). *Endurecimiento del hormigón a diferentes temperaturas*. Simposio llevado a cabo en La Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales, Sistemas y Estructuras de Construcción (RILEM por sus siglas en francés) en Hormigonado de Invierno, Sesión BII, Copenhague.

Carbajal, E. P. (1993). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú.

Carino, N. J. (1984). El método de madurez: teoría y aplicación. *ASTM Journal of Cement, Concrete, and Aggregates*, Vol. 6, N° 2, págs. 61-73.



- Carino, N. J. and Lew. (2001). *The Maturity method: From Theory to Application. Structures Congress & Exposition*, May 21-23, 2001, Washington, D.C., American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Peter C. Chang.
- Carino, N. J., Lew, H. S. y Volz, C. K. (1982). *Efectos de la temperatura en edades tempranas en la predicción de la resistencia del hormigón por el método de madurez*, J. Am. Conc. Inst.
- Chin, F. K. (1971). Relación entre resistencia y madurez del hormigón. *Journal American Concrete Institute*, 68 (3), 196.
- Corro Mantilla, H. L. y Ramos Morales, A. L. (2015). *Correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión*. [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo – Perú].
- Cruz Ramírez, A. P. (2013). *Pruebas de Hipótesis para una muestra*. Modelos Estadísticos. Lima, Perú: Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Domenech, J. M. y Riba, M. D. (1985). *Métodos Estadísticos: Modelo Lineal de Regresión*. Barcelona, España.
- Flores Ruiz, E., Miranda Novales, M. G. y Villasís Keever, M. A. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada - Estadística inferencial. *Revista Alergia México*. Recuperado de <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/304/473>
- Flores, C. A. y Gonzáles, J. C. (2010). *Determinar curva de extrapolación de resistencia cilíndrica de concreto con respecto a las variaciones de la temperatura aplicando*



el método de madurez. [Tesis de Pregrado, Universidad de Carabobo, Carabobo - Venezuela].

Freiesleben Hansen, P. y Pedersen, E.J. (1982). *Vinterstobning af beton*, Anvisning 125, Statens Byggeforskningsinstitut, Copenhagen – Dinamarca.

Gamba, O., Peña, G. y Pineda, Y. (2019). Aplicación del método de madurez para estimar la resistencia a la compresión del hormigón en masa. *Revista de física: Serie de conferencias*.

Gorgas Garcia, J., Cardiel López, N. y Zamorano Calvo J. (2011). *Estadística Básica para Estudiantes de Ciencias*. Departamento de Astrofísica y Ciencias de la Atmósfera. España: Universidad Complutense de Madrid.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU.

Malhotra, V. M, y Carino, N. J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. 2da edición. ASTM Internacional. West Conshohocken, P.A.

McIntosh, J. D. (1949). Curado eléctrico de hormigón. *Magazine of Concrete Research*, 1 (1), 21.

Mena, F. M. (1994). *Manual de tecnología del concreto*. Comisión Federal de Electricidad. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Editorial LIMUSA. México.

Mendenhall, W., Beaver, R. J. y Beaver, B. M. (2010). *Introducción a la Probabilidad y Estadística*. 10ma edición. Cengage Learning Editores. México, D.F.



- Neville, A. M. (1999). *“Tecnología del Concreto”*. 1ra edición. Instituto del Cemento y del Concreto. A.C.
- Nolberto Sifuentes, V. A. y Ponce Aruneri, M. E. (2008). *Estadística Inferencial Aplicada*. Unidad de Post Grado de la Facultad de Educación. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Norma Técnica Peruana. Recopilación de las normas técnicas vigentes para los diversos estudios y ensayos. Recuperado de: <https://www.inacal.gob.pe/principal/categoria/normas-tecnicas-peruanas>
- Norma Técnica de Edificación. E.060 Concreto armado. Recuerdo de: <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Nurse, R. W. (1949). Curado con vapor de hormigón. *Magazine of Concrete Research*, 1 (2), 79.
- Nykanen, A. (1956). *Endurecimiento del hormigón a diferentes temperaturas, especialmente por debajo del punto de congelación*. Simposio llevado a cabo en La Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales, Sistemas y Estructuras de Construcción (RILEM por sus siglas en francés) en Hormigonado de Invierno, Sesión B, Copenhague – Dinamarca.
- Ortiz Lozano, J. Á. (2005). *Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona - España].
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima, Perú.



- Plowman, J. M. (1956). Madurez y resistencia del hormigón. *Magazine of Concrete Research*, 8 (22), 13.
- Quispe Andía, A., Calla Vasquez, K. M., Yangali Vicente, J. S., Rodriguez Lopez, J. L. y Pumacayo Palomino, I. I. (2019). *Estadística No Paramétrica Aplicada a la Investigación Científica*. Colombia: Editorial EIDEC.
- Raje, S. R., Deshmukh, P. A., Swamy, R. M. y Patil, Y. S. (2019). Fundamentals of Maturity Methods for Estimating Concrete Strength: Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 6 (2).
- Reglamento Nacional de Edificaciones. Índice de tablas y normativas vigentes. Recuperado de: <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bhandar Editores LTDA. Santafé de Bogotá – Colombia. Recuperado de: <https://bit.ly/3g6oC91>
- Saul, G. A. (1951). Principios subyacentes al curado con vapor de hormigón a presión atmosférica. *Magazine of Concrete Research*, 2 (6), 127.
- Schellhammer, J., Delatte, N. and Bosela, P. (2013). *Another Look at the Collapse of Skyline Plaza at Bailey's Crossroads, Virginia*. Civil and Environmental Engineering Faculty Publications. EE.UU.: Cleveland State University.
- Soroka I. (1993). *Concreto en Ambientes Calientes*. E & FN Spon. London.



7.2. REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM C597 / NTP 339.237: "Método de ensayo para determinar la velocidad de pulso a través del concreto".

ASTM C805 / NTP 339.181: "Método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido (esclerometría)".

ASTM C1074-19: "Práctica Estándar para Estimar la Resistencia del Concreto por el Método de Madurez".

ASTM C125-20 / NTP 339.047: "Terminología estándar relacionada con el concreto y los agregados de concreto".

ASTM C127-15 / NTP 400.021: "Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado grueso".

ASTM C128-15 / NTP 400.022: "Método de prueba estándar para densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino".

ASTM C136/C136M-19 / NTP 400.012: "Método de prueba estándar para el análisis por tamizado de agregados finos y gruesos".

ASTM C143/C143M-15^a / NTP 339.035: "Método de prueba estándar para el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico".

ASTM C150 / NTP 334.009: "Especificación de norma para el cemento portland".

ASTM C1602 / NTP 339.088: "Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland".



ASTM C1768/ NTP 339.2013: “Práctica estándar para el curado acelerado de cilindros de hormigón”.

ASTM C192/C192M-19 / NTP 339.183: “Práctica estándar para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio”.

ASTM C29/C29M-17 / NTP 400.017: “Método de prueba estándar para densidad aparente ("peso unitario") y vacíos en el agregado”.

ASTM C31 / NTP 339.033: “Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de prueba de concreto en obra”.

ASTM C33/C33M-18 / NTP 400.037: “Especificación estándar para agregados de hormigón”.

ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034: “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”.

ASTM C511 / NTP 334.077: “Especificación estándar para cuartos de mezcla, gabinetes húmedos, cuartos húmedos y tanques de almacenamiento de agua usados en las pruebas de cementos y hormigones hidráulicos”.

ASTM C566-19 / NTP 339.185: “Método de prueba estándar para el contenido de humedad evaporable total del agregado por secado”.

ASTM C595 / NTP 334.090: “Especificación estándar de los cementos hidráulicos adicionados”.



ASTM C78 / NTP 339.078: “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en el tercer punto)”.

ASTM C803/C803M-03: “Método de prueba estándar para la resistencia a la penetración del concreto endurecido”.

ASTM C873 / NTP 339.2014: “Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de cilindros de concreto, fundidos en su lugar en moldes cilíndricos”.

ASTM C900-14: “Método de prueba estándar para resistencia a la extracción del concreto endurecido”.

ASTM C918/C918M-20 / NTP 339.215: “Método de prueba estándar para medir la resistencia a la compresión en una edad temprana y proyectar la resistencia en una edad avanzada”.



ANEXOS

ANEXO 1. CERTIFICADO DE CALIDAD DEL CEMENTO PORTLAND TIPO IP

CERTIFICADO DE CALIDAD



RUMI

CEMENTO PORTLAND TIPO IP

<u>REQUERIMIENTOS QUIMICOS:</u>	YURA	ASTM C595 NTP 334.090
Óxido de Magnesio, MgO, %	1.99	6.00 Máximo
Trióxido de Azufre, SO ₃ , %	1.87	4.00 Máximo
Pérdida por Ignición o al Fuego, P.F %	2.53	5.00 Máximo
 <u>REQUERIMIENTOS FISICOS:</u>		
Peso Especifico (g/cm ³)	2.78	No Especifica
Expansión en Autoclave, %	-0.04	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	214	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	284	420 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	4.43	12.00 Máximo
Superficie especifica Blaine cm ² /gr	4941	No Especifica
Resistencia a la Compresión, MPa, (Kgf/cm ²)		Mínimo:
01 día	8.57 (87)	No Especifica
03 días	18.30 (187)	13.0 (133)
07 días	22.65 (231)	20.0 (204)
28 días	31.20 (318)	25.0 (255)

Este Documento muestra las Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes de septiembre 2020 confirmando que este cemento cumple las especificaciones de las normas ASTM C595 y NTP 334.090.

Arequipa, 01 de Octubre 2020



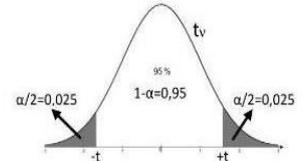

Gonzalo Álvarez Cárdenas
Jefe de Control de Calidad Yura S.A.
CIP: 88752

Planta: Carretera Yura Km. 26 - Arequipa
Oficina comercial: Av. General Díez Canseco 527 - Arequipa
Telf.: (51 54) 495060 / 225000

ANEXO 2. TABLA DE DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT

Distribución t de Student

Contiene los valores de t tales que $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$, donde v son los Grados de Libertad

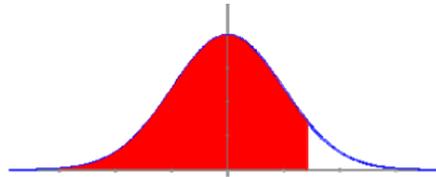


		$\alpha/2$												
		0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
v grados de libertad	1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
	2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
	3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
	4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
	5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
	6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
	7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
	8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
	9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
	10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
	11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
	12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
	13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
	14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
	15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
	16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
	17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
	18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
	19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
	20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
	21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
	22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
	23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
	24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
	25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
	28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
	31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
	32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
	34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
	35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95	
v grados de libertad	36	3,582	3,333	2,719	2,434	2,028	1,688	1,306	0,852	0,681	0,529	0,255	0,127	0,063
	37	3,574	3,326	2,715	2,431	2,026	1,687	1,305	0,851	0,681	0,529	0,255	0,127	0,063
	38	3,566	3,319	2,712	2,429	2,024	1,686	1,304	0,851	0,681	0,529	0,255	0,127	0,063
	39	3,558	3,313	2,708	2,426	2,023	1,685	1,304	0,851	0,681	0,529	0,255	0,126	0,063
	40	3,551	3,307	2,704	2,423	2,021	1,684	1,303	0,851	0,681	0,529	0,255	0,126	0,063
	41	3,544	3,301	2,701	2,421	2,020	1,683	1,303	0,850	0,681	0,529	0,255	0,126	0,063
	42	3,538	3,296	2,698	2,418	2,018	1,682	1,302	0,850	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	43	3,532	3,291	2,695	2,416	2,017	1,681	1,302	0,850	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	44	3,526	3,286	2,692	2,414	2,015	1,680	1,301	0,850	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	45	3,520	3,281	2,690	2,412	2,014	1,679	1,301	0,850	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	46	3,515	3,277	2,687	2,410	2,013	1,679	1,300	0,850	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	47	3,510	3,273	2,685	2,408	2,012	1,678	1,300	0,849	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	48	3,505	3,269	2,682	2,407	2,011	1,677	1,299	0,849	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	49	3,500	3,265	2,680	2,405	2,010	1,677	1,299	0,849	0,680	0,528	0,255	0,126	0,063
	50	3,496	3,261	2,678	2,403	2,009	1,676	1,299	0,849	0,679	0,528	0,255	0,126	0,063
	51	3,492	3,258	2,676	2,402	2,008	1,675	1,298	0,849	0,679	0,528	0,255	0,126	0,063
	52	3,488	3,255	2,674	2,400	2,007	1,675	1,298	0,849	0,679	0,528	0,255	0,126	0,063
	53	3,484	3,251	2,672	2,399	2,006	1,674	1,298	0,848	0,679	0,528	0,255	0,126	0,063
	54	3,480	3,248	2,670	2,397	2,005	1,674	1,297	0,848	0,679	0,528	0,255	0,126	0,063
	55	3,476	3,245	2,668	2,396	2,004	1,673	1,297	0,848	0,679	0,527	0,255	0,126	0,063
	56	3,473	3,242	2,667	2,395	2,003	1,673	1,297	0,848	0,679	0,527	0,255	0,126	0,063
	57	3,470	3,239	2,665	2,394	2,002	1,672	1,297	0,848	0,679	0,527	0,255	0,126	0,063
	58	3,466	3,237	2,663	2,392	2,002	1,672	1,296	0,848	0,679	0,527	0,255	0,126	0,063
	59	3,463	3,234	2,662	2,391	2,001	1,671	1,296	0,848	0,679	0,527	0,254	0,126	0,063
	60	3,460	3,232	2,660	2,390	2,000	1,671	1,296	0,848	0,679	0,527	0,254	0,126	0,063
120	3,373	3,160	2,617	2,358	1,980	1,658	1,289	0,845	0,677	0,526	0,254	0,126	0,063	
∞	3,300	3,098	2,581	2,330	1,962	1,646	1,282	0,842	0,675	0,525	0,253	0,126	0,063	

ANEXO 3. TABLA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL TIPIFICADA O TABLA Z

TABLA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

$$P(Z \leq z) = F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998

ANEXO 4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>PROBLEMA GENERAL: ¿Cuál es el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante el método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede de Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL: Determinar el nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante el método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede de Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL: El nivel de relación del desarrollo de las resistencias a la compresión del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y estimadas mediante el método de madurez en la ejecución de la obra “Creación del Cerco Perimétrico de la Sede de Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.</p>	<p>VARIABLE 1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 210 KG/CM² DE PROBETAS CILÍNDRICAS Dimensiones: - Resistencia a la compresión (f_c)</p> <p>VARIABLE 2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 210 KG/CM² ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ Dimensiones: - Resistencia a la compresión (f_c) - Temperatura interna del concreto (°C).</p>	<p>Tipo de investigación: Relacional.</p> <p>Método de investigación: Cuantitativo.</p> <p>Diseño de la investigación: Experimental.</p>	<p>POBLACIÓN: Probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm².</p> <p>MUESTRA: - 46 probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm² para determinar la resistencia a la compresión. - 4 probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm² para registrar el historial de temperatura. - 2 elementos estructurales de 210 kg/cm² para registrar el historial de temperatura. - 6 probetas cilíndricas de concreto de 210 kg/cm² de obra para determinar la resistencia a la compresión y así, verificar el método.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS: - ¿Cuál es la relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021?</p> <p>- ¿Cómo es la relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICOS: - Determinar la relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.</p> <p>- Determinar la relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS: -La relación entre las temperaturas internas del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es nula.</p> <p>-La relación entre los índices de madurez del concreto de 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en la ejecución de la referida obra, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.</p>			
<p>- ¿Como es la relación Resistencia-Madurez patrón de las probetas cilíndricas del concreto de 210 kg/cm² para la aplicación del método de madurez, durante los meses de mayo y junio del año 2021?</p>	<p>- Determinar y comprobar la relación Resistencia-Madurez patrón de las probetas cilíndricas del concreto de 210 kg/cm² para la aplicación del método de madurez, durante los meses de mayo y junio del año 2021.</p>	<p>-La relación Resistencia-Madurez patrón de las probetas cilíndricas del concreto de 210 kg/cm² para la aplicación del método de madurez, durante los meses de mayo y junio del año 2021, es alta.</p>			

ANEXO 5. OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	TÉCNICAS Y/O INSTRUMENTOS
Variable 1: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 210 KG/CM2 DE PROBETAS CILINDRICAS	(Pasquel, 1998) La resistencia a la compresión es la propiedad que relaciona las características de mecánica general. Se define como la capacidad máxima de la resistencia a carga axial de probetas cilíndricas de concreto.	Para determinar la resistencia a la compresión en laboratorio se emplea la normativa ASTM C39/C39M-20 / NTP 339.034: Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.	- Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	Cuantitativo	TÉCNICAS: Observación INSTRUMENTOS: - Ficha de observación en laboratorio - Ficha de gabinete - Módulos digitales para registrar datos de temperatura (termómetros) - Ordenador portátil
Variable 2: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE 210 KG/CM2 ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ	(Malhotra y Carino, 2004) La resistencia a la compresión en obra mediante el método de madurez se estima en función de la relación Resistencia - Madurez patrón.	Para determinar esta relación Resistencia - Madurez patrón, se utiliza la función logarítmica, la cual relaciona las resistencias a la compresión con los índices de madurez (Factor Tiempo-Temperatura y/o Edad Equivalente) y dos constantes que están relacionadas con la relación agua-cemento del concreto y el tipo de cemento.	- Resistencia a la compresión - Temperatura interna del concreto	Kg/cm ² °C	Cuantitativo Cuantitativo	HERRAMIENTA DE PROCESAMIENTO DE DATOS: Uso de softwares: - Microsoft Excel - IBM SPSS Statistics



ANEXO 6. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS EMPLEADOS

CEM INDUSTRIAL		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
		Número Expediente Página	LT-145-2021 20302 1 de 5
Solicitante	G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.		
Dirección	AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740, PUNO - PUNO - PUNO		
Laboratorio de temperatura			
<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>Los resultados del presente certificado son válidos sólo para el instrumento calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.</p> <p>Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito de Cem Industrial.</p> <p>Certificados sin firma y sello carecen de validez.</p> <p>Cem Industrial no se responsabiliza de los perjuicios del uso inadecuado de este instrumento, ni de la incorrecta interpretación de los resultados aquí presentados.</p>	<p>Equipo</p> <p>Marca / Fabricante</p> <p>Modelo</p> <p>Serie / Identificación</p> <p>Procedencia</p> <p>Instrumento de medición</p> <p>Marca / Fabricante</p> <p>Modelo</p> <p>Alcance / Resolución</p> <p>Identificación</p> <p>Selector</p> <p>Marca / Fabricante</p> <p>Modelo</p> <p>Alcance / Resolución</p> <p>Ubicación del instrumento</p>	<p>HORNO</p> <p>ALFA</p> <p>G-0301250</p> <p>NO INDICA / NO INDICA</p> <p>NO INDICA</p> <p>TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL</p> <p>NO INDICA</p> <p>NO INDICA</p> <p>300 °C / 0.1 °C</p> <p>NO INDICA</p> <p>DIGITAL</p> <p>NO INDICA</p> <p>NO INDICA</p> <p>300 °C / 0.1 °C</p> <p>LABORATORIO DE ANÁLISIS Y ENSAYOS</p>	
Lugar de calibración	AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740, PUNO - PUNO - PUNO		
Fecha de calibración	2021-12-21		
Sello	Fecha de emisión	Jefe del laboratorio de calibración	
	2021-12-28	 JESUS QUINTO C. JEFE DE LABORATORIO	
Centro Especializado en Metrología Industrial Mz. A, Lote 1B, Urb. El Pacifico II Etapa, S.M.P. - Lima • Telf.: 6717346 • CEL: 958009776 / 958009777 • ventas@cemind.com • jesus.quinto@cemind.com • www.cemind.com			



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número **LT-145-2021**
Expediente **20302**
Página **2 de 5**

Método de calibración

Se determina la temperatura de distintos puntos internos del Medio Isotermo siguiendo el "Procedimiento para la calibración o caracterización de Medios Isotermos con aire como medio termostático" INDECOPÍ-SNM PC-018

Condiciones Ambientales

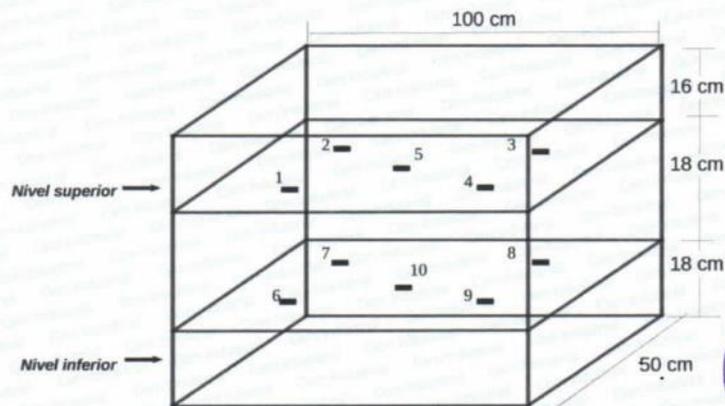
	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	13,4 °C	12,8 °C
HUMEDAD RELATIVA	52 %	54 %

Patrones usados

TRAZABILIDAD	INSTRUMENTO PATRÓN UTILIZADO	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
INACAL	Termómetro digital	LT-304-2021
INACAL	Termómetro digital	LT-305-2021
METROIL	Termohigrómetro	T-3787-2021

Puntos de calibración

Los termopares 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivas parrillas.
Los termopares del 1 al 5 están ubicados a 2 cm por encima de la parrilla superior.
Los termopares del 6 al 10 están ubicados a 2 cm por debajo de la parrilla inferior.
Los termopares del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 25 cm de las paredes 12 cm del frente y fondo del horno respectivamente.
Los escalones indican las posiciones de las parrillas.



Centro Especializado en Metrología Industrial
Mz. A, Lote 1B, Urb. El Pacífico II Etapa, S.M.P. - Lima
• Telf.: 6717346 • CEL: 958009776 / 958009777

• ventas@cemind.com • jesus.quinto@cemind.com • www.cemind.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número
Expediente
Página

LT-145-2021
20302
3 de 5

Resultados de Medición

PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C:

Periodo = 2 minutos

Tiempo (min)	T ind. (°C) (Termómetro o estufa)	TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T. prom. (°C)	Difer. de Temp. (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8	Sensor 9	Sensor 10		
0	110	109,8	108,2	105,5	104,7	105,7	101,6	101,6	108,4	105,6	101,6	105,3	8,2
2	110	110,0	108,2	106,1	105,4	106,2	102,1	101,7	108,7	105,9	101,7	105,6	8,3
4	110	109,9	108,0	106,0	105,5	106,0	102,0	101,6	109,8	107,1	101,4	105,7	8,5
6	110	109,9	108,1	106,2	105,7	105,8	101,9	101,7	109,7	105,6	101,5	105,6	8,4
8	110	110,3	108,4	106,1	105,6	106,1	102,1	101,6	109,4	107,3	102,6	106,0	8,7
10	110	110,6	108,8	106,1	105,1	106,7	102,3	102,3	109,7	106,7	102,8	106,1	8,3
12	110	110,6	108,8	106,8	105,8	106,6	102,1	102,3	109,7	107,5	103,0	106,3	8,5
14	110	110,7	109,0	106,8	106,2	106,7	102,4	102,4	110,4	108,0	103,6	106,6	8,3
16	110	110,7	109,1	106,6	105,8	107,0	102,2	102,3	110,0	107,6	103,1	106,4	8,5
18	110	110,7	109,0	106,7	105,9	106,5	102,4	102,8	109,8	107,4	102,8	106,4	8,3
20	110	110,5	108,7	106,6	105,6	106,8	102,7	102,1	110,6	107,8	102,7	106,4	8,5
22	110	110,2	108,8	106,7	105,9	106,5	102,5	102,6	108,9	107,8	103,3	106,3	7,7
24	110	110,4	108,8	106,9	106,2	106,8	102,5	103,3	110,6	107,6	103,1	106,6	8,1
26	110	110,8	109,1	107,1	106,7	107,3	103,0	102,6	110,1	107,1	103,6	106,7	8,2
28	110	110,8	109,1	107,2	106,6	107,3	103,0	103,1	111,3	108,9	104,3	107,2	8,3
30	110	110,8	109,2	107,2	106,2	107,1	102,9	102,9	109,8	108,3	104,0	106,8	7,9
32	110	110,9	109,3	107,3	106,6	107,4	103,4	103,4	111,8	109,4	103,4	107,3	8,4
34	110	110,6	108,7	107,3	106,4	107,3	102,6	102,8	110,6	108,2	103,0	106,8	8,0
36	110	110,2	108,7	107,0	105,9	106,8	102,6	103,4	110,5	108,6	103,6	106,7	7,9
38	110	110,1	108,9	106,8	106,4	106,4	103,3	103,3	110,1	108,7	103,1	106,7	7,0
40	110	110,4	108,6	106,9	106,2	106,8	103,0	102,7	110,9	108,8	103,0	106,7	8,2
42	110	110,6	108,7	107,1	106,3	107,2	102,7	102,2	111,0	109,4	103,0	106,8	8,8
44	110	110,0	108,6	106,8	106,3	106,4	103,1	102,3	111,1	108,3	103,8	106,7	8,8
46	110	110,2	108,3	106,7	105,7	106,7	102,3	101,8	110,4	109,0	103,3	106,4	8,6
48	110	110,1	108,6	106,9	105,9	107,3	102,6	103,4	110,8	108,3	103,5	106,7	8,2
50	110	110,0	108,8	106,8	106,2	106,8	103,6	102,9	110,0	108,7	103,6	106,7	7,1
52	110	110,2	108,7	107,1	106,3	106,7	102,9	102,8	110,9	109,1	104,3	106,9	8,1
54	110	110,4	108,5	107,0	106,4	107,0	102,5	103,5	111,1	109,3	103,9	107,0	8,6
56	110	110,4	108,8	107,0	106,1	106,9	102,9	103,2	111,0	110,2	104,3	107,1	8,1
58	110	110,5	109,0	107,0	106,2	107,0	103,0	103,1	110,4	109,1	104,5	107,0	7,5
60	110	110,5	108,9	107,2	106,3	107,1	103,6	102,8	111,2	109,3	104,0	107,1	8,4
T. PROM	110,0	110,4	108,7	106,8	106,0	106,7	102,6	102,6	110,3	108,1	103,2	106,5	7,8
T. MAX	110,0	110,9	109,3	107,3	106,7	107,4	103,6	103,5	111,8	110,2	104,5		
T. MIN	110,0	109,8	108,0	105,5	104,7	105,7	101,6	101,6	108,4	105,6	101,4		
DTT	110,0	1,1	1,3	1,8	2,0	1,7	2,0	1,9	3,4	4,6	3,1		



Centro Especializado en Metrología Industrial
Mz. A, Lote 18, Urb. El Pacifico II Etapa, S.M.P. - Lima
• Telf.: 6717346 • CEL: 958009776 / 958009777

• ventas@cemind.com • jesus.quinto@cemind.com • www.cemind.com



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número
Expediente
Página

LT-145-2021
20302
4 de 5

Resultados de Medición

PARÁMETROS	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima temperatura medida	111,8	0,4
Mínima temperatura medida	101,4	0,3
Desviación de temperatura en el tiempo	4,6	0,1
Desviación de temperatura en el espacio	7,8	0,3
Estabilidad medida (\pm)	2,30	0,04
Uniformidad medida	8,8	0,3

T. PROM: Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

T. prom: Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición para un instante dado.

T. MAX: Temperatura máxima.

T. MIN: Temperatura mínima.

DTT: Desviación de Temperatura en el tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedio de temperaturas registradas en ambas posiciones.

La estabilidad es considerada igual a $\pm \frac{1}{2}$ máx. DTT.

Durante la calibración y bajo las condiciones en que esta ha sido hecha, el medio isoterma cumple con los límites especificados de temperatura.

Observaciones

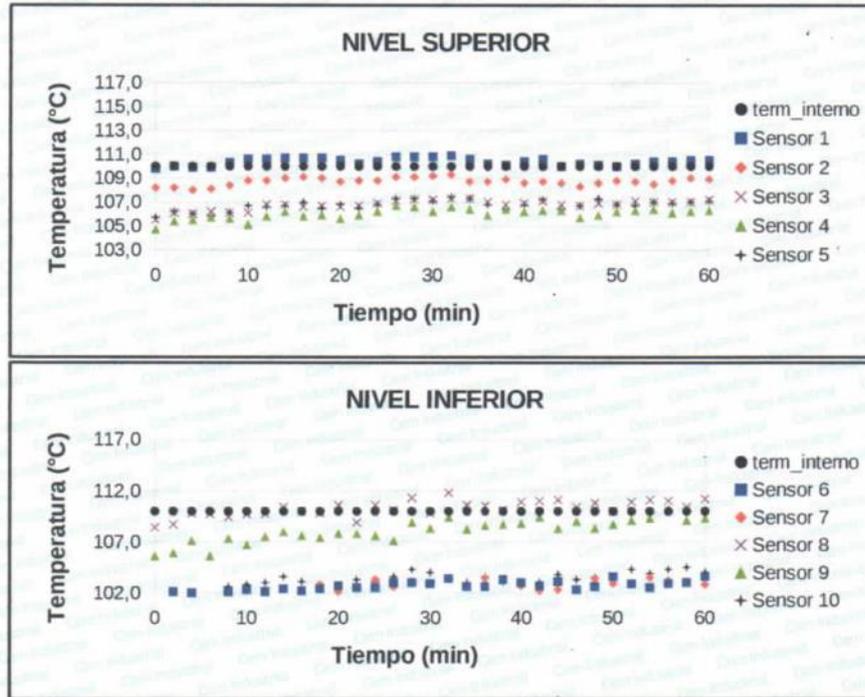
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de "CALIBRADO"
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, para una distribución normal de aproximadamente 95%.
- Los resultados obtenidos corresponde al promedio de 31 lecturas por punto de medición, luego del tiempo de estabilización
- La calibración se efectuó después de un precalentamiento de noventa minutos y treinta minutos de estabilización del medio isoterma.



Centro Especializado en Metrología Industrial
Mz. A, Lote 18, Urb. El Pacifico II Etapa, S.M.P. - Lima
• Telf.: 6717346 • CEL: 958009776 / 958009777

• ventas@cemind.com • jesus.quinto@cemind.com • www.cemind.com

Temperatura de trabajo: 110 °C



Fotografía mostrando la ubicación de los sensores de temperatura en el medio isoterma.



Fin del documento.



PyS

EQUIPOS

LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LM-1737-2021

DESTINATARIO : G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C
DIRECCIÓN : AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740 - PUNO - PUNO
FECHA : 2021/11/30
LUGAR DE CALIBRACIÓN : LAB. DE MASA PYS EQUIPOS

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: BALANZA

MARCA : OHAUS	CAPACIDAD MÁXIMA	30 kg
Nº DE SERIE : 8356390604	DIV. DE ESCALA (d)	0.001 kg
MODELO : R21PE30ZH	DIV. DE VERIFICACIÓN (e)	0.010 kg
TIPO : ELECTRÓNICA	CÓDIGO DE LA BALANZA	NO INDICA
CLASE : III	CAPACIDAD MÍNIMA	0.02 kg

PESAS UTILIZADAS: CERTIFICADO: 306, 314, 315, 316 - CM - M - 2020

CALIBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN: NMP-003-2009 y Procedimiento de Calibración de Balanzas de funcionamiento No Automático PC-001/Indecopi

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temp °C	Inicial	Final	H. R. %	Inicial	Final
	18.9	18.9		72	72

Medición Nº	Carga L1 = 15.000 kg			Carga L2 = 30.000 kg		
	l (kg)	ΔL (kg)	E (kg)	l (kg)	ΔL (kg)	E (kg)
1	15.000	0.0005	0.0000	30.000	0.0006	-0.0001
2	15.000	0.0005	0.0000	30.000	0.0006	-0.0001
3	15.000	0.0006	-0.0001	30.000	0.0006	-0.0001
4	15.000	0.0006	-0.0001	30.000	0.0005	0.0000
5	15.000	0.0006	-0.0001	30.000	0.0006	-0.0001
6	15.000	0.0005	0.0000	30.000	0.0006	-0.0001
7	15.000	0.0006	-0.0001	30.000	0.0005	0.0000
8	15.000	0.0006	-0.0001	30.000	0.0006	-0.0001
9	15.000	0.0006	-0.0001	30.000	0.0005	0.0000
10	15.000	0.0007	-0.0002	30.000	0.0005	0.0000

$E = l + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$

Carga (kg)	Diferencia Máxima (kg)	E.M.P. (kg)
15.00	0.0002	0.002
30.00	0.0001	0.003

OBSERVACIONES:

- Este informe de calibración NO podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización de PyS EQUIPOS.
- El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos de medición. Se recomienda realizar la calibración en intervalos de 06 meses dependiendo del uso y movilización de la misma



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Telf.: 485 3873 Cel: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe



PyS EQUIPOS

LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LM-1737-2021

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de las Cargas

2	5
	1
3	4

	Inicial	Final
Temp. °C	18.9	18.9

	Inicial	Final	Final
H.R. (%)	72	72	72

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				E. M. P. ± (kg)		
	Carga Mínima*	I (kg)	ΔL (kg)	Eo (kg)	Carga L (kg)	I (kg)	ΔL (kg)	E (kg)		Ec (kg)	
1	0.010	0.010	0.0005	0.0000	10.000	10.000	0.0005	0.0000	0.0000	0.002	
2		0.010	0.0006	-0.0001		10.000	0.0006	-0.0001	0.0000	0.0000	0.002
3		0.010	0.0005	0.0000		10.000	0.0006	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.002
4		0.010	0.0005	0.0000		10.000	0.0007	-0.0002	-0.0002	-0.0002	0.002
5		0.010	0.0005	0.0000		10.000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.002

* Valor entre 0 y 10e

$$E = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

$$Ec = E - Eo$$

ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temp. °C	18.9	18.9

	Inicial	Final	Final
H.R. (%)	72	72	72

Carga L (kg)	CRECIENTES				DECRECIENTES				E. M. P. ± (kg)
	I (kg)	ΔL (kg)	E (kg)	Ec (kg)	I (kg)	ΔL (kg)	E (kg)	Ec (kg)	
0.01	0.010	0.0005	0.0000						
0.20	0.20	0.0006	-0.0001	-0.0001	0.20	0.0005	0.0000	0.0000	+
0.10	0.10	0.0005	0.0000	0.0000	0.10	0.0006	-0.0001	-0.0001	2.000
0.50	0.50	0.0005	0.0000	0.0000	0.50	0.0006	-0.0001	-0.0001	0.001
1.00	1.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	1.00	0.0007	-0.0002	-0.0002	0.001
5.00	5.00	0.0007	-0.0002	-0.0002	5.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	0.001
10.00	10.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	10.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	0.002
15.00	15.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	15.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	0.002
20.00	20.00	0.0007	-0.0002	-0.0002	20.00	0.0006	-0.0001	-0.0001	0.002
25.00	25.00	0.0008	-0.0003	-0.0003	25.00	0.0007	0.0008	0.0008	0.003
30.00	30.00	0.0007	-0.0002	-0.0002	30.00	0.0007	0.0008	0.0008	0.003

$$E = I + \frac{1}{2}d - \Delta L - L$$

$$Ec = E - Eo$$

OBSERVACIONES: La Incertidumbre de la medición ha sido determinada con un factor de cobertura K = 2, para un nivel de confianza del 95%. Donde I = Indicación de la balanza.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:

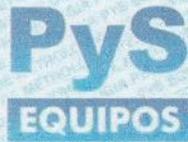
$$U = 2 \sqrt{0,000418 \text{ kg}^2 + 5,9 \times 10^{-9} \text{ R}^2}$$

EIP
Revisado por:
Eler Pozo S
Dpto. Metrologia

Angel Perez B
Calibrado por:
Angel Perez B
Dpto. Metrologia



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Tel.: 485 3873, Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe



LABORATORIO DE METROLOGIA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LM-1736-2021

DESTINATARIO : G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C
DIRECCION : AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740- PUNO - PUNO
FECHA : 2021/11/30
LUGAR DE CALIBRACIÓN : Laboratorio de Masa - PYS EQUIPOS

MARCA : OHAUS CAPACIDAD MÁXIMA 620 g
N° DE SERIE : 8341286316 DIV. DE ESCALA (d) 0.01 g
MODELO : NV622ZH DIV. DE VERIFICACIÓN (e) 0.01 g
TIPO : ELECTRÓNICA CÓDIGO NO INDICA
CLASE : II CAPACIDAD MÍNIMA 0.2 g

PESAS UTILIZADAS: CERTIFICADO: 316 - CM - M - 2020

CALBRACIÓN EFECTUADA SEGÚN: NMP-003-96 y Procedimiento de Calibración de Balanzas de funcionamiento No Automático PC-011

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	NIVELACIÓN	TIENE
SISTEMA DE TRABA	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temp °C	Inicial	Final	H. R. %	Inicial	Final
	18.5	18.4		71	71

Medición N°	Carga L1 = 300.00 g			Carga L2 = 600.00 g		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)
1	300.00	0.005	0.000	600.00	0.005	0.000
2	300.00	0.005	0.000	600.00	0.005	0.000
3	300.00	0.006	-0.001	600.00	0.006	-0.001
4	300.00	0.006	-0.001	600.00	0.006	-0.001
5	300.00	0.005	0.000	600.00	0.005	0.000
6	300.00	0.006	-0.001	600.00	0.006	-0.001
7	300.00	0.006	-0.001	600.00	0.007	-0.002
8	300.00	0.006	-0.001	600.00	0.005	0.000
9	300.00	0.005	0.000	600.00	0.006	-0.001
10	300.00	0.006	-0.001	600.00	0.005	0.000

$E = l + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$

Carga (g)	Diferencia Máxima (g)	E.M.P. (g)
300.00	0.001	0.03
600.00	0.002	0.03

OBSERVACIONES:

- Este informe de calibración NO podrá ser reproducido parcial o totalmente sin la autorización de PyS EQUIPOS EIRL
- El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos de medición. Se recomienda realizar la calibración en intervalos de 06 meses dependiendo del uso y movilización de la misma

Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Telf.: 485 3873 Cel: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe



*PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.

PyS

EQUIPOS

LABORATORIO DE METROLOGIA

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de las Cargas

2	5
1	
3	4

	Inicial	Final
Temp. °C	18.4	18.4

	Inicial	Final
H.R. (%)	71	71

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				E. M. P. ± (g)	
	Carga Mínima* (g)	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)		Ec (g)
1	0.10	0.10	0.005	0.000	200.00	200.00	0.005	0.000	0.000	0.02
2		0.10	0.005	0.000		200.01	0.007	0.008	0.008	0.02
3		0.10	0.005	0.000		200.00	0.005	0.000	0.000	0.02
4		0.10	0.005	0.000		199.99	0.004	-0.009	-0.009	0.02
5		0.10	0.005	0.000		200.00	0.007	-0.002	-0.002	0.02

* Valor entre 0 y 10e

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

$$Ec = E - Eo$$

ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temp. °C	18.4	18.4

	Inicial	Final
H.R. (%)	71	71

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				E. M. P. ± (g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
0.10	0.10	0.005	0.000						
0.50	0.50	0.005	0.000	0.000	0.20	0.005	-0.300	-0.300	0.01
1.00	1.00	0.006	-0.001	-0.001	1.00	0.005	0.000	0.000	0.01
10.00	10.00	0.006	-0.001	-0.001	10.00	0.006	-0.001	-0.001	0.01
50.00	50.00	0.005	0.000	0.000	50.00	0.006	-0.001	-0.001	0.02
100.00	100.00	0.006	-0.001	-0.001	100.00	0.007	-0.002	-0.002	0.02
200.00	200.00	0.006	-0.001	-0.001	200.00	0.006	-0.001	-0.001	0.02
300.00	300.00	0.005	0.000	0.000	300.00	0.006	-0.001	-0.001	0.03
400.00	400.00	0.006	-0.001	-0.001	400.00	0.006	-0.001	-0.001	0.03
500.00	500.00	0.006	-0.001	-0.001	500.00	0.006	-0.001	-0.001	0.03
620.00	620.01	0.007	0.008	0.008	620.01	0.007	0.008	0.008	0.03

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

$$Ec = E - Eo$$

OBSERVACIONES: La Incertidumbre de la medición ha sido determinada con un factor de cobertura K = 2, para un nivel de confianza del 95%. Donde I = Indicación de la balanza.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:

$$U = 6 \text{ mg} + (1,3 \times 10^{-6})I$$

EPP
Revisado por:
Eler Pozo S
Dpto. Metrologia

Angel Perez Barroso
Calibrado por:
Angel Perez Barroso
Dpto. Metrologia



Calle 4, Mz F1 Lt. 05 Urb. Virgen del Rosario - Lima 31
Tel.: 485 3873 Cel.: 945 183 033 / 945 181 317 / 970 055 989
E-mail: ventas@pys.pe / metrologia@pys.pe
Web Page: www.pys.pe

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL Y/O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE PYS EQUIPOS E.I.R.L.



ANEXO 7. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE PRESA HIDRÁULICA



LABORATORIO DE CALIBRACION

Página 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 0795 -CFP-2020

<p>Fecha de Emisión 2020/10/23</p> <p>Expediente 373</p> <p>1. SOLICITANTE G & C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.</p> <p>DIRECCIÓN AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740 - PUNO - PUNO - PUNO.</p> <p>2. EQUIPO DE MEDICIÓN PRESA HIDRÁULICA (Máquina de Ensayos Uniaxial)</p> <p>MARCA KAIZACORP</p> <p>ALCANCE 2000 KN</p> <p>DATOS DEL INDICADOR DEL EQUIPO</p> <p>Marca ZHEJIANG GEOTECHNICAL INST.</p> <p>Modelo No Indica</p> <p>Alcance 2000 KN</p> <p>División 0,01 KN (0-1000 KN) 0,1 KN (0-2000 KN)</p> <p>DATOS DEL MARCO DEL EQUIPO</p> <p>Marca KAIZACORP</p> <p>Código STYE-2000 DIGITAL</p> <p>Número de Serie 2005759</p> <p>Procedencia CHINA</p> <p>DATOS DEL TRANSDUCTOR</p> <p>Alcance 70 Mpa</p> <p>TIPO DE BOMBA ELECTRICA</p> <p>HIDRAULICA</p> <p>FECHA DE CALIBRACIÓN 2020/10/23</p> <p>3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN</p> <p>La calibración se realizó haciendo una Comparación Directa empleando una CELDA DE CARGA PATRÓN calibrado.</p> <p>4. LUGAR DE CALIBRACIÓN</p> <p>La calibración se realizó en las instalaciones de TOTAL WEIGHT & SYSTEMS S.A.C.</p>	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Gula para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.</p> <p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones 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 reglamentaciones vigentes.</p> <p>TOTAL WEIGHT & SYSTEMS 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.</p>
---	--



Ricardo Sotomayor Jaime
Gerente del LC

Jr. Bernal Montoya 1020 Urb. San Amadeo de Garagay San Martín de Porres - Lima - Telefonos: 5699749 - 5699750 - 5699751
Web: www.totalweight.com - Email: metrologiatw@totalweight.com



CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 0795 -OFF-2020

Página 2 de 2

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura °C	21.8	21.9
Humedad Relativa %HR	68.0	67.0

6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de Referencia	SISTEMA DE CELDA DE CARGA	INF-LE-264-18

7. OBSERVACIONES

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"

La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

8. RESULTADOS

RESULTADOS DE CALIBRACION

INDICACION DE LA MAQUINA	INDICACION DE LA CELDA PATRÓN			PROMEDIO	CORRECCIÓN
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3		
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	100.0	99.8	99.7	99.8	0.2
20	200.0	201.0	199.9	200.3	-0.3
30	300.0	401.1	400.0	400.4	-0.4
40	600.0	601.2	601.2	601.1	-1.1
50	800.0	801.1	801.2	801.5	-1.5
60	1000.0	1001.2	1001.2	1001.2	-1.2
70	1200.0	1201.2	1200.0	1200.8	-0.8
80	1400.0	1402.1	1402.1	1402.1	-2.1
90	1600.0	1602.1	1602.1	1602.1	-2.1
100	1800.0	1802.1	1801.1	1801.8	-1.8

Fin del Documento

Jr. Bernal Montoya 1020 Urb. San Amadeo de Garagay San Martín de Porres - Lima - Telefonos: 6699749 - 6699750 - 6699751
Web: www.totalweight.com - Email: metrologiatw@totalweight.com



Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224 OTORGA el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

TOTAL WEIGHT & SYSTEMS S.A.C.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Jr. Alfonso Bernal Montoya N° 1020, Urb. San Amadeo de Garagay, distrito San Martín de Porres, provincia Lima, departamento Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facilitándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-OSP-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 18 de agosto de 2018

Fecha de Vencimiento: 17 de agosto de 2022

MÓNICA MÉNDEZ CABANAS

Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 524-2018/INACAL-DA

Contrato N° :040-2014-INDECOPI-SNA/Asdena de fecha: 17 de agosto de 2018

Registro N° : LC-010

Fecha de emisión: 23 de agosto de 2018

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de modificación, desde que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web: www.inacal.gob.pe/registro/calibracion/acreditados al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Múltiple con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-OSP-02M Ver 02



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LF-121-2021

Laboratorio de Fuerza

Pág. 1 de 2

Expediente 20302
Solicitante G & C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.
Dirección AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740, PUNO – PUNO – PUNO
Instrumento de Medición Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos
 Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión

Equipo Calibrado PRENSA DE CONCRETO

Alcance de Indicación	2000	kN
Marca (o Fabricante)	KAIZACORP SAC	
Modelo	STYE-2000	
Número de Serie	2005759	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	NO INDICA	
Indicador de Lectura	INDICADOR DIGITAL	
Marca (o Fabricante)	NO INDICA	
Modelo	LM-02	
Número de Serie	NO INDICA	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	CHINA	
Alcance de Indicación	0 kN	A 2000 kN
Resolución	0,1 kN	
Transductor de Fuerza	TRANSDUCTOR	
Alcance de Indicación	NO INDICA	
Marca (o Fabricante)	NO INDICA	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	NO INDICA	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	NO INDICA	
Fecha de Calibración	2021-12-21	

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).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.

Ubic. Del Equipo LABORATORIO DE ANÁLISIS Y ENSAYOS
Lugar de Calibración AV. SIMON BOLIVAR NRO. 2740, PUNO – PUNO – PUNO

Sello



Fecha de emisión

2021-12-28

Jefe del laboratorio de calibración

CEM INDUSTRIAL

JESUS QUINTO C.
 JEFE DE LABORATORIO

Centro Especializado en Metrología Industrial
 Mz. A, Lote 18, Urb. El Pacifico II Etapa, S.M.P. - Lima
 • Telf.: 6717346 • CEL: 958009776 / 958009777
 • ventas@cemind.com • jesus.quinto@cemind.com • www.cemind.com

Método de Calibración

La calibración se realizó tomando como referencia el método descrito en la norma ISO 7500-1 / ISO 376, Verificación de Máquinas para Ensayos Uniaxiales Estáticos, Máquinas de Ensayo de Tensión / Compresión Verificación y Calibración del Sistema de Medición de Fuerza.

Trazabilidad

Se utilizaron patrones calibrados con trazabilidad al SI, calibrado en la universidad Católica del Perú Con Certificado N° INF-LE N° 013-21 (A)

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Cálculo de errores		Incertidumbre
		Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
%	kN	kN	kN	kN	kN	q(%)	b(%)	U(%)
10	100	101	101	101	101	-0,8	0,5	1,48
20	200	202	202	202	202	-0,9	0,1	0,76
30	300	301	302	302	302	-0,5	0,1	0,54
40	400	401	401	402	401	-0,3	0,2	0,45
50	500	500	501	502	501	-0,2	0,2	0,40
60	600	600	601	602	601	-0,2	0,2	0,37
70	700	700	701	702	701	-0,2	0,3	0,37
80	800	801	801	802	801	-0,1	0,1	0,31
90	900	999	1001	1002	1001	-10,0	0,3	0,32
Lectura máquina en cero		0	0	0	---	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 14,5°C ; Variación de temperatura en cada ensayo < 2 °C

Evaluación de los resultados

Los errores encontrados entre el 20 % y el 90 % del rango nominal considerado no superan los valores máximos permitidos establecidos en la norma ISO 7500-1.

Observaciones

Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.

La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95 %.

Fin del documento.



ANEXO 8. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS

			
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN Departamento de Instrumentación y Desarrollo Electrónico Laboratorio de Calibración Magnitud Temperatura			
Certificado de Calibración: ECC 072-2020		Fecha de emisión: 23 de noviembre del 2020	
Página 1 de 1			
Cliente(s)	: Bach. Ing. Civil Ronald William Calisaya Flores : Bach. Ing. Civil Karen Sofia Silva Huanca		
Dirección	: Jr. Pucará 463, Barrio Bellavista – Puno		
Marca	: ECC-Equipment		
Modelo	: ECCE-20-1-1		
Serie número	: 2011001		
Código de programación	: Arduino		
Tipo de sensor	: Termocupla K o Termopar K (2 hilos)		
Cantidad de sensores	: 5		
Precisión	: 0.25 °C		
Inmersión	: 200 mm		
Rango	: 0 a 200 °C		
Límite de error estándar	: +/- 2.0 °C		
Ubicación	: Laboratorio ECC Ingenieros		
Lugar de la calibración	: Laboratorio ECC Ingenieros - Jr. El Puerto 421 - Puno - Perú		
Método	: Comparación directa con termómetros patrones		
Fecha de calibración	: 21 de noviembre del 2020		
Fecha próxima calibración	: No solicitada		
Sello de calibración	: ECC 072-2020		
Condiciones ambientales	: (14 ± 2) °C (30 ± 5) %HR		
Patrón (Código)	: Sistema Termómetro Digital (EP-10)		
Marca	: Fluke		
Modelo	: 1521 / 5626-12		
Número de Serie	: A7A701 / 1795		
Calibrado por	: LCPN-T		
Certificado número	: DAkKS-0999		
Vigencia del patrón	: Agosto del 2021		
<p>Nota 1: Los resultados expresados en el presente certificado de calibración son válidos solo para el instrumento identificado y para las condiciones establecidas en el momento que se documenta el presente certificado.</p> <p>Nota 2: Los patrones usados en la presente calibración son trazables a patrones nacionales e internacionales, de acuerdo al Sistema Internacional de unidades (SI).</p> <p>Nota 3: La incertidumbre fue estimada de acuerdo al método expuesto en la Guía OILM G1-100 en 2008: (JCGM 100:2008) Y OILM G1-104 en 2009: (JCGM 104:2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.</p> <p>Nota 3: La incertidumbre reportada está basada en la Incertidumbre Estándar Combinada (u), multiplicada por un factor de cobertura k = 2, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.</p>			



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Centro de Instrumentación y Desarrollo Electrónico
Laboratorio de Calibración Magnitud Temperatura

Certificado de Calibración: ECC 072-2020 Fecha de emisión: 23 de noviembre del 2020 Página 2 de 2

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Descripción	Indicación Instrumento Bajo calibración	Indicación patrón	Error de Indicación	Incertidumbre
2011001/S-1	0.3 °C	0.1 °C	0.2 °C	0.4 °C
2011001/S-1	5.0 °C	5.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011001/S-1	20.0 °C	20.1 °C	-0.1 °C	0.4 °C
2011001/S-2	0.3 °C	0.1 °C	0.2 °C	0.4 °C
2011001/S-2	5.0 °C	5.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011001/S-2	19.8 °C	20.0 °C	-0.2 °C	0.4 °C
2011001/S-3	0.0 °C	0.1 °C	-0.1 °C	0.4 °C
2011001/S-3	5.3 °C	5.0 °C	0.3 °C	0.4 °C
2011001/S-3	20.0 °C	20.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011001/S-4	0.0 °C	0.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011001/S-4	5.0 °C	5.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011001/S-4	20.3 °C	20.0 °C	0.3 °C	0.4 °C
2011001/S-5	0.0 °C	0.1 °C	-0.1 °C	0.4 °C
2011001/S-5	4.8 °C	5.0 °C	-0.2 °C	0.4 °C
2011001/S-5	19.8 °C	20.0 °C	-0.2 °C	0.4 °C

Fin del Certificado

[Firma manuscrita]
Ing. Agustín Romero Guezeta
 INGENIERO ELECTRÓNICO
 CP. 133009



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Departamento de Instrumentación y Desarrollo Electrónico
Laboratorio de Calibración Magnitud Temperatura

Certificado de Calibración: ECC 032-2021 Fecha de emisión: 15 de mayo del 2021 Página 1 de 1

Cliente(s) : Bach. Ing. Civil Ronald William Calisaya Flores
Bach. Ing. Civil Karen Sofia Silva Huanca
Dirección : Jr. Pucará 463, Barrio Bellavista – Puno

Marca : ECC-Equipment
Modelo : ECCE-20-1-1
Serie número : 2011002
Código de programación : Arduino
Tipo de sensor : Termocupla K o Termopar K (2 hilos)
Cantidad de sensores : 5
Precisión : 0.25 °C
Inmersión : 200 mm
Rango : 0 a 200 °C
Límite de error estándar : +/- 2.0 °C
Ubicación : Laboratorio ECC Ingenieros

Lugar de la calibración : Laboratorio ECC Ingenieros - Jr. El Puerto 421 - Puno - Perú
Método : Comparación directa con termómetros patrones
Fecha de calibración : 14 de mayo del 2021
Fecha próxima calibración : No solicitada
Sello de calibración : ECC 032-2021
Condiciones ambientales : (14 ± 2) °C (30 ± 5) %HR

Patrón (Código) : Sistema Termómetro Digital (EP-10)
Marca : Fluke
Modelo : 1521 / 5626-12
Número de Serie : A7A701 / 1795
Calibrado por : LCPN-T
Certificado número : DAkS-0999
Vigencia del patrón : Agosto del 2021

Nota 1: Los resultados expresados en el presente certificado de calibración son válidos solo para el instrumento identificado y para las condiciones establecidas en el momento que se documenta el presente certificado.

Nota 2: Los patrones usados en la presente calibración son trazables a patrones nacionales e internacionales, de acuerdo al Sistema Internacional de unidades (SI).

Nota 3: La incertidumbre fue estimada de acuerdo al método expuesto en la Guía OILM G1-100 en 2008: (JCGM 100:2008) Y OILM G1-104 en 2009: (JCGM 104:2009) "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones (GUM)", la cual sugiere desarrollar un modelo matemático que tome en cuenta los factores de influencia durante la calibración.

Nota 4: La incertidumbre reportada está basada en la Incertidumbre Estándar Combinada (u), multiplicada por un factor de cobertura $k = 2$, proporcionando un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Centro de Instrumentación y Desarrollo Electrónico
Laboratorio de Calibración Magnitud Temperatura

Certificado de Calibración: ECC 032-2021 Fecha de emisión: 15 de mayo del 2021 Página 2 de 2

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Descripción	Indicación Instrumento Bajo calibración	Indicación patrón	Error de Indicación	Incertidumbre
2011002/S-1	0.0 °C	0.1 °C	-0.1 °C	0.4 °C
2011002/S-1	5.0 °C	5.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011002/S-1	19.8 °C	20.0 °C	-0.2 °C	0.4 °C
2011002/S-2	0.0 °C	0.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011002/S-2	5.0 °C	5.1 °C	-0.1 °C	0.4 °C
2011002/S-2	20.0 °C	20.1 °C	-0.1 °C	0.4 °C
2011002/S-3	0.3 °C	0.1 °C	0.2 °C	0.4 °C
2011002/S-3	5.0 °C	5.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011002/S-3	19.8 °C	20.0 °C	-0.2 °C	0.4 °C
2011002/S-4	0.0 °C	0.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011002/S-4	5.3 °C	5.1 °C	0.2 °C	0.4 °C
2011002/S-4	20.0 °C	20.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011002/S-5	0.0 °C	0.0 °C	0.0 °C	0.4 °C
2011002/S-5	4.8 °C	5.0 °C	-0.2 °C	0.4 °C
2011002/S-5	20.3 °C	20.1 °C	0.2 °C	0.4 °C

Fin del Certificado

Christian Augusto Romero Goyzeta
INGENIERO ELECTRÓNICO
CIP. 133009



ANEXO 10. CERTIFICADO DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA INDUSTRIAL



CORPORACION DE MANUFACTURA QUANTUM CNC SOLUCIONES EN INGENIERIA DE CONTROL Y PROCESOS S.A.C.

CERTIFICADO DE FABRICACION

DATOS DEL EQUIPO

Nombre	:	CONTROLADOR DE TEMPERATURA INDUSTRIAL
Marca	:	ST-1000
Serie	:	ST012020
Precisión	:	+/- 0.2º
Otros	:	Control Digital

EMPRESA FABICADORA

CORPORACION DE MANUFACTURA QUANTUM CNC
SOLUCIONES EN INGENIERIA DE CONTROL Y PROCESOS
S.A.C.

Los solicitantes son G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES SAC, con RUC 20601125405, quienes, por motivo de ensayos especializados, requieren la fabricación y calibración de los equipos mencionados de acuerdo a ciertos parámetros y requerimientos establecidos.

CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DEL EQUIPO ELECTRONICO

El equipo electrónico (reóstato) consta de los siguientes instrumentos:

- controlador de Temperatura con sensor digital de (-10 – 50º C).
- Transformador de Voltaje 220v AC – 24v DC.
- Resistencias eléctricas de 1000w – 1500w.
- Enfriadores de agua tipo radiador.
- Tablero eléctrico adosable con conexión a tierra.

METODOLOGÍA APLICADA Y TRAZABILIDAD DE FABRICACION

Calibración de los equipos de acuerdo al certificado N° 201231001. Equipo calibrador UNIT-T FLUKE 5522A con número de serie 3917903.

EQUIPO	MEDICIONES DE PATRON	MEDIDAS REALIZADAS	DIF.
CONTROLADOR DE TEMPERATURA- ENFRIADOR (Temperatura 5°C)	5º	4.7º – 4.9º - 5.1º - 5.0º	+ - 0.3
CONTROLADOR DE TEMPERATURA- CALENTADOR (Temperatura 10°C)	10º	9.9º – 10º - 10.1º - 10.2º	+ - 0.2
CONTROLADOR DE TEMPERATURA- CALENTADOR (Temperatura 15°C)	15º	14.7º – 14.9º - 15.1º - 15.2º	+ - 0.3
CONTROLADOR DE TEMPERATURA- CALENTADOR (Temperatura 20°C)	20º	19.8º – 19.9º - 20.2º - 20.3º	+ - 0.3

INCERTIDUMBRE: Temperaturas + - 0.3 grados en promedio



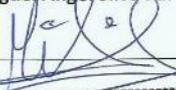
CORPORACION DE MANUFACTURA QUANTUM CNC SOLUCIONES EN INGENIERIA DE CONTROL Y PROCESOS S.A.C.

NORMA APLICADA:

NTP 350.302:2009
NTP 370.502:2009

CALIBRACION Y MANTENIMIENTO:

Fecha	Mantenimiento	Calibración	Próxima Calibración	Observación
02/09/2021	-	x	02/09/2022	% 100 operativo

Responsable de la verificación	Propietario	Obra
Ing. Miguel Angel Silva Fur 	G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES SAC	CONTROL DE TEMPERATURA
 Miguel Angel Silva Fur INGENIERO ELECTRONICO CIP. 258883 Firma y Sello		Se adjunta certificado de calibración del equipo FLUKE



ANEXO 11. CERTIFICADO CALIBRACIÓN DEL TERMÓMETRO DE SERIE 2011001



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LC - 002



Certificado de Calibración

CALIBRATION CERTIFICATE

Laboratorio Temperatura Código N° E051-0066A-2022-1
Laboratory Temperature Code N°

ISO / IEC 17025

Estos resultados están relacionados únicamente con el ítem descrito en este certificado. [These results are only related to the item described in this certificate.]

Es responsabilidad del cliente establecer la frecuencia de calibración de su instrumento, de acuerdo a sus propios usos y exigencias. [It is the customer's responsibility to establish the calibration frequency of their instrument, according to their own uses and requirements.]

LO JUSTO SAC, no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado del instrumento aquí descrito o de este documento. [LO JUSTO S.A.C. is not responsible for any damage that may be caused by the incorrect or inappropriate use of the instrument described here or of this document.]

Este certificado se emite de manera electrónica. Si existe alguna duda, en la veracidad del presente certificado, por favor escribir a:

consultacertificados@lojustosac.com (es imprescindible adjuntar una imagen del certificado). [This certificate is issued electronically. If there is any doubt, in the veracity of this certificate, please write to: consultacertificados@lojustosac.com (it is essential to attach an image of the certificate).]

a. Solicitante: **CALISAYA FLORES EDWIN CRISTIAN**
Applicant

b. Dirección solicitante: **Jr. Pucara 463 - Puno**
Applicant address

c. Instrumento de medida: **Termómetro Digital**
Measuring instrument

d. Marca: **ECC-Equipment**
Manufacturer / Brand

e. Modelo: **ECCE-20-1-1**
Model:

f. Número de serie: **2011001**
Serial Number:

g. Identificación: **No indica**
Internal code

h. Lugar de calibración: **Laboratorio de Temperatura
LO JUSTO S.A.C.**
Calibration Place

i. Fecha de calibración: **2022-01-13**
Calibration Date

j. Supervisor de Laboratorio: **Fuentes Velasquez Alexander R.**
Laboratory Supervisor
Supervisor de Laboratorio
Laboratory Supervisor

k. Signatario autorizado: 
Authorized signatory
Jose Luis Rosales Saavedra
LO JUSTO S.A.C.
CONTROL OPERACIONES
controloperaciones@lojusto.com
Fecha: 15/01/2022 11:39
Firmado con www.tocapu.pe

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de LO JUSTO S.A.C.
Certificados sin firma digital carecen de validez.

FT00-INRE-Edicion digital 00



Laboratorio Temperatura Código N° E051-0066A-2022-1
Laboratory Temperature Code N°

1 Información del instrumento:

Instrument Information:

- 1.1 Intervalo de medición: 0 °C a 200 °C
1.2 Resolución: 1 °C
1.3 Sensor
Tipo: Sensor 1: Termopar Tipo K y Sensor 2: Termopar Tipo K
Profundidad de Inmersión: Sensor 1: 30 cm y Sensor 2: 30 cm
1.4 Etiqueta de Calibración: 88824 y 015276

2 Trazabilidad :

Traceability :

Trazabilidad	Patrón empleado	Certificado de Calibración
LO JUSTO S.A.C.	Termómetro digital	INTERNO-2021-66

3 Instrumentos auxiliares :

Instruments auxiliary :

- Medio de temperatura controlada código LT-I-087.
- Registrador de condiciones ambientales código LT-I-100 .

4 Procedimiento de calibración:

Calibration procedure:

TH-001 Procedimiento para la calibración de termómetros digitales, Edición Digital 2 "CEM España" - (Método de comparación en medios isotermos de temperatura controlada) - 2019.

5 Condiciones Ambientales:

Environmental conditions:

Temperatura Ambiental:	21,4 °C
Humedad Relativa:	36,9 %HR

6 Resultados de Calibración

Results of Calibration

Sensor 1 → ID Sensor: 3 // CANAL: S3

Temperatura Conv. Verdadera °C	Indicación del Termómetro °C	Corrección °C	Incertidumbre expandida °C
0,00	4	-4,00	0,58
15,00	17	-2,00	0,58
30,00	33	-3,00	0,58

Sensor 2 → ID Sensor: 5 // CANAL: S5

Temperatura Conv. Verdadera °C	Indicación del Termómetro °C	Corrección °C	Incertidumbre expandida °C
0,00	3	-3,00	0,58
15,00	18	-3,00	0,58
30,00	32	-2,00	0,58

Diagrama de Resultados:
Results Diagram

*** Sin Diagrama de Resultados***



Laboratorio <i>Laboratory</i>	Temperatura <i>Temperature</i>	Código N° <i>Code N°</i>	E051-0066A-2022-1
---	--	------------------------------------	--------------------------

7 Notas y aclaraciones:
Notes and clarifications:

La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95 %.

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

8 Observaciones y comentarios:
Observations and comments

*** Sin Observaciones ***

** FIN DEL DOCUMENTO **

ISO / IEC 17025

ANEXO 12. PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. Colocación de las muestras al horno para el secado del material



Fotografía 2. Tamizado del agregado grueso



Fotografía 3. Decantación del exceso de agua para evitar pérdidas de finos en el ensayo de densidad relativa.



Fotografía 4. Llenado del agregado grueso al molde



Fotografía 5. *Procedimiento de compactación por capas*



Fotografía 6. *Instalación del sensor de temperatura para la madurez*



Fotografía 7. *Desmolde de las probetas cilíndricas instrumentadas con sensores de temperatura.*



Fotografía 8. *Desmolde de las probetas cilíndricas para determinar la resistencia a la compresión – 1ra tanda*



Fotografía 9. Desmolde de las probetas para determinar la resistencia a la compresión – 2da tanda



Fotografía 10. Probetas cilíndricas de concreto antes del ensayo estándar – 1 día de edad



Fotografía 11. Ensayo estándar de resistencia a la compresión del concreto – 5 días de edad



Fotografía 12. Ensayo estándar de resistencia a la compresión del concreto – 14 días de edad



Fotografía 13. Rotura por compresión de la probeta cilíndrica de concreto



Fotografía 14. Ensayo estándar de resistencia a la compresión del concreto – 28 días de edad



Fotografía 15. Acabado de las seis probetas elaboradoras en obra



Fotografía 16. Vaciado de concreto en las vigas del cerco perimétrico



Fotografía 17. *Instalación de los cuatro sensores de temperatura en obra*



Fotografía 18. *Conexión de los sensores de temperatura al módulo de registro de temperaturas en obra*



Fotografía 19. *Ubicación de los sensores de temperatura en las dos uniones viga-columna de confinamiento.*



Fotografía 20. *Ensayo de rotura de probetas cilíndricas curadas en obra a la edad de 7 días.*



Fotografía 21. Fisura de la probeta cilíndrica de concreto curado en obra.



Fotografía 22. Instalación del sensor de temperatura para la madurez de la corroboración de datos.



Fotografía 23. Instalación de los dos sensores al módulo registrador de temperatura



Fotografía 24. Comienzo del registro de temperaturas para la corroboración de datos



Fotografía 25. Probetas de concreto que serán curadas a temperatura constante



Fotografía 26. *Traslado de las probetas cilíndricas de concreto a la poza de curado*



Fotografía 27. *Curado a temperatura constante de las probetas cilíndricas de concreto*



Fotografía 28. *Ensayo de rotura de probetas cilíndricas a la edad de 14 días para la corroboración de datos*



Fotografía 29. *Ensayo de rotura de probetas cilíndricas a la edad de 28 días para la corroboración de datos*



ANEXO 13. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO



CONTENIDO DE HUMEDAD EVAPORABLE DE LOS AGREGADOS	
ASTM C566-19 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying	
PROYECTO	RELACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 KG/CM2 : OBTENIDAS EN CONDICIÓN DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - PUNO
REGISTRO	T_UNAP_CFRW-09/20-01-G&C
FECHA	05/11/2020
DATOS GENERALES	
SOLICITANTE(S)	Bach. IC. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES
MATERIAL	HORMIGÓN
UBICACIÓN	DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO
ENSAYADO POR	R.W.C.F.
REVISADO POR	Ingr. A.L.G.C.
DATOS DEL MATERIAL	
CÓDIGO DE MUESTRA	---
PROCEDENCIA	CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTRA	---
PROGRESIVA	AGREGADO GRUESO, FINO Y GLOBAL

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GLOBAL

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	P-1	E-12	CANTERA
1	Masa del Recipiente	g	87.9	86.9	ISLA
2	Masa del Recipiente + muestra húmeda	g	748.5	785.3	
3	Masa del Recipiente + muestra seca	g	730.3	764.9	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.8	3.0	
	PROMEDIO	%	2.9		

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CLARO	OSCURO	CANTERA
1	Masa del Recipiente	g	89.65	91.23	ISLA
2	Masa del Recipiente + muestra húmeda	g	523.74	673.61	
3	Masa del Recipiente + muestra seca	g	512.75	655.74	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.6	3.2	
	PROMEDIO	%	2.9		

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	R-33	R-X4	CANTERA
1	Masa del Recipiente	g	94.65	90.68	ISLA
2	Masa del Recipiente + muestra húmeda	g	575.06	573.48	
3	Masa del Recipiente + muestra seca	g	559.54	558.19	
4	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	3.3	3.3	
	PROMEDIO	%	3.3		

OBSEVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

 Bach. I.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
 TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
 DNI: 97262320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

 ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
 JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
 CIP: 209176



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

ASTM C136/C136M-19 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

PROYECTO : RELACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO 210
: KG/CM2 OBTENIDAS EN CONDICION DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL METODO DE
MADUREZ - PUNO
REGISTRO : T_UNAP_CFRW-0920-02-G&C
FECHA : 05/11/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S) : Bach. IC. RONALD WILLIAM CALSAYA FLORES
MATERIAL : HORMIGÓN
UBICACIÓN : DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO
ENSAYADO POR : R.W.C.F.
REVISADO POR : Ing. A.L.G.C.

DATOS DEL MATERIAL

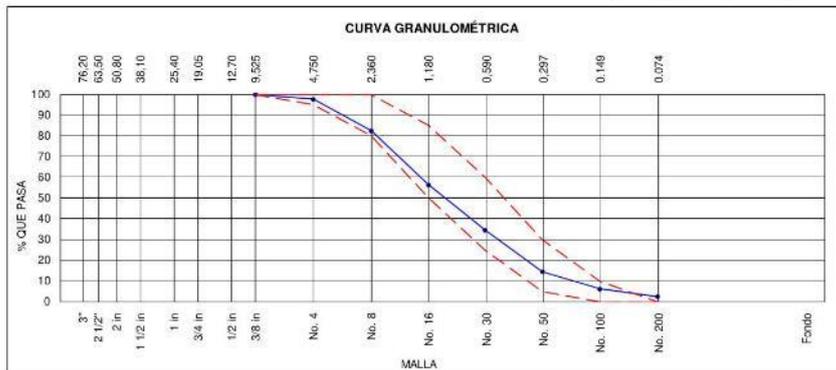
CÓDIGO DE MUESTRA : --
PROCEDENCIA : CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTRA : --
PROGRESIVA : AGREGADO FINO

AGREGADO FINO: ASTM C33/C33M-18 - ARENA GRUESA

Masa inicial seca (g): 669.10

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	PESO RET.	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACION	
						MIN.	MÁX.
3/8"	9.53				100.00	100.00	100.00
Nº 4	4.75	15.4	2.30	2.30	97.70	95.00	100.00
Nº 8	2.36	101.5	15.17	17.47	82.53	80	100
Nº 16	1.18	174.6	26.08	43.57	56.43	50	85
Nº 30	0.60	145.7	21.77	65.34	34.66	25	60
Nº 50	0.30	134.5	20.10	85.44	14.56	5	30
Nº 100	0.15	56.0	8.37	93.61	6.19	0	10
Nº 200	0.08	24.6	3.67	97.48	2.52	0	0
BASE		5.8	0.86	98.34	1.66		
TOTAL		658.0	98.34				
% PERDIDA		1.66					

Módulo de Fineza	3.08
% GRAVA	2.30
% ARENA	95.17
% FINOS	0.66



OBSEVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Marycarmen Yania Condory

Bach. LIC. MARY CARMEN YANIA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI - 07136338

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Alex Luis Gomez Calla

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP. 205176



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

ASTM C136/C136M-19 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

PROYECTO : RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210
: KG/CM² OBTENIDAS EN CONDICIÓN DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL METODO DE
MADUREZ - PUNO
REGISTRO : T_UNAP_GFRW-0920-03 G&C
FECHA : 05/11/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S) : Bach. IC. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES
MATERIAL : HORMIGÓN
UBICACIÓN : DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO
ENSAYADO POR : R.W.C.F.
REVISADO POR : Ing. A.L.G.C.

DATOS DEL MATERIAL

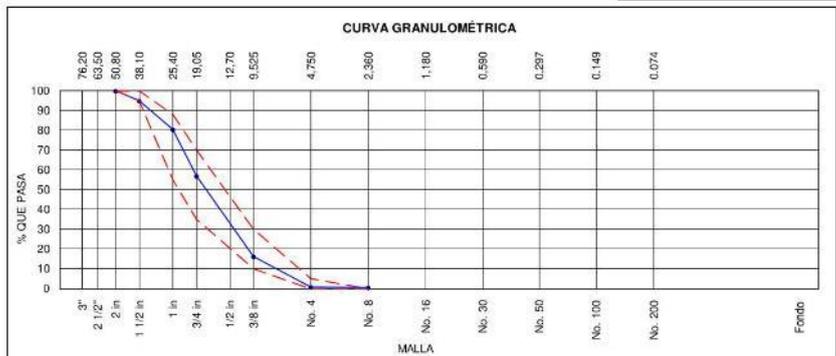
CÓDIGO DE MUESTRA : ---
PROCEDENCIA : CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTRA : ---
PROGRESIVA : AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO: ASTM C33/C33M-18 - HUSO 467

Masa inicial seca (g): 15026.80

TAMICES ASTM	Abertura (mm)	PESO RET.	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN	
						MIN.	MAX.
3"	76.20						
2 1/2"	63.50						
2"	50.80				100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10	748.3	4.98	4.98	95.02	95.00	100.00
1"	25.40	2181.9	14.52	19.50	80.50	55.00	88.00
3/4"	19.05	3532.8	23.51	43.01	56.99	35.00	70.00
3/8"	9.53	6111.4	40.67	83.68	16.32	10.00	30.00
Nº 4	4.75	2315.6	15.41	99.09	0.91	0.00	5.00
Nº 8	2.36	35.5	0.24	99.33	0.67	0.00	0
Nº 10	2.00						
Nº 16	1.18						
Nº 20	0.85						
Nº 30	0.60						
Nº 40	0.42						
Nº 50	0.30						
Nº 80	0.18						
Nº 100	0.15						
Nº 200	0.08						
BASE	0.00	33.6	0.22	99.31	0.69		
TOTAL		14959.2	15.87				
% PÉRDIDA		0.45					

Módulo de Fineza	7.30
% GRAVA	99.09
% ARENA	0.24
% FINOS	0.22



OBSEVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.
[Signature]
Bach. I.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI: 97126310

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.
[Signature]
ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

ASTM C128-15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate

PROYECTO	RELACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS EN CONDICIÓN DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL METODO DE MADUREZ - PUNO	REGISTRO : T-UNAP-CFRW-09/20-04-G&C FECHA : 06/11/2020
----------	--	---

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: Bach. JC. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ENSAYADO POR	: R.W.C.F.
MATERIAL	: HORMIGÓN	REVISADO POR	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO		

DATOS DEL MATERIAL

CODIGO DE MUE:	: ---
PROCEDENCIA	: CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTF	: ---
PROGRESIVA	: AGREGADO FINO

ITEM	DATOS DE ENSAYO / N° DE PRUEBA	UND.	1	2	
A	Masa secada al horno (OD)	g	485.2	485.2	
B	Masa de picnómetro con agua hasta la marca	g	689.6	689.6	
C	Masa de picnómetro con agua + muestra ss	g	991.9	991.9	
S	Masa saturada con superficie seca (SSS)	g	500.0	500.0	PROMEDIO
	Densidad Relativa (Gravedad específica) (OD)	g/cm3	2.454	2.454	2.454
	Densidad Relativa (Gravedad específica) (SSD)	g/cm3	2.529	2.529	2.529
	Densidad Relativa aparente (Gravedad específica)	g/cm3	2.653	2.653	2.653
	Absorción	%	3.1	3.1	3.1

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Secado al horno
 Desde su Humedad Natural

OBSERVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. LETICIA MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47136010

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CPI: 209176



MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

ASTM C127-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate

PROYECTO	RELACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS EN CONDICIÓN DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - PUNO	REGISTRO	: T_UNAP_CFRW-09/20-05-G&C
		FECHA	: 07/11/2020

DATOS GENERALES			
SOLICITANTE(S)	: Bach. IC. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ENSAYADO POR	: R.W.C.F.
MATERIAL	: HORMIGÓN	REVISADO POR	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO		

DATOS DEL MATERIAL	
CÓDIGO DE MUESTRA/	: ---
PROCEDENCIA	: CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTRA	: ---
PROGRESIVA	: AGREGADO GRUESO

ITEM	DATOS / N° DE PRUEBA	UND.	E.N.	R-26	
A	Masa de la muestra seca en el horno	g	692.0	834.0	
B	Masa de la muestra al aire SSD	g	711.0	859.5	
C	Masa de la muestra sumergida	g	430.0	520.0	PROMEDIO
	Densidad Relativa (Gravedad específica OD)	g/cm3	2.463	2.457	2.460
	Densidad Relativa (Gravedad específica SSD)	g/cm3	2.531	2.532	2.531
	Densidad Relativa Aparente (Gravedad específica)	g/cm3	2.641	2.656	2.649
	Absorción	%	2.7	3.1	2.9

MÉTODO DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Secado al horno
 Desde su Humedad Natural

OBSERVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. I.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 67136310

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS	
ASTM C29 / C29M - 17a: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate	
PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 KG/CM2 OBTENIDAS EN CONDICIÓN DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - PUNO
	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-06-G&C FECHA : 09/11/2020
DATOS GENERALES	
SOLICITANTE(S)	: Bach. IC. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES
MATERIAL	: HORMIGÓN
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO
ENSAYADO POR	: R.W.C.F.
REVISADO POR	: Ing. A.L.G.C.
DATOS DEL MATERIAL	
CÓDIGO DE MUESTRA	: ---
PROCEDENCIA	: CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTRA	: ---
PROGRESIVA	: AGREGADO FINO

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO

IDENTIFICACIÓN	UND.	1	2	PROMEDIO
Masa del molde	Kg	2.476	2.521	
Volumen de molde	m3	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra suelta	Kg	13.953	14.012	
Masa de muestra suelta	Kg	11.477	11.491	
Densidad aparente Suelta	Kg/cm3	1627	1629	1628

DENSIDAD APARENTE VARILLADA DEL AGREGADO FINO

IDENTIFICACIÓN	UND.	1	2	PROMEDIO
Masa del molde	Kg	2.476	2.476	
Volumen de molde	m3	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra consolidada	Kg	15.313	15.214	
Masa de muestra consolidada	Kg	12.837	12.738	
Densidad aparente Consolidada	Kg/cm3	1819	1805	1812

Método utilizado en la consolidación de la muestra: Rodding (Varillado)

Densidad Relativa (Gravedad específica) OD	g/cm3	2.45
Vacios - muestra Suelta	%	33.5
Vacios - muestra Consolidada	%	26.0

OBSERVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. LIC. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
RMI - 471343110

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
RMI - 3091796



DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS	
ASTM C29 / C29M - 17a. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate	
PROYECTO	RELACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS EN CONDICIÓN DE LABORATORIO Y OBRA, MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - PUNO
REGISTRO	: T_UNAP_CFRW-09/20-07-G&C
FECHA	: 09/11/2020
DATOS GENERALES	
SOLICITANTE(S)	: Bach. IC. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES
MATERIAL	: HORMIGÓN
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO
ENSAYADO POR	: R.W.C.F. / K.S.S.H.
REVISADO POR	: Ing. A.L.G.C.
DATOS DEL MATERIAL	
CÓDIGO DE MUESTRA	: ---
PROCEDENCIA	: CANTERA ISLA - DISTRITO JULIACA, PROVINCIA SAN ROMAN, DEPARTAMENTO PUNO
NRO. DE MUESTRA	: ---
PROGRESIVA	: AGREGADO GRUESO

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

IDENTIFICACIÓN	UND.	1	2	PROMEDIO
Masa del molde	Kg	2.476	2.476	
Volumen de molde	m3	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra suelta	Kg	13.631	13.519	
Masa de muestra suelta	Kg	11.155	11.043	
Densidad aparente Suelta	Kg/m3	1581	1565	1573

DENSIDAD APARENTE VARILLADA DEL AGREGADO GRUESO

IDENTIFICACIÓN	UND.	1	2	PROMEDIO
Masa del molde	Kg	2.476	2.476	
Volumen de molde	m3	0.007056	0.007056	
Masa de molde + muestra consolidada	Kg	14.222	14.289	
Masa de muestra consolidada	Kg	11.746	11.813	
Densidad aparente Consolidada	Kg/m3	1665	1674	1669

Método utilizado en la consolidación de la muestra : Rodding (Varillado)

Densidad Relativa (Gravedad específica) OD	g/cm3	2.46
Vacios - muestra Suelta	%	35.9
Vacios - muestra Consolidada	%	32.0

OBSERVACIÓN: EL MATERIAL FUE PUESTO EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

Bach. I.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI: 47336320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176

ANEXO 15. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO		
ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens		
PROYECTO	RELACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	
	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-09-G&C FECHA : 26/11/2020	
DATOS GENERALES		
SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	
	RESPONSABLE : Ing. A.L.G.C. TÉCNICO ESPEC. : Bach. M.C.Y.C.	
DATOS DE LA PROBETA	DATOS DEL ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
MUESTRAS : 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA : ASTM C39/C39 - 20	f _c (DISEÑO) : 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA : 1 DÍA	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN : 0.28 Mpa.	f _c (DISEÑO) : 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Día]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f _c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-01 φ = 152.66 mm x h = 300.83 mm	24/11/2020	25/11/2020	1	1245.6	2262.20	1.97	1.00	18302.96	114.10	6.2	30.27
2	BRIQUETA P-02 φ = 150.90 mm x h = 301.17 mm	24/11/2020	25/11/2020	1	1217.3	2259.97	2.00	1.00	17884.94	107.76	6.0	29.26
3	BRIQUETA P-21 φ = 150.97 mm x h = 302.00 mm	25/11/2020	26/11/2020	1	1203.6	2226.40	2.00	1.00	17900.75	103.80	5.8	28.16
4	BRIQUETA P-22 φ = 150.73 mm x h = 301.33 mm	25/11/2020	26/11/2020	1	1212.5	2254.99	2.00	1.00	17843.88	104.84	5.9	28.53

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-01 EN UNIDADES M.K.S. ES 63.57 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-02 EN UNIDADES M.K.S. ES 61.44 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-21 EN UNIDADES M.K.S. ES 59.13 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-22 EN UNIDADES M.K.S. ES 59.91 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

 Bach. LEONARDO CASIMIRO YANA CONDORRY
 TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
 UNI - 47530100

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

 ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
 JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
 CEP. 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-10-G&C
		FECHA : 28/11/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 3 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-03 φ = 154.59 mm x h = 304.67 mm	24/11/2020	27/11/2020	3	1297.1	2268.18	1.97	1.00	18770.31	276.85	14.7	71.62
2	BRIQUETA P-04 φ = 155.63 mm x h = 303.83 mm	24/11/2020	27/11/2020	3	1325.2	2292.72	1.95	1.00	19023.71	293.46	15.4	74.90
3	BRIQUETA P-23 φ = 155.47 mm x h = 303.67 mm	25/11/2020	28/11/2020	3	1323.1	2295.16	1.95	1.00	18983.80	277.72	14.6	71.04
4	BRIQUETA P-24 φ = 153.98 mm x h = 305.00 mm	25/11/2020	28/11/2020	3	1298.0	2285.47	1.98	1.00	18620.86	261.40	14.0	68.17

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-03 EN UNIDADES M.K.S. ES 150.40 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-04 EN UNIDADES M.K.S. ES 157.30 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-23 EN UNIDADES M.K.S. ES 149.18 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-24 EN UNIDADES M.K.S. ES 143.15 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47230320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-11-G&C FECHA : 30/11/2020
----------	--	---

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm2 (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 5 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m3]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm2]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-05 φ = 154.09 mm x h = 301.67 mm	24/11/2020	29/11/2020	5	1280.6	2262.20	1.96	1.00	18649.09	355.34	19.1	92.52
2	BRIQUETA P-06 φ = 155.58 mm x h = 303.67 mm	24/11/2020	29/11/2020	5	1321.6	2259.97	1.95	1.00	19009.86	352.54	18.5	90.05
3	BRIQUETA P-25 φ = 150.73 mm x h = 300.67 mm	25/11/2020	30/11/2020	5	1210.4	2226.40	1.99	1.00	17843.88	336.34	18.8	91.53
4	BRIQUETA P-26 φ = 150.39 mm x h = 299.00 mm	25/11/2020	30/11/2020	5	1211.6	2254.99	1.99	1.00	17764.26	322.44	18.2	88.14

- OBSERVACIONES :**
- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
 - LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

- NOTA :**
- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-05 EN UNIDADES M.K.S. ES 194.30 Kg/cm2.
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-06 EN UNIDADES M.K.S. ES 189.11 Kg/cm2.
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-25 EN UNIDADES M.K.S. ES 192.21 Kg/cm2.
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-26 EN UNIDADES M.K.S. ES 185.09 Kg/cm2.

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C
Bach. I.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47338210

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C
ING. ALEX LUIS GÓMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-12-G&C FECHA : 2/12/2020
----------	--	--

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 7 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-07 φ = 153.20 mm x h = 304.33 mm	24/11/2020	1/12/2020	7	1311.8	2338.25	1.99	1.00	18434.29	372.28	20.2	98.06
2	BRIQUETA P-08 φ = 152.70 mm x h = 304.67 mm	24/11/2020	1/12/2020	7	1306.0	2340.62	2.00	1.00	18314.16	381.16	20.8	101.06
3	BRIQUETA P-27 φ = 154.12 mm x h = 304.33 mm	25/11/2020	2/12/2020	7	1294.8	2280.48	1.97	1.00	18656.35	382.47	20.5	99.55
4	BRIQUETA P-28 φ = 155.93 mm x h = 304.67 mm	25/11/2020	2/12/2020	7	1322.1	2272.33	1.95	1.00	19097.12	387.29	20.3	98.48

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-07 EN UNIDADES M.K.S. ES 205.93 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-08 EN UNIDADES M.K.S. ES 212.23 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-27 EN UNIDADES M.K.S. ES 209.05 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-28 EN UNIDADES M.K.S. ES 206.80 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47230320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-13-G&C
		FECHA : 5/12/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 10 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-09 φ = 154.65 mm x h = 302.00 mm	24/11/2020	4/12/2020	10	1312.3	2313.22	1.95	1.00	18784.88	429.30	22.9	110.97
2	BRIQUETA P-10 φ = 150.23 mm x h = 300.50 mm	24/11/2020	4/12/2020	10	1213.1	2277.45	2.00	1.00	17725.69	386.94	21.8	106.00
3	BRIQUETA P-29 φ = 150.76 mm x h = 301.83 mm	25/11/2020	5/12/2020	10	1226.8	2276.90	2.00	1.00	17850.98	394.05	22.1	107.19
4	BRIQUETA P-30 φ = 153.04 mm x h = 300.50 mm	25/11/2020	5/12/2020	10	1260.1	2279.51	1.96	1.00	18395.80	409.83	22.3	108.18

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-09 EN UNIDADES M.K.S. ES 233.04 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-10 EN UNIDADES M.K.S. ES 222.60 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-29 EN UNIDADES M.K.S. ES 225.10 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-30 EN UNIDADES M.K.S. ES 227.18 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47330320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-14-G&C FECHA : 9/12/2020
----------	--	--

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f _c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 14 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f _c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f _c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-11 φ = 154.37 mm x h = 304.83 mm	24/11/2020	8/12/2020	14	1300.0	2278.58	1.97	1.00	18716.11	438.26	23.4	113.70
2	BRIQUETA P-12 φ = 154.71 mm x h = 304.67 mm	24/11/2020	8/12/2020	14	1318.9	2302.72	1.97	1.00	18799.46	448.07	23.8	115.73
3	BRIQUETA P-31 φ = 154.23 mm x h = 304.50 mm	25/11/2020	9/12/2020	14	1300.1	2285.50	1.97	1.00	18681.37	461.72	24.7	120.01
4	BRIQUETA P-32 φ = 154.38 mm x h = 305.17 mm	25/11/2020	9/12/2020	14	1260.1	2340.62	1.98	1.00	18719.35	451.83	24.1	117.20

- OBSERVACIONES :**
- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
 - LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

- NOTA :**
- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-11 EN UNIDADES M.K.S. ES 238.78 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-12 EN UNIDADES M.K.S. ES 243.04 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-31 EN UNIDADES M.K.S. ES 252.03 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-32 EN UNIDADES M.K.S. ES 246.13 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47230320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-15-G&C
		FECHA : 13/12/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 18 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-13 φ = 150.69 mm x h = 297.03 mm	24/11/2020	12/12/2020	18	1215.1	2293.86	1.97	1.00	17833.62	394.94	22.1	107.54
2	BRIQUETA P-14 φ = 150.23 mm x h = 295.17 mm	24/11/2020	12/12/2020	18	1199.7	2292.99	1.96	1.00	17725.69	453.76	25.6	124.30
3	BRIQUETA P-33 φ = 154.25 mm x h = 305.50 mm	25/11/2020	13/12/2020	18	1299.7	2276.72	1.98	1.00	18686.22	485.21	26.0	126.09
4	BRIQUETA P-34 φ = 154.44 mm x h = 305.17 mm	25/11/2020	13/12/2020	18	1304.8	2282.53	1.98	1.00	18732.28	466.97	24.9	121.05

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-13 EN UNIDADES M.K.S. ES 225.82 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-14 EN UNIDADES M.K.S. ES 261.04 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-33 EN UNIDADES M.K.S. ES 264.78 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-34 EN UNIDADES M.K.S. ES 254.20 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47338210

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-16-G&C
		FECHA : 16/12/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 21 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-15 φ = 153.62 mm x h = 305.33 mm	24/11/2020	15/12/2020	21	1284.6	2269.81	1.99	1.00	18535.50	503.01	27.1	131.78
2	BRIQUETA P-16 φ = 155.48 mm x h = 304.83 mm	24/11/2020	15/12/2020	21	1322.0	2284.18	1.96	1.00	18986.24	509.05	26.8	130.19
3	BRIQUETA P-35 φ = 154.39 mm x h = 304.67 mm	25/11/2020	16/12/2020	21	1308.4	2294.07	1.97	1.00	18720.16	487.74	26.1	126.51
4	BRIQUETA P-36 φ = 153.81 mm x h = 303.67 mm	25/11/2020	16/12/2020	21	1284.7	2277.01	1.97	1.00	18579.76	492.39	26.5	128.69

- OBSERVACIONES :**
- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
 - LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

- NOTA :**
- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-15 EN UNIDADES M.K.S. ES 276.73 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-16 EN UNIDADES M.K.S. ES 273.40 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-35 EN UNIDADES M.K.S. ES 265.68 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-36 EN UNIDADES M.K.S. ES 270.24 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47230320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-17-G&C
		FECHA : 19/12/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f'c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 24 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f'c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f'c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-17 φ = 155.63 mm x h = 304.50 mm	24/11/2020	18/12/2020	24	1325.4	2288.04	1.96	1.00	19023.71	518.07	27.2	132.24
2	BRIQUETA P-18 φ = 153.86 mm x h = 304.33 mm	24/11/2020	18/12/2020	24	1294.4	2287.49	1.98	1.00	18593.46	528.89	28.4	138.12
3	BRIQUETA P-37 φ = 154.46 mm x h = 304.17 mm	25/11/2020	19/12/2020	24	1309.3	2297.24	1.97	1.00	18737.94	516.54	27.6	133.86
4	BRIQUETA P-38 φ = 155.81 mm x h = 305.17 mm	25/11/2020	19/12/2020	24	1323.6	2274.78	1.96	1.00	19066.92	448.96	23.5	114.34

- OBSERVACIONES :**
- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
 - LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

- NOTA :**
- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-17 EN UNIDADES M.K.S. ES 277.70 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-18 EN UNIDADES M.K.S. ES 290.06 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-37 EN UNIDADES M.K.S. ES 281.10 Kg/cm².
 - LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-38 EN UNIDADES M.K.S. ES 240.11 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. L.C. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47230320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CIP: 209176

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 : KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO : T_UNAP_CFRW-09/20-18-G&C
		FECHA : 23/12/2020

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	ING. RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROVINCIA PUNO, DEPARTAMENTO PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f _c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: 28 DÍAS	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f _c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f _c [Mpa]	%
1	BRIQUETA P-19 φ = 154.67 mm x h = 305.17 mm	24/11/2020	22/12/2020	28	1310.0	2284.72	1.97	1.00	18788.93	519.37	27.6	134.23
2	BRIQUETA P-20 φ = 153.17 mm x h = 304.50 mm	24/11/2020	22/12/2020	28	1277.9	2277.57	1.99	1.00	18426.26	532.55	28.9	140.34
3	BRIQUETA P-39 φ = 154.47 mm x h = 305.00 mm	25/11/2020	23/12/2020	28	1299.2	2272.89	1.97	1.00	18741.18	550.58	29.4	142.65
4	BRIQUETA P-40 φ = 151.90 mm x h = 302.67 mm	25/11/2020	23/12/2020	28	1223.5	2230.76	1.99	1.00	18121.18	533.40	29.4	142.93

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-19 EN UNIDADES M.K.S. ES 281.87 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-20 EN UNIDADES M.K.S. ES 294.71 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-39 EN UNIDADES M.K.S. ES 299.58 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA P-40 EN UNIDADES M.K.S. ES 300.16 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

Bach. L.C. MARY CARMEN YANIA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
DNI : 47336320

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIAS
CIP: 209176



ANEXO 16. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CURADAS EN OBRA



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

OBRA : "CREACIÓN DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA SEDE AYABACAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA"

SOLICITANTE : SICMA S.A.C.

LUGAR : AYABACAS, PUSI - PROVINCIA DE HUANCANÉ - DEPARTAMENTO DE PUNO

FECHA : 25 DE MAYO DEL 2021

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.06 x 30.0 cm	28650.00	15.06	178.13	160.84	210	18/05/2021	25/05/2021	7	76.59%
	VIGA									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 14.98 x 30.0 cm	27810.00	14.98	176.24	157.80	210	18/05/2021	25/05/2021	7	75.14%
	VIGA									

OBSERVACIONES:

- 1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.
- 2.- LAS MUESTRAS FUERON ENSAYADAS EN PRESENCIA DE:
 - * ISMAEL COLLA SUPO (SUPERVISOR DE OBRA)



UANCV - FICP
CAP INGENIERÍA CIVIL

Antonio Parades Vera
CIP 62794

F.N° 005-1416



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

OBRA : "CREACIÓN DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA SEDE AYABACAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA"
SOLICITANTE : SICMA S.A.C.
LUGAR : DISTRITO SAN MIGUEL - PROVINCIA DE JULIACA - DEPARTAMENTO DE PUNO.
FECHA : 01 DE JUNIO DEL 2021

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	Ø cm	AREA cm2	ESF. ROTURA Kg/cm2	FC Kg/cm2	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	%
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.06 x 30.0 cm	39220.00	15.06	178.13	186.49	210	18/05/2021	01/06/2021	14	88.81%
	VIGAS									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 14.96 x 30.0 cm	32650.00	14.96	175.77	185.75	210	18/05/2021	01/06/2021	14	88.45%
	VIGAS									

OBSERVACIONES:

- 1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.
- 2.- LAS MUESTRAS FUERON ENSAYADAS EN PRESENCIA DE:
• ISMAEL COLLA SUPO (SUPERVISOR DE OBRA)

LABORATORIO M.S.C.A. AYABACA
ING. José Antonio Parales Vera
CIP 62794

F. N° 005-1420



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

OBRA : "CREACIÓN DEL CERCO PERIMÉTRICO DE LA SEDE DE AYABACAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA"
SOLICITANTE : SICMA S.A.C.
LUGAR : DISTRITO SAN MIGUEL - PROVINCIA DE SAN ROMAN - DEPARTAMENTO DE PUNO
FECHA : 16 DE JUNIO DEL 2021

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F/C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 14.84 x 30.0 cm	39540.00	14.84	172.96	228.61	210	18/05/2021	15/06/2021	28	108.86%
	VIGAS									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 14.82 x 30.0 cm	40810.00	14.82	172.5	236.58	210	18/05/2021	15/06/2021	28	112.66%
	VIGAS									

OBSERVACIONES:

- 1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.
- 2.- LAS MUESTRAS FUERON ENSAYADAS EN PRESENCIA DE:
 - * ISMAEL COLLA SUPO (SUPERVISOR DE OBRA)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Ing. José Antonio Parades Vera
CIP 62794

F. N° 005-1422



ANEXO 17. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS CURADAS A TEMPERATURA CONSTANTE



G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

G&C GEOTECHNIK MATERIAL TEST LABOR

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN & ENSAYO DE MATERIALES



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO: T_UNAP_CFRW-09/22-01-G&C
		FECHA : 23 de Enero de 2022

DATOS GENERALES		
SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	RESPONSABLE : Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROV. PUNO, DEP. PUNO	TÉCNICO ESPEC. : Bach. M.C.Y.C.
ELEMENTO E*	: ENSAYOS DE CORROBORACIÓN DE DATOS - TEMPERATURA DE CURADO 23+2°C	

DATOS DE LA PROBETA	DATOS DEL ENSAYO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
MUESTRAS : 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA : ASTM C39/C39 - 20	f _c (DISEÑO) : 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA : INDICADA	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN : 0.26 Mpa.	f _c (DISEÑO) : 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Día]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f _c [Mpa]	%
1	BRIQUETA CRL-01 φ = 154.58 mm x h = 304.70 mm	16/01/2022	17/01/2022	1	1245.9	2178.88	1.97	1.00	18766.26	153.73	8.2	39.78
2	BRIQUETA CRL-02 φ = 155.85 mm x h = 300.47 mm	16/01/2022	17/01/2022	1	1257.1	2193.25	1.93	0.99	19075.89	143.42	7.5	36.51
3	BRIQUETA CRL-03 φ = 153.03 mm x h = 306.10 mm	16/01/2022	23/01/2022	7	1239.9	2202.42	2.00	1.00	18391.80	387.55	21.1	102.32
4	BRIQUETA CRL-04 φ = 155.03 mm x h = 305.33 mm	16/01/2022	23/01/2022	7	1274.6	2211.46	1.97	1.00	18876.50	383.55	20.3	98.66

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-01 EN UNIDADES M.K.S. ES 83.53 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-02 EN UNIDADES M.K.S. ES 76.67 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-03 EN UNIDADES M.K.S. ES 214.87 Kg/cm².
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-04 EN UNIDADES M.K.S. ES 207.20 Kg/cm².

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Bach. LIC. MARY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CPI: 4036038

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
CPI: 2093176



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO

ASTM C39 / C39M - 20 : Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

PROYECTO	RELACIÓN DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO 210 KG/CM2 OBTENIDAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL MÉTODO DE MADUREZ - JULIACA	REGISTRO: T_UNAP_CFRW-09/22-02-G&C
		FECHA : 13 de Febrero de 2022

DATOS GENERALES

SOLICITANTE(S)	: RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES	RESPONSABLE	: Ing. A.L.G.C.
UBICACIÓN	: DISTRITO PUNO, PROV. PUNO, DEP. PUNO	TÉCNICO ESPEC.	: Bach. M.C.Y.C.
ELEMENTO E*	: ENSAYOS DE CORROBORACIÓN DE DATOS - TEMPERATURA DE CURADO 23±2°C		

DATOS DE LA PROBETA		DATOS DEL ENSAYO		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
MUESTRAS	: 04 PROBETAS	MÉTODO DE PRUEBA	: ASTM C39/C39 - 20	f _c (DISEÑO)	: 210 Kg/cm ² (Unidades M.K.S.)
EDAD DE ROTURA	: INDICADA	RATIO DE CARGA DE APLICACIÓN	: 0.26 Mpa.	f _c (DISEÑO)	: 20.59 Mpa (Unidades S.I.)

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD [Días]	MASA [g]	DENSIDAD [Kg/m ³]	RELACIÓN H/D	FACTOR DE CORR.	ÁREA NETA [mm ²]	CARGA APLICADA [KN]	f _c [Mpa]	%
1	BRIQUETA CRL-05 φ = 153.60 mm x h = 304.13 mm	16/01/2022	30/01/2022	14	1263.8	2242.45	1.98	1.00	18530.67	455.67	24.6	119.40
2	BRIQUETA CRL-06 φ = 153.71 mm x h = 304.40 mm	16/01/2022	30/01/2022	14	1273.4	2254.37	1.98	1.00	18556.42	480.98	25.9	125.86
3	BRIQUETA CRL-07 φ = 155.00 mm x h = 301.20 mm	16/01/2022	13/02/2022	28	1285.7	2262.20	1.94	0.99	18869.19	560.19	29.7	144.16
4	BRIQUETA CRL-08 φ = 155.00 mm x h = 302.27 mm	16/01/2022	13/02/2022	28	1282.1	2247.91	1.95	1.00	18869.19	549.15	29.1	141.32

OBSERVACIONES :

- LAS PROBETAS DE CONCRETO FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO Y ETIQUETADAS POR EL SOLICITANTE.
- LA PRUEBA ESTÁNDAR DE COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE CONCRETO FUE REALIZADA EN PRESENCIA DEL SOLICITANTE.

NOTA :

- LAS UNIDADES REPORTADAS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ ACORDE A LAS UNIDADES ESTABLECIDAS EN EL ÍTEM 1.2 DE LA ASTM C39/C39M - 20, EL CUAL INDICA USAR EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI).
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-05 EN UNIDADES M.K.S. ES **250.75 Kg/cm²**.
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-06 EN UNIDADES M.K.S. ES **264.31 Kg/cm²**.
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-07 EN UNIDADES M.K.S. ES **302.74 Kg/cm²**.
- LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL LA BRIQUETA CRL-08 EN UNIDADES M.K.S. ES **296.77 Kg/cm²**.

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

[Firma]

Bach. LICHARRY CARMEN YANA CONDORY
TÉCNICO ESPECIALISTA DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN
Y ENSAYO DE MATERIALES
UNI - 8710310

G&C CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.A.C

[Firma]

ING. ALEX LUIS GOMEZ CALLA
JEFE DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES
G&C 209176



ANEXO 18. PRUEBAS DE NORMALIDAD PARA LAS VARIABLES EN ESTUDIO

PRUEBA DE NORMALIDAD

TEMPERATURAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y EL CONCRETO VACIADO EN OBRA

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Se ha evaluado las temperaturas del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en obra. Se desea aplicar procedimientos paramétricos: ¿Es la distribución bivariado conjunta diferente a la distribución normal?

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA (95%)

MEDIDAS	TEMPERATURAS DE PROBETAS DE CONCRETO Y EL
Media	14.43
Error estándar	0.5776
IC 95% límite inferior	13.27
IC 95% límite superior	15.59

EL RITUAL DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

1	Plantear hipótesis H0: Las temperaturas de probetas de concreto y el concreto vaciado en obra tienen una distribución normal. H1: Las temperaturas de probetas de concreto y el concreto vaciado en obra no tienen una distribución normal.
2	Establecer un nivel de significancia Nivel de significancia (alfa): α : 0.05 5.00%
3	Seleccionar la prueba estadística PRUEBA DE KOLMOGOROV - SMIRNOV
4	Criterio de decisión Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos H1. Si $p > 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos H1.
5	Valor de P Lectura del p-valor: 0.00 0.00% Con una probabilidad de error del 0% Las temperaturas del concreto en lab es distinto a las temperaturas de obra
6	Toma de decisiones (dar como respuesta una de las hipótesis) Por lo tanto, como el valor de P es MENOR al nivel de significancia se rechaza H0 y se acepta H1.

INTERPRETACIÓN

Las temperaturas del concreto 210 kg/cm² de probetas cilíndricas y vaciado en obra no tienen una distribución normal en la prueba piloto aplicada a 56 unidades de lectura.

Nota: El cálculo fue procesado aplicando el Software IBM SPSS Statistics.

PRUEBA DE NORMALIDAD

FACTOR TEMPERATURA TIEMPO DE PROBETAS DE CONCRETO Y DEL CONCRETO VACIADO EN OBRA

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Se ha evaluado los valores de Factor Temperatura Tiempo ($^{\circ}\text{C-día}$) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra. Se desea aplicar procedimientos paramétricos: ¿Es la distribución bivariado conjunta diferente a la distribución normal?

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA (95%)

MEDIDAS	FACTOR TIEMPO TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C-DÍA}$)
Media	194.46
Error estándar	16.2006
IC 95% límite inferior	162.21
IC 95% límite superior	226.70

EL RITUAL DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

1	Plantear hipótesis H0: Los valores de factor temperatura tiempo ($^{\circ}\text{C-día}$) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra tienen una distribución normal. H1: Los valores de factor temperatura tiempo ($^{\circ}\text{C-día}$) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra no tienen una distribución normal.
2	Establecer un nivel de significancia Nivel de significancia (alfa): α : 0.05 5%
3	Seleccionar la prueba estadística PRUEBA DE KOLMOGOROV - SMIRNOV
4	Criterio de decisión Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos H1. Si $p \geq 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos H1.
5	Valor de P Lectura del p-valor: p: 0.0343 3.43% Con una probabilidad de error del 0% Las temperaturas del concreto en lab es distinto a las temperaturas de obra
6	Toma de decisiones (dar como respuesta una de las hipótesis) Por lo tanto, como el valor de P es MENOR al nivel de significancia se rechaza H0 y se acepta H1.

INTERPRETACIÓN

Los valores de Factor Temperatura Tiempo ($^{\circ}\text{C-día}$) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra no tienen una distribución normal en la prueba piloto aplicado a 80 unidades de lectura.

Nota: El cálculo fue procesado aplicando el Software IBM SPSS Statistics.



PRUEBA DE NORMALIDAD

EDAD EQUIVALENTE DE PROBETAS DE CONCRETO Y DEL CONCRETO VACIADO EN OBRA

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Se ha evaluado los valores de Edad Equivalente (día) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra. Se desea aplicar procedimientos paramétricos: ¿Es la distribución bivariado conjunta diferente a la distribución normal?

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA (95%)

MEDIDAS	EDAD EQUIVALENTE (DÍA) DE PROBETAS
Media	9.97
Error estándar	0.8736
IC 95% límite inferior	8.23
IC 95% límite superior	11.70

EL RITUAL DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

Plantear hipótesis	
1	<p>H0: Los valores de factor temperatura tiempo (°C-día) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra tienen una distribución normal.</p> <p>H1: Los valores de factor temperatura tiempo (°C-día) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra no tienen una distribución normal.</p>
2	<p>Establecer un nivel de significancia</p> <p>Nivel de significancia (alfa): α: 0.05 5%</p>
3	<p>Seleccionar la prueba estadística</p> <p>PRUEBA DE KOLMOGOROV - SMIRNOV</p>
4	<p>Criterio de decisión</p> <p>Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos H1.</p> <p>Si $p > 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos H1.</p>
5	<p>Valor de P</p> <p>Lectura del p-valor: p: 0.0134 1.34%</p> <p>Con una probabilidad de error del 0% Las temperaturas del concreto en lab es distinto a las temperaturas de obra</p>
6	<p>Toma de decisiones (dar como respuesta una de las hipótesis)</p> <p>Por lo tanto, como el valor de P es MENOR al nivel de significancia se rechaza H0 y se acepta H1.</p>

INTERPRETACIÓN

Los valores de Edad Equivalente (día) de probetas de concreto y del concreto vaciado en obra no tienen una distribución normal en la prueba piloto aplicado a 80 unidades de lectura.

Nota: El cálculo fue procesado aplicando el Software IBM SPSS Statistics.

PRUEBA DE NORMALIDAD

RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE EL FACTOR TEMPERATURA TIEMPO

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Se ha evaluado las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante el Factor Temperatura Tiempo. Se desea aplicar procedimientos paramétricos: ¿Es la distribución bivariado conjunta diferente a la distribución normal?

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA (95%)

MEDIDAS	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (KG/CM ²) DE PROBETAS DE
Media	199.88
Error estándar	10.5346
IC 95% límite inferior	176.69
IC 95% límite superior	223.06

EL RITUAL DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

1	Plantear hipótesis	H ₀ : Los valores de las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm ² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante el Factor Temperatura Tiempo tienen una distribución normal. H ₁ : Los valores de las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm ² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante el Factor Temperatura Tiempo no tienen una distribución normal.
2	Establecer un nivel de significancia	Nivel de significancia (alfa): α: 0.05 5%
3	Seleccionar la prueba estadística	PRUEBA DE SHAPIRO - WILK
4	Criterio de decisión	Si p < 0.05 rechazamos la H ₀ y aceptamos H ₁ . Si p >= 0.05 aceptamos la H ₀ y rechazamos H ₁ .
5	Valor de P	Lectura del p-valor: p: 0.29 29% Con una probabilidad de error del 0% Las temperaturas del concreto en lab es distinto a las temperaturas de obra
6	Toma de decisiones (dar como respuesta una de las hipótesis)	Por lo tanto, como el valor de P es MAYOR al nivel de significancia se acepta H ₀ y se rechaza H ₁ .

INTERPRETACIÓN

Los valores de las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante el Factor Temperatura Tiempo tienen una distribución normal en la prueba piloto aplicado a 12 unidades de lectura.

Nota: El cálculo fue procesado aplicando el Software IBM SPSS Statistics.



PRUEBA DE NORMALIDAD

RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO Y LAS ESTIMADAS EN OBRA MEDIANTE LA EDAD EQUIVALENTE

PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Se ha evaluado las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante la Edad Equivalente. Se desea aplicar procedimientos paramétricos: ¿Es la distribución bivariado conjunta diferente a la distribución normal?

INTERVALOS DE CONFIANZA PARA LA MEDIA (95%)

MEDIDAS	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (KG/CM2) DE PROBETAS DE
Media	195.73
Error estándar	10.3478
IC 95% límite inferior	172.96
IC 95% límite superior	218.51

EL RITUAL DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA

Plantear hipótesis	
1	<p>H0: Los valores de las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante la Edad Equivalente tienen una distribución normal.</p> <p>H1: Los valores de las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante la Edad Equivalente no tienen una distribución normal.</p>
2	<p>Establecer un nivel de significancia</p> <p>Nivel de significancia (alfa): α: 0.05 5%</p>
3	<p>Seleccionar la prueba estadística</p> <p>PRUEBA DE SHAPIRO - WILK</p>
4	<p>Criterio de decisión</p> <p>Si $p < 0.05$ rechazamos la H0 y aceptamos H1. Si $p > 0.05$ aceptamos la H0 y rechazamos H1.</p>
5	<p>Valor de P</p> <p>Lectura del p-valor: p: 0.19 19%</p> <p>Con una probabilidad de error del 0% Las temperaturas del concreto en lab es distinto a las temperaturas de obra</p>
6	<p>Toma de decisiones (dar como respuesta una de las hipótesis)</p> <p>Por lo tanto, como el valor de P es MAYOR al nivel de significancia se acepta H0 y se rechaza H1.</p>

INTERPRETACIÓN

Los valores de las resistencias a la compresión del concreto 210 Kg/cm² obtenidas de probetas cilíndricas y las estimadas en obra mediante la Edad Equivalente tienen una distribución normal en la prueba piloto aplicado a 12 unidades de lectura.

Nota: El cálculo fue procesado aplicando el Software IBM SPSS Statistics.



ANEXO 19. MANUAL PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MADUREZ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



MANUAL DEL MÉTODO DE MADUREZ DEL CONCRETO (ASTM C1074-19) PARA ESTIMAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

El presente manual ha sido elaborado tomando en cuenta la variación de temperatura ambiente del departamento de Puno, así como las siguientes normativas, conceptos y criterios:

NORMATIVAS

ASTM C1074-19: *Práctica estándar para estimar la resistencia del concreto por el método de madurez.*

ASTM C125: *Terminología estándar relacionada con el concreto y sus agregados.*

ASTM C1768/C1768M-12: *Práctica estándar para el curado acelerado de especímenes de concreto.*

ASTM C192/C192M-19: *Práctica estándar para la preparación y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.*

ASTM C31/C31M-19: *Práctica estándar para fabricar y curar especímenes de concreto en obra.*

ASTM C39/C39M-20: *Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.*

ASTM C511: *Especificación estándar para cuartos de mezcla, gabinetes húmedos, cuartos húmedos y tanques de almacenamiento de agua usados en las pruebas de cementos y concretos hidráulicos.*

ASTM C78: *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en el tercer punto).*

ASTM C803/C803M-03: *Método de prueba estándar para la resistencia a la penetración del concreto endurecido.*

ASTM C873/C873M-10: *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de cilindros de concreto, fundidos en su lugar en moldes cilíndricos.*

ASTM C900-14: *Método de prueba estándar para resistencia a la extracción del concreto endurecido.*

ASTM C918/C918M-20: *Método de prueba estándar para medir la resistencia a la compresión en una edad temprana y proyectar la resistencia en una edad avanzada.*

1

ELABORADO POR: BACH. I. C. RONALD WILLIAM CALISAYA FLORES

JULIO DEL 2022



GENERALIDADES

El método de madurez es una técnica para estimar la ganancia de la resistencia del concreto in-situ basado en su historial de temperaturas durante el curado. El índice de madurez del concreto se determina mediante varias funciones, pero las principales son el Factor Temperatura Tiempo y la Edad Equivalente.

La aplicación principal se da en la predicción del tiempo apropiado para el retiro del encofrado y el postensado, especialmente a bajas temperaturas (cuando la ganancia de la resistencia del concreto es mínima). Otras aplicaciones son la culminación de la protección contra clima frío, apertura de vías o puentes al tráfico, corte de juntas, entre otras. De esta manera se optimizan la programación de actividades y los costos.

El procedimiento se resume en dos etapas, en la primera etapa se requiere el registro de las temperaturas en probetas cilíndricas de concreto para hallar un índice de madurez (laboratorio) que junto con la determinación de su resistencia en tiempos específicos se obtiene una relación Resistencia – Madurez Patrón y la segunda requiere el registro de las temperaturas en el lugar donde se desea estimar la resistencia para hallar del mismo modo un índice de madurez (en obra).

Finalmente usando la relación Resistencia – Madurez Patrón y el índice de madurez de obra, se estima la resistencia del concreto en obra. Independiente de la función de madurez utilizado, la relación más usada es de la resistencia del concreto y el logaritmo natural del índice, resultando una correlación lineal.

Cabe indicar que tanto para la elaboración de la relación Resistencia – Madurez Patrón, como el concreto en obra, se usa el mismo tipo de cemento, agregados y dosificación; en consecuencia, cada relación es única para un diseño de mezcla en específico.

Las principales limitaciones del método de madurez son:

- La condición de curado en el concreto debe permitir la hidratación continua del cemento.
- Temperaturas elevadas a edad temprana resulta una predicción incorrecta de la resistencia a largo plazo.

2



- El método debe completarse con otras mediciones de resistencia a la compresión del concreto en obra.
- El concreto en obra no es representativo en algunos casos, debido a la diferencia en la dosificación, contenido de aire, materiales, etc.

La normativa ASTM C1074-19, recomienda en operaciones críticas contrastar los resultados mediante la realización de otros ensayos, para verificar que el concreto en la estructura tenga una resistencia similar a la del concreto utilizado para desarrollar la relación Resistencia-Madurez Patrón, lo más habitual son los ensayos a tempranas edades de cilindros moldeados y curados en obra (ASTM C31/C31M-19). Las resistencias medidas se comparan con las resistencias estimadas a partir de la relación Resistencia-Madurez Patrón y el índice de madurez de obra. Si la diferencia excede constantemente el 10%, se desarrollará una nueva relación Resistencia-Madurez Patrón. Los otros ensayos son:

- Ensayos no destructivos en el sitio: ASTM C873 (cilindros vaciados en el sitio), ASTM C803 (resistencia a la penetración) y ASTM C900 (resistencia a la extracción)
- Ensayo a edad temprana: ASTM C918 proyecta la resistencia a edad posterior con base en ensayos a edad temprana.
- Usando el curado acelerado de especímenes ASTM C1768.

Es por ello que la presente metodología no pretende suplir a la normativa convencional ASTM C31/ C31M-19, de lo contrario, reforzarla para hacerla más precisa. Se recomienda verificar periódicamente la relación Resistencia-Madurez Patrón, incluso cuando no se realice operaciones críticas, para saber si dicha relación aún es válida para el concreto en específico.

OBJETIVO

Establecer el procedimiento para la aplicación del método de madurez para la estimación de la resistencia del concreto en el departamento de Puno.



FUNCIONES DE MADUREZ

Factor Temperatura Tiempo

La ecuación Nurse (1949) - Saúl (1951) se basa en los conceptos propuestos por McIntosh (1949) que asume que la velocidad de reacción química en el concreto se incrementa linealmente con la temperatura. Por lo tanto, se propuso que el producto de la temperatura y el tiempo de como resultado la madurez.

$$F.T.T. = \sum_0^t (T_a - T_0) \cdot \Delta t$$

Donde:

- F.T.T.: Factor de Temperatura Tiempo a una edad t [°C – horas o °C – días]
- Δt : Intervalo de tiempo [horas o días]
- T_a : Temperatura promedio del concreto en el intervalo de tiempo Δt [°C]
- T_0 : Temperatura datum o de referencia [°C]

Usualmente el intervalo de tiempo es de 01 hora, 30 minutos o intervalos menores. La temperatura promedio del concreto, se obtiene del monitoreo. La temperatura datum es "la temperatura de una mezcla de concreto por debajo del cual todas las reacciones de hidratación cesan". Por lo tanto, no se produce aumento adicional de resistencia.

En un principio se usaba como temperatura datum el valor de -10 °C (Saúl, 1951), la ASTM C1074-19 establece que para cemento tipo I sin mezcla y un rango de curado entre 0 y 40 °C, la temperatura datum recomendada es de 0 °C. En general, estudios demuestran que esta temperatura varía entre 0 y -11 °C, pues asumir el valor de 0 °C en la mayoría de casos se considera conservador.

El anexo A1 de la ASTM C1074-19 indica el procedimiento para determinar la temperatura de datum cuando se desee saber con exactitud.



Edad Equivalente

Freiesleben y Pedersen (1982) sugirieron la función de Arrhenius la cual responde a la no linealidad en la proporción de la hidratación del cemento. Este método produce un índice de madurez en términos de una “Edad Equivalente” que representa la duración equivalente de curado a una temperatura específica que produciría el mismo valor de madurez al tiempo de curado a diferentes temperaturas que la temperatura específica.

$$E. Eq. = \sum_0^t e^{-\frac{E}{R}(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s})} \cdot \Delta t$$

Donde:

- E. Eq.: Edad Equivalente a una temperatura específica T_s [horas o días]
- E: Energía de activación [J/Mol]
- R: Constante de gas universal 8.3144 [J/ (Mol K)]
- T_a : Temperatura promedio en el intervalo de tiempo [K]
- T_s : Temperatura específica [K]
- Δt : Intervalo de tiempo [horas o días]

La consideración del intervalo de tiempo y temperatura promedio del concreto es del mismo modo que la función Factor Temperatura Tiempo. La temperatura específica es la temperatura promedio del curado, tradicionalmente se usa un valor de 20 °C pero otra temperatura conveniente es 23 °C (Carino y Lew, 2001).

La ASTM C1074-19 aproxima el valor de energía de activación dividida por la constante de gases de 5000 K para cemento tipo I sin aditivos. Freiesleben y Pedersen (1982) proponen los siguientes valores:

- para $T \geq 20$ °C $E = 33500$ [J / mol]
- para $T < 20$ °C $E = 33500 + 1470 (20 - T)$ [J / mol]

La ASTM C1074-19 en su anexo A1, también indica el procedimiento para determinar la energía de activación cuando se desee saber con exactitud.



La función de Nurse-Saul se ha utilizado ampliamente para predecir la ganancia de resistencia a la compresión del concreto curado en el rango de temperatura de 10 °C a 32 °C y la función de Arrhenius ha resultado ser capaz de tener en cuenta la influencia de la temperatura dentro de un rango mayor de -10°C a 80 °C (Raje, et al. 2019).

Ahora bien, en el departamento de Puno la temperatura ambiente en promedio varía desde 2 °C a 16 °C; y, en los meses de abril a septiembre se registran temperaturas menores a 0 °C, debido a la presencia de heladas. Por lo tanto, se recomienda utilizar la función de Arrhenius.

APARATO

Dispositivo para controlar y almacenar la temperatura del concreto en función del tiempo, con precisión de 1 +/- °C.

Registradores de datos digitales

Este enfoque permite medir, registrar y almacenar la temperatura mediante un termopar, los datos se utilizan para calcular el índice de madurez. Dicho sensor se coloca en una ubicación específica antes del vertido y se cablea fuera del encofrado dependiendo del tipo de sistema, los termopares están conectados a un registrador de datos que se usa para registrar la temperatura en un cierto intervalo de tiempo.

Dispositivo de madurez

Tiene el mismo enfoque con la diferencia que calcula y muestra el Factor Temperatura Tiempo o Edad Equivalente de manera automática, pueden ser conectados a termopar o inalámbricos, estos últimos con la ventaja de quedar completamente embebidos en el concreto. Algunos utilizan valores fijos de temperatura de referencia o energía de activación, en este caso se tiene que hacer una corrección, otros tienen la aplicación de hasta ingresar una curva de calibración (relación Resistencia-Madurez) para procesar los datos.



PROCEDIMIENTO

Primera Etapa

Probetas de concreto

En principio, se deberá elaborar 15 o más muestras cilíndricas de acuerdo a la normativa ASTM C192, de las cuales como mínimo a dos se les incrustará sensores en su centro de masa para la determinación del índice de madurez y las restantes para la resistencia a la compresión.

Curado

Luego, todas las muestras cilíndricas se deberán curar para asegurar la hidratación de las partículas del cemento y reducir las diferencias de temperatura mediante pozas de agua o ambientes húmedos de acuerdo a la normativa ASTM C511, a menos que se especifique lo contrario.

Resistencia a la compresión

Posteriormente, se ensayarán las muestras a edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, según ASTM C39/C39M-20. Asimismo, se realizarán dos muestras por edad de ensayo calculando el promedio, si el rango de resistencia a la compresión excede el 10% del promedio, se probará otra muestra y se calcula el promedio de las tres. Si un resultado de ensayo es bajo debido a efectos obvios del espécimen se deberá descartar ese resultado.

Si se desea saber el desarrollo de la resistencia a edades tempranas por motivos de actividades como desencofrado o apertura de carreteras, puentes, etc. se pueden ensayar a edades menores como: 1, 2, 3, 7 y 14 días, reduciendo el tiempo para culminar la primera etapa y aumentando la precisión.

En resumen, las edades de prueba deberán ser como mínimo 5 y se seleccionarán en función al objetivo del elemento estructural.



Madurez del concreto

Después de la incrustación de los sensores de temperatura a las muestras cilíndricas, se tendrá que asegurar que el concreto esté en contacto con el sensor, inmediatamente se deberá conectar los sensores a los registradores de temperatura.

En cada edad de ensayo se deberá registrar el promedio del índice de madurez para los especímenes instrumentados. Si se usan registros de temperatura se evaluará la madurez de acuerdo a la ecuación de Nurse-Saúl o a la ecuación de Arrhenius. Se recomienda utilizar intervalos de tiempo de ½ hora, las primeras 48 horas y de una hora después de las 48 horas.

Relación Resistencia - Madurez

Finalmente, se deberá trazar las resistencias a la compresión promedio con los índices de madurez promedio calculadas o registradas, luego se deberá dibujar la curva que más se ajuste a los datos obtenidos. La ASTM C1074 indica expresar la resistencia como una función lineal del logaritmo del índice de madurez, de la siguiente manera:

$$f'c = a + b \cdot \ln(M)$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia a la compresión estimada
- a : Constante relacionada con la relación agua-cemento
- b : Constante relacionada con el tipo de cemento
- M : Índice de Madurez de obra

Este mismo procedimiento también aplicará para determinar la resistencia a la flexión de especímenes de concreto. La elaboración se hará de acuerdo a la norma ASTM C192 y las pruebas con ASTM C78, el rango de la resistencia a la flexión obtenida no debe exceder el 15% del promedio, en lo demás es similar a lo explicado anteriormente.



Segunda Etapa

Madurez en obra

En esta etapa, se recomienda instalar los sensores en zonas críticas o donde se desee saber la resistencia a la compresión, se puede asegurar el sensor antes del vaciado o incrustarlo inmediatamente después del vaciado. Se deberá tener en cuenta que los sensores estén embebidos solamente de concreto, ya que el contacto con otros elementos como metales darán resultados incorrectos.

Posteriormente, se deberá conectar el instrumento o registrador de temperatura lo más antes posible después de la instalación. Asimismo, se deberá utilizar los mismos valores de energía de activación o temperatura de referencia (el que sea aplicable) que se emplearon para determinar la relación Resistencia-Madurez Patrón.

Resistencia en obra

Finalmente, para estimar la resistencia se deberá evaluar el índice de madurez de obra con la relación Resistencia a la Compresión – Madurez patrón.

APLICACIÓN

Para mayor comprensión del método de madurez del concreto, se realizará un ejemplo respecto al tiempo de desencofrado:

*“Se tiene el registro de temperaturas y resistencias promedios a las edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días de muestras cilíndricas, las cuales se curaron a una temperatura promedio de 19° C en laboratorio. El concreto $f'c = 210$ kg/cm² en análisis tiene una temperatura de referencia igual a 2° C y una energía de activación 35500 J/Mol. En la ejecución de obra se presentó constantes cambios de temperatura exigiendo un mayor control del concreto en el desencofrado, ya que este se realizará cuando el concreto haya alcanzado como mínimo el 70% para la actividad A y el 50% para la actividad B de su resistencia máxima en laboratorio, según el análisis estructural. En consecuencia, se determinará los tiempos de desencofrado según las dos funciones de madurez, para esto se realizaron pruebas del concreto en obra para el registro de la temperatura en las edades de prueba establecidas”.
Conforme a los datos que se muestran a continuación:*



Tabla 1

Resistencias y temperaturas para el desarrollo del método

Edad (día)	Resistencia a la compresión en Laboratorio (kg/cm ²)	Temperatura del Concreto	
		Laboratorio (°C)	Obra (°C)
1	77	20	14.5
3	163	19	15
7	222	18.5	14
14	253	17	13
28	281	18	12

Nota: Se muestran los promedios de los registros de temperatura.

Solución:

Factor Temperatura Tiempo

- Cálculo de índice de madurez en función al Factor Temperatura Tiempo a las edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días, con temperatura de referencia de 2 °C:

Para la edad de 1 día:

$$F.T.T.(1día) = \sum_0^1 (20^{\circ}C - 2^{\circ}C)\Delta t$$

$$F.T.T.(1día) = (18^{\circ}C)1 \text{ día}$$

$$F.T.T.(1día) = 18^{\circ}C - \text{día}$$

Para la edad de 3 días:

$$F.T.T.(3día) = \sum_1^3 \left(\frac{19 + 20}{2} ^{\circ}C - 2^{\circ}C \right) \Delta t$$

$$F.T.T.(3día) = (17.5^{\circ}C)2 \text{ día}$$

$$F.T.T.(3día) = 35^{\circ}C - \text{día}$$

Seguidamente se muestra el resumen de todo el cálculo:



Tabla 2

Cálculo del Factor Temperatura Tiempo de Laboratorio

Edad (día)	Diferencial de Edad (día)	Temperatura Concreto (°C)	Temperatura Concreto Promedio (°C)	F.T.T. Parcial (°C-día)	F.T.T. Acumulado (°C-día)
1	1	20.0	20.0	18.0	18.0
3	2	19.0	19.5	35.0	53.0
7	4	18.5	18.8	67.0	120.0
14	7	17.0	17.8	110.3	230.3
28	14	18.0	17.5	217.0	447.3

Considerando las resistencias a la compresión para las edades de 1, 3, 7, 14 y 28 días respectivamente, se determina la relación Resistencia-Madurez:

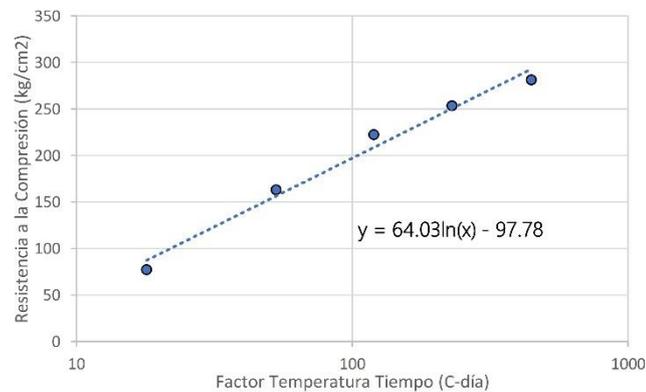
Tabla 3

Resultados de F.T.T. acumulado y Resistencias a la Compresión de Laboratorio

Edad (día)	F.T.T. Acumulado (°C-día)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
1	18.0	77
3	53.0	163
7	120.0	222
14	230.3	253
28	447.3	281

Figura 1

Relación Resistencia – Factor Temperatura Tiempo patrón





Mediante la aplicación Línea de Tendencia del software Microsoft Excel se determina la siguiente relación:

$$y = 64.03 \ln(x) - 97.78$$

Con las temperaturas registradas en Obra, se calcula los Factores Temperatura Tiempo acumulados de obra, de la misma manera anteriormente explicado:

Tabla 4

Cálculo del Factor Temperatura Tiempo de Obra

Edad (día)	Diferencial de Edad (día)	Temperatura Concreto (°C)	Temperatura Concreto Promedio (°C)	F.T.T. Parcial (°C-día)	F.T.T. Acumulado (°C-día)
1	1	14.5	14.5	12.5	12.5
3	2	15.0	14.8	25.5	38.0
7	4	14.0	14.5	50.0	88.0
14	7	13.0	13.5	80.5	168.5
28	14	12.0	12.5	147.0	315.5

Reemplazando estos valores en la relación Resistencia - Factor Temperatura Tiempo patrón determinando anteriormente, se estima las resistencias a la compresión esperadas en obra para cada edad:

Para la edad de 1 día:

$$y = 64.03 \ln(12.5) - 97.78$$

$$y = 63.94 \text{ kg/cm}^2$$

Para la edad de 3 día:

$$y = 64.03 \ln(38.0) - 97.78$$

$$y = 135.14 \text{ kg/cm}^2$$



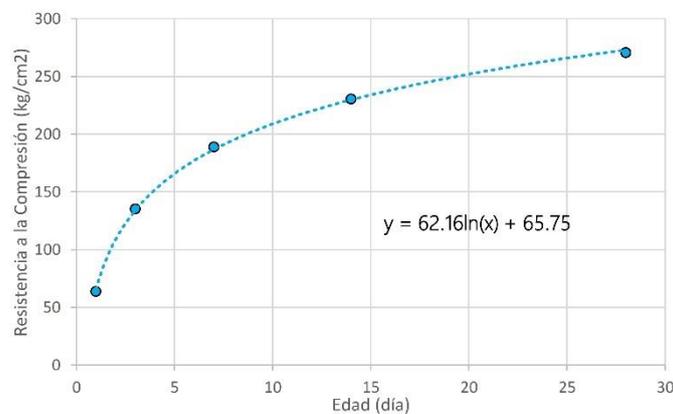
Tabla 5

Resultados de las resistencias estimadas en función al F.T.T. de Obra

Edad (día)	F.T.T. Acumulado (°C-día)	Resistencia a la Compresión estimada (kg/cm ²)
1	12.5	63.94
3	38	135.14
7	88	188.91
14	168.5	230.50
28	315.5	270.66

Figura 2

Curva Resistencia a la Compresión – Edad, en Función al F.T.T. de Obra



Nota. Del mismo modo se calculó la ecuación con ayuda del software Microsoft Excel

Finalmente, se desea saber los tiempos de desencofrado, para esto se usa la curva Resistencia a la compresión estimada - Edad, reemplazando las resistencias deseadas para determinar la edad:

Resistencia para la Actividad A: 70 % (281 kg/cm²) = 196.7 kg/cm²

$$196.7 = 62.16 \ln(X) - 65.75$$



$$\ln(X) = 2.11$$

$$X = 8.2 \text{ día}$$

Resistencia para la Actividad B: 50 % (281 kg/cm²) = 140.5 kg/cm²

$$140.5 = 62.16 \ln(X) - 65.75$$

$$\ln(X) = 1.20$$

$$X = 3.3 \text{ día}$$

Edad Equivalente

Cálculo del índice de madurez en función a la Edad Equivalente a las edades de 1, 2, 3, 7 y 14 días. Considerando la temperatura promedio de curado (específica) de 19 °C y la energía de activación del concreto de 35 500 J/mol.

$$E. Eq. = \sum_0^t e^{-\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right)} \cdot \Delta t \dots (Ec. 2)$$

Para la edad de 1 día:

$$E. Eq. (1 \text{ día}) = \sum_0^1 e^{-\frac{35500 \frac{J}{mol}}{8.3144 \frac{J}{mol K}} \left(\frac{1}{293.15 K} - \frac{1}{292.15 K} \right)} \cdot (1 \text{ día})$$

$$E. Eq. (1 \text{ día}) = 1.05 \text{ día}$$

Para la edad de 3 días:

$$E. Eq. (3 \text{ días}) = \sum_1^3 e^{-\frac{35500 \frac{J}{mol}}{8.3144 \frac{J}{mol K}} \left(\frac{1}{292.65 K} - \frac{1}{290.15 K} \right)} \cdot (2 \text{ día})$$

$$E. Eq. (3 \text{ días}) = 2.05 \text{ día}$$



En el siguiente cuadro se ve el resumen de todo el cálculo:

Tabla 6

Cálculo de la Edad Equivalente

Edad (día)	Diferencial de Edad (día)	Temperatura Concreto (K)	Temperatura Promedio Concreto (K)	Factor de edad	E. Eq. a 19 °C, Parcial (día)	E. Eq. a 19 °C, Acumulado (día)
1	1	293.15	293.15	1.05	1.05	1.05
3	2	292.15	292.65	1.03	2.05	3.10
7	4	291.65	291.9	0.99	3.95	7.05
14	7	290.15	290.9	0.94	6.57	13.63
28	14	291.15	290.65	0.93	12.98	26.61

Considerando las resistencias a la compresión para las edades de 1, 2, 3, 7 y 14 días respectivamente, se determina la relación Resistencia-Madurez.

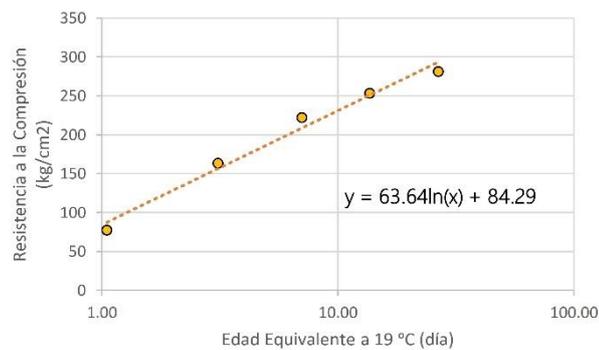
Tabla 7

Resultados de E. Eq. acumulado y Resistencias a la Compresión de Laboratorio

Edad (día)	E. Eq. a 19 °C Acumulado (día)	Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)
1	1.05	77
3	3.10	163
7	7.05	222
14	13.63	253
28	26.61	281

Figura 3

Relación Resistencia – Edad Equivalente patrón



15



De igual manera, con ayuda del Software Microsoft Excel se determina la Relación entre la Resistencia a la Compresión y el logaritmo natural de la Edad Equivalente:

$$y = 63.64 \ln(x) + 84.29$$

Con las temperaturas registradas en Obra, se calcula las Edades Equivalentes acumulados de obra, de la misma manera anteriormente explicado:

Tabla 8

Cálculo de la Edad Equivalente a 19 °C de Obra

Edad (día)	Diferencial de Edad (día)	Temperatura Concreto (K)	Temperatura Promedio Concreto (K)	Factor de edad	E. Eq. a 19 °C, Parcial (día)	E. Eq. a 19 °C, Acumulado (día)
1	1	287.65	287.65	0.62	0.62	0.62
3	2	288.15	287.9	0.63	1.26	1.88
7	4	287.15	287.65	0.62	2.49	4.37
14	7	286.15	286.65	0.59	4.14	8.51
28	14	285.15	285.65	0.56	7.85	16.36

Nota. Para el cálculo, la temperatura específica en obra se considera la temperatura máxima del concreto en obra durante las primeras 24 horas, siendo este valor de 24 °C (297.15 K). Criterio que se asume en la presente investigación.

Reemplazando estos valores en la relación Resistencia - Edad Equivalente patrón determinando anteriormente, se estima las resistencias a la compresión esperadas en obra para cada edad:

Para la edad de 1 día:

$$y = 63.64 \ln(0.62) + 84.29$$

$$y = 54.09 \text{ kg/cm}^2$$

Para la edad de 3 día:

$$y = 63.64 \ln(1.88) + 84.29$$

$$y = 124.55 \text{ kg/cm}^2$$

16



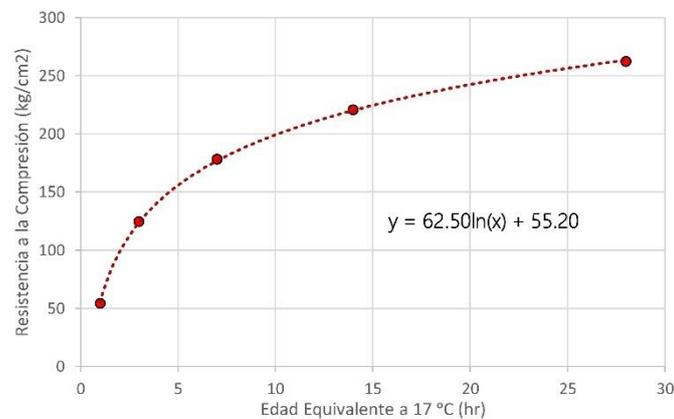
Tabla 9

Resistencia a la Compresión – Edad, en Función a la E. Eq. de Obra

Edad (día)	E. Eq. a 19 °C Acumulado (día)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
1	0.62	54.09
3	1.88	124.55
7	4.37	178.16
14	8.51	220.53
28	16.36	262.14

Figura 4

Curva Resistencia a la Compresión estimada – Edad, en Función a la E. Eq. de Obra



Finalmente, para saber los tiempos de desencofrado se utiliza la curva Resistencia a la compresión estimada – Edad, reemplazando las resistencias deseadas para determinar la edad:

Resistencia para la Actividad A: 70 % (281 kg/cm²) = 196.7 kg/cm²

$$196.7 = 62.50 \ln(X) + 55.20$$

$$\ln(X) = 2.26$$

$$X = 9.6 \text{ día}$$

Resistencia para la Actividad B: 50 % (281 kg/cm²) = 140.5 kg/cm²



$$140.5 = 62.16 \ln(X) - 65.75$$

$$\ln(X) = 1.36$$

$$X = 3.9 \text{ día}$$

Finalmente, como se puede observar los resultados obtenidos en la Tabla 10, la función Edad Equivalente es más conservador que la función Factor Temperatura Tiempo. Si consideramos que en obra el historial de temperatura registró valores menores a 10 °C (como es el caso de la región de Puno), se utiliza la función de Arrhenius, determinando tiempos de desencofrado de 10 días para la actividad A y 4 días para la actividad B. De esta manera se asegura la resistencia del concreto en obra.

Tabla 10

Resultados de tiempos de desencofrados

Porcentaje (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	F.T.T. (día)	E. Eq. (día)
70	196.7	8.2	9.6
60	140.5	3.3	3.9

PRESICIÓN Y DISPERSIÓN

La precisión de la resistencia estimada depende de varios factores como la idoneidad de la función de madurez para la mezcla de concreto específica, el historial de temperatura en la edad temprana en el lugar y las proporciones reales de la mezcla del concreto en obra. Una alta temperatura del concreto en obra a edad temprana puede reducir la resistencia potencial a largo plazo (Carino, 2001); y, por lo tanto, resultar una resistencia en el lugar más baja que la que se estimaría a partir de la relación Resistencia – Madurez Patrón obtenida bajo temperaturas de curado estándar.



REFERENCIAS

- Freiesleben Hansen, P. y Pedersen, E.J. (1982). Vinterstobning af beton, Anvisning 125, Statens Byggeforskningsinstitut, Copenhagen – Dinamarca.
- Nurse, R. W. (1949). Curado con vapor de hormigón. *Magazine of Concrete Research*, 1 (2), 79.
- Saul, G. A. (1951). Principios subyacentes al curado con vapor de hormigón a presión atmosférica. *Magazine of Concrete Research*, 2 (6), 127.
- McIntosh, J. D. (1949). Curado eléctrico de hormigón. *Magazine of Concrete Research*, 1 (1), 21.
- National Ready Mixed Concrete Association – NRMCA (2019). *CIP 39: Métodos de madurez para estimar la resistencia del concreto*. Recuperado de: www.nrmca.org.
- Carufel, S. D., Fahim, A., Ghods, P. y Alizadeh, A. (2018). *Madurez del concreto de la teoría a la aplicación* (1ra ed.). Recuperado de: www.giatec.ca
- Carino, N. J. and Lew. (2001). *The Maturity method: From Theory to Application. Structures Congress & Exposition*, May 21-23, 2001, Washington, D.C., American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, Peter C. Chang.
- Raje, S. R., Deshmukh, P. A., Swamy, R. M. y Patil, Y. S. (2019). Fundamentals of Maturity Methods for Estimating Concrete Strength: Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 6 (2).